



**PROJETO DE GRADUAÇÃO 2**

**ANÁLISE DE CUSTOS DO  
CONGESTIONAMENTO A PARTIR DA  
SIMULAÇÃO NA REGIÃO DO VALONGO –  
PORTO DE SANTOS**

Por  
**André Gonçalves Corrêa Pereira**

**Brasília, 05 de dezembro de 2017.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

**ANÁLISE DE CUSTOS DO CONGESTIONAMENTO A PARTIR DA SIMULAÇÃO  
NA REGIÃO DO VALONGO – PORTO DE SANTOS**

Por

**André Gonçalves Corrêa Pereira**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em  
Engenharia de Produção, sob orientação do Professor Reinaldo Crispiniano Garcia

**Banca Examinadora**

Prof. Reinaldo Crispiniano Garcia, UnB/ EPR  
(Orientador)

---

Prof. Sérgio Ronaldo Granemann, UnB/ EPR

---

Brasília, 05 de dezembro de 2017

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido a graça de viver e receber tantas alegrias. À Nossa Senhora por ter sido sempre o caminho seguro e a esperança depois de Nosso Senhor. Tenho certo que na busca das coisas do alto pude ter mais forças para realizar objetivos na graduação.

À minha esposa, Ana Laura, que presenciou praticamente toda a minha graduação, dividindo angústias e alegrias, pelos momentos juntos de estudos que tivemos e por ter concluído esta fase me fazendo o homem mais feliz desta vida, sendo além de esposa, minha melhor amiga.

Aos meus pais, Marcos e Madalena, por terem me ensinado que o esforço coletivo é mais importante que o individual, buscando não só o trabalho como seu fim último, mas alegrar o cotidiano daqueles que estão em volta. Mas sobretudo, gostaria de agradecer por ter me ensinado o único caminho que realmente importa, instruído na fé.

Aos meus irmãos, Patrícia e Gabriel, por terem sempre me tratado com tanto amor e carinho, sendo os melhores amigos que posso ter. Sem vocês não conseguiria chegar até aqui.

Ao professor e mestre Reinaldo, que me mostrou o verdadeiro sentido em lecionar e o exemplo daquilo que desejo ser como profissional. Obrigado pela paciência e por ter feito o tempo da graduação válido a pena.

Aos meus amigos, que me ajudaram a não desistir e persistir nos momentos em que perdia forças para continuar. Pelos momentos em que me abriram os olhos e me ajudaram a mudar de caminho.

A todos aqueles que, de alguma forma, me instruíram e me deram base para que me tornasse o que sou hoje. Muito além de um graduando, espero ter me tornado alguém que de alguma forma faça a diferença e consiga alterar o caminho do comodismo e das angústias que vivemos hoje.

Com carinho,  
André Gonçalves Corrêa Pereira

---

## RESUMO

A simulação de sistemas tem sido cada vez mais difundida pela sua capacidade de transformar sistemas reais em modelos computacionais, podendo gerar rápidas soluções e embasando a tomada de decisão para sua otimização. No Brasil, há a grande necessidade de que mude o modo de gestão logística e de infraestrutura, de forma a realizar o planejamento necessário antes de executar qualquer projeto. No caso do Porto de Santos, o principal porto do Brasil, tem sido exaustivo o crescente aumento de trabalhos e projetos, a fim de solucionar os gargalos existentes e, de forma sustentável, planejar o seu desenvolvimento futuro, traçando estratégias para que as capacidades portuárias não sejam sobrecarregadas pela demanda. Para isso, é necessário realizar, constantemente, melhoramento dos acessos modais. Um dos conflitos existentes nos acessos do porto de Santos se localiza na região do Valongo, onde há um cruzamento entre ferrovia e rodovia, criando congestionamentos periódicos e, conseqüentemente, impacto de custos logísticos e de transporte. O trabalho visa utilizar a simulação de sistemas dentro da área de teoria de filas, a partir do software Arena Simulation, para analisar impacto de custos no local.

**Palavras-chaves:** Simulação de Sistemas, Porto, Santos, Acessos, Arena Simulation

---

## ABSTRACT

Systems simulation has been increasingly diffused by its ability to transform real systems into computational models, generating rapid solutions and supporting decision making for optimization. In Brazil, there is a great need to change the way of logistics management and infrastructure, in order to carry out the necessary planning before executing any project. In the case of the Port of Santos, the main port of Brazil, the growing number of works and projects has been exhaustive in order to solve the existing bottlenecks and, in a sustainable way, to plan its future development, drawing up strategies so that the port capacities are not burdened by demand. For this, it is necessary to constantly improve the modal accesses. One of the conflicts in the accesses of the port of Santos is located in the region of Valongo, where there is a crossroad between railroad and highway, creating periodic congestion and, consequently, the impact of logistics and transportation costs. The work aims to use the simulation of systems within the area of queuing theory, from the software Arena Simulation, to analyze the impact of costs in place.

**Keywords:** Simulation System, Port, Santos, Access, Arena Simulation.

# Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição Modos de chegada/saída das cargas aos portos no Brasil .....	12
Figura 2: Comparação entre a matriz de transporte de cargas da China e União Europeia.....	12
Figura 3: Resumo dos objetivos, indicadores, resultados e metas de logística	13
Figura 4: Representatividade dos custos logísticos do Brasil em relação ao PIB .....	17
Figura 5: Evolutivo dos Custos Logísticos nos Estados Unidos .....	17
Figura 6: Ranking dos principais portos da América Latina e do Caribe .....	20
Figura 7: Exportações acumuladas em 2017 até o mês de julho .....	21
Figura 8: Trecho Valongo-Paquetá.....	22
Figura 9: Principais gargalos na margem direita .....	23
Figura 10: Principais gargalos na margem esquerda .....	23
Figura 11: Visão ao longo da Avenida Perimetral no trecho do Valongo.....	24
Figura 12: Projeto Mergulhão.....	25
Figura 13: Vista área do cruzamento – Valongo .....	26
Figura 14: Vista aérea do cruzamento – Valongo .....	26
Figura 15: Projeto de interação Porto-Cidade .....	27
Figura 16: Visão Geral de um Modelo de Simulação.....	33
Figura 17: Passos no estudo com simulação (adaptado de Maria (1997)) .....	34
Figura 18: Eventos e Fluxograma (PRADO, 2008).....	35
Figura 19: Região do Valongo.....	41
Figura 20: Localização do cruzamento rodoviário e ferroviário .....	41
Figura 21: Exemplo de acesso e direcionamento dos fluxos - Ponto 5 .....	42
Figura 22: Expressão da distribuição de carros do ponto 5, 4º fluxo .....	43
Figura 23: Resumo da distribuição no trecho 5.4 do caminhão de 3 eixos .....	44

Figura 24: Modelagem do sistema .....	45
Figura 25: Zoom do primeiro bloco da Figura 24 da região do Valongo com Arena.....	45
Figura 26: Parte da Modelagem da Simulação referente ao Congestionamento .....	46
Figura 27: Total de Carga Movimentada (t) - Porto de Santos .....	54
Figura 28: Movimentação de Carga - Portofer (2016) .....	55

# Lista de Equações

Equação 1: Cadeia de Markov .....	31
Equação 2: Modelo de Sistema.....	31
Equação 3: Consumo de gasolina .....	38
Equação 4: Consumo de diesel .....	38
Equação 5: Custo pela emissão de Hidrocarbonetos (Gasolina) .....	38
Equação 6: Custo pela emissão de Monóxido de Carbono (Gasolina).....	38
Equação 7: Custo pela emissão de Óxido de Nitrôgênio (Gasolina).....	38
Equação 8: Custo pela emissão de Óxido de Nitrôgênio (Diesel).....	38
Equação 9: Custo pela emissão de Hidrocarbonetos (Diesel) .....	38
Equação 10: Custo pela emissão de Hidrocarbonetos (Gasolina) .....	38
Equação 11: Custo pela emissão de Hidrocarbonetos (Gasolina) .....	38

# Lista de Tabelas

Tabela 1: BRICs - PIB x Investimento em Infraestrutura 2010 .....	15
Tabela 2: Custo dos Poluentes .....	39
Tabela 3: Exemplo de tabela de tráfego - Acesso 5, 4º Fluxo .....	43
Tabela 4: Resultado da Simulação - Arena Simulation .....	46
Tabela 5: Extensão Total da maior fila no sistema .....	48
Tabela 6: Quantidade de veículos na maior fila e média de veículos na fila.....	49
Tabela 7: Estimativa do Valor hora/Homem da PEA.....	50
Tabela 8: Custo de Oportunidade Anual - Automóveis.....	50
Tabela 9: Custo de Oportunidade Anual – Caminhões .....	51
Tabela 10: Custo Pecuniário – Combustível .....	51
Tabela 11: Emissão dos Poluentes frente às velocidades dos veículos.....	52
Tabela 12: Custo Total gerado pela emissão de poluentes .....	53
Tabela 13: Custo Total Anual no pior cenário.....	55

# Lista de Símbolos

## Siglas

ABML - Associação Brasileira de Movimentação e Logística

BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

CODESP – Companhia Docas de São Paulo

CONDEPASA – Conselho de Defesa do Patrimônio Cultural de Santos

CONDEPHAAT – Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

SNP – Secretaria Nacional de Portos

TEU – Unidade de medida padrão, equivalente a um contêiner de 20 pés, ou 6,25 metros

# Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Realidade Portuária Brasileira .....	11
1.2 Estrutura do Trabalho .....	14
2. CONTEXTO.....	15
2.1 Comparação entre PIB e custos logísticos.....	15
2.2 Porto de Santos .....	20
2.2.1 Informação geral sobre os acessos ao Porto de Santos.....	21
2.2.2 Gargalo na Região do Valongo.....	23
2.3 Importância de dados e utilização em simulação .....	27
2.4 Objetivos Gerais .....	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
3.1 Modelagem de Sistemas .....	30
3.2 Teoria de Filas .....	31
3.2.1 Cadeia de Markov.....	31
3.3 Simulação .....	31
3.5.1 Custo de Oportunidade .....	37
3.5.2 Custo Pecuniário do Congestionamento.....	37
4. METODOLOGIA.....	40
4.1 Definição do local e do período analisados .....	40
4.2 Tratamento dos dados para utilizar na modelagem .....	42
4.3 Validação dos resultados .....	44
4.4 Modelagem do Sistema no software Arena Simulation .....	44
5. SIMULAÇÃO DO CONGESTIONAMENTO.....	48
5.1 Cálculo do comprimento da fila .....	48
5.2 Análise dos resultados frente aos custos de mobilidade.....	49
5.2.1 Custo de Oportunidade .....	49

5.2.2 Custo Pecuniário do Congestionamento .....	51
5.3 Análise dos resultados no pior cenário .....	54
6. CONCLUSÃO.....	56
6.1 Recomendações para Trabalhos Futuros .....	56
APÊNDICES .....	66
Apêndice 1 .....	66
Apêndice 2 .....	70
Apêndice 3 .....	71

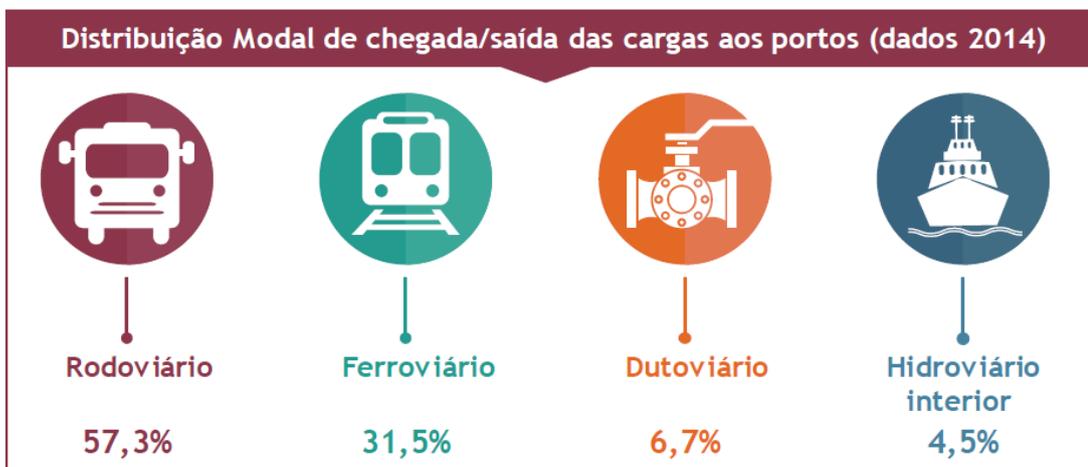
# 1. INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta as informações gerais sobre a importância dos portos no Brasil, a fim de justificar o projeto realizado. Além disso, coloca a divisão do trabalho exposto.*

O Brasil possui uma das mais longas extensões costeiras, com aproximadamente 8.000 quilômetros (IBGE, 2011). Além do litoral, existem as vias interiores, totalizando mais de 40.000 quilômetros de vias navegáveis (ANTAQ, 2015). Estes fatores ajudaram o Brasil a desenvolver sua atividade econômica fundamentada no transporte marítimo e transformar os portos em seu principal meio de exportação. Em 2015, os portos do Brasil movimentaram 98,6% das exportações (Secretaria de Portos, 2016).

## 1.1 Realidade Portuária Brasileira

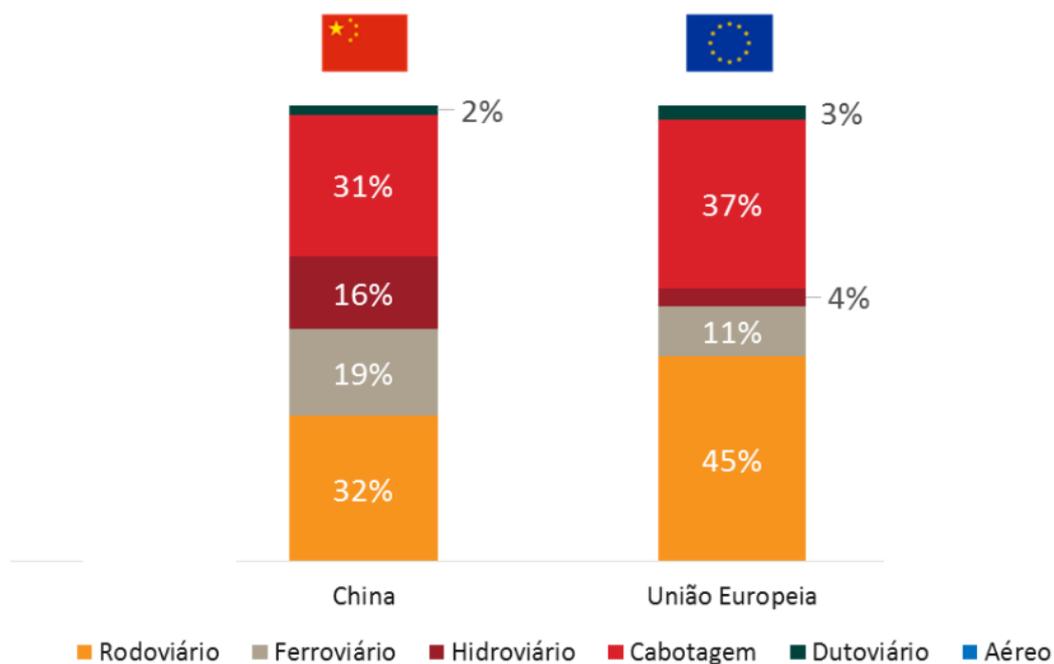
O modo de transporte aquaviário, principal modo logística da economia brasileira, constantemente é foco de estudos e análises, buscando desenvolvimento e melhora de performance. Além disso, Barboza (2014) cita a ineficiência do escoamento da produção nacional. Isso se dá, entretanto, na conjuntura dos modos e não apenas no modo onde o sistema portuário está inserido. Como Barboza (2014) cita, “Os modais brasileiros em geral apresentam problemas e precisam de investimentos do governo para melhoria e possível adequação das suas deficiências”. Um sistema equilibrado logístico é fundamental para um crescimento econômico nacional sustentável (BARBOZA, 2014). A Figura 1 demonstra a distribuição das modalidades aos acessos portuários.



**Figura 1:** Distribuição Modos de chegada/saída das cargas aos portos no Brasil

Fonte: Diagnóstico PNL – Secretaria de Portos (2014)

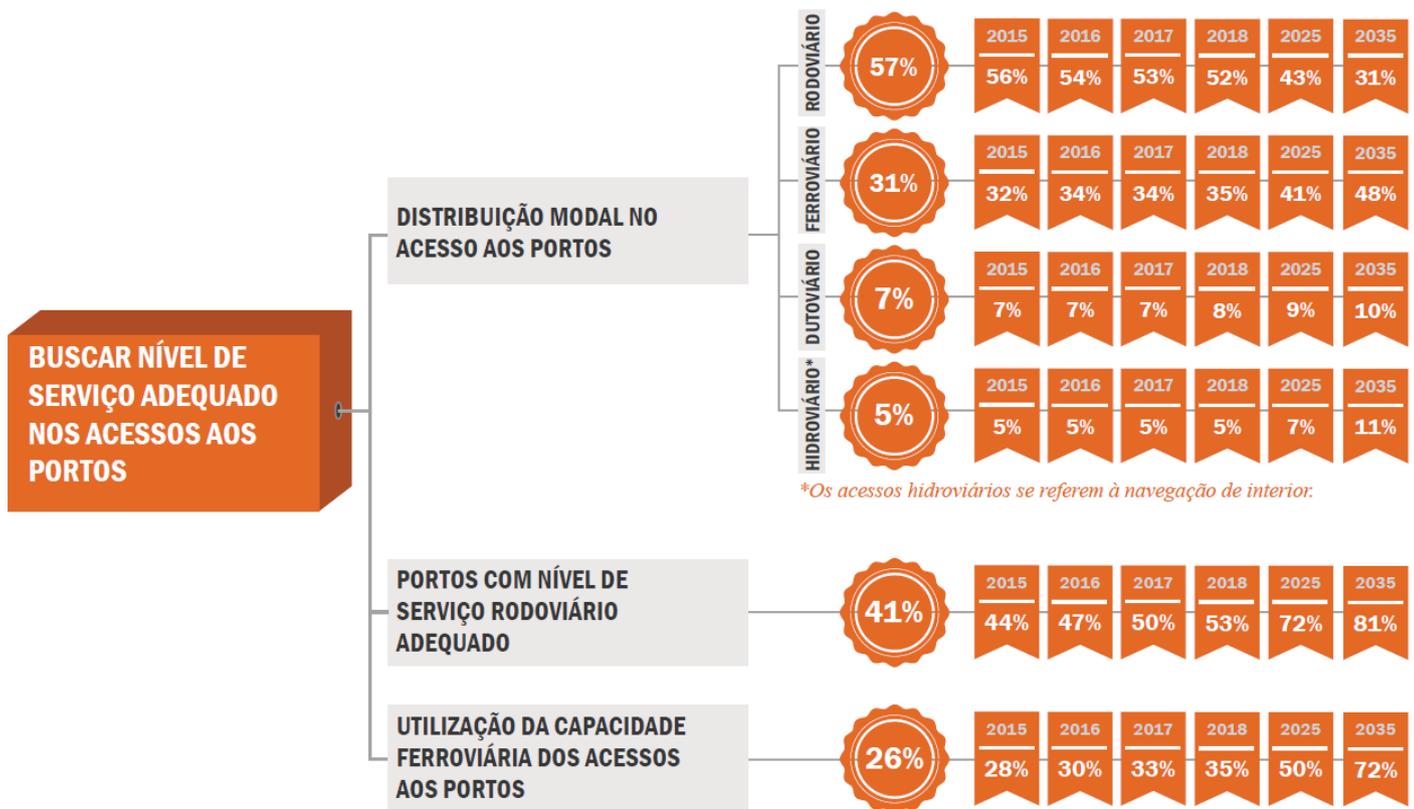
Dada a vasta área geográfica brasileira, o modo ferroviário deve ser melhor utilizado. Em comparação à China e à União Europeia, dada a similaridade de extensão geográfica, o Brasil possui diferente distribuição modal, principalmente no modo ferroviário, como mostrado na Figura 2.



**Figura 2:** Comparação entre a matriz de transporte de cargas da China e União Europeia

Fonte: ILOS, Eurostat, National Bureau Statistics of China, 2014 (Adaptado)

Com as novas propostas de planejamento e investimento, o Brasil visa melhorar o nível de serviço a partir da redistribuição do fluxo de cargas nos acessos portuários e na adequação de infraestrutura dos acessos. A Figura 3 resume os futuros objetivos do planejamento logístico no Brasil, de acordo com o Planejamento Nacional Logístico Portuário da Secretaria de Portos. Demonstra o objetivo em distribuir de forma mais equilibrada os modos, aumentando gradativamente a quantidade utilizada pelo meio ferroviário e o nível de serviço dos serviços rodoviários e ferroviários.



**Figura 3: Resumo dos objetivos, indicadores, resultados e metas de logística**

Fonte: Objetivos, indicadores, metas e ações estratégicas – PNL (SEP/PR 2015)

## **1.2 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está estruturado de acordo com os seguintes capítulos:

1. O primeiro capítulo apresenta uma pequena introdução da realidade portuária no Brasil.
2. O segundo capítulo trata da contextualização, descreve a justificativa do presente trabalho e destaca os objetivos gerais.
3. O terceiro capítulo trata do referencial teórico acerca das análises a serem realizadas sobre o Porto de Santos e a região de estudo, a simulação e o software Arena Simulation e custos pecuniários.
4. No quarto capítulo, encontra-se a metodologia que embasa o estudo e estabelecimento do roteiro segundo a aplicação do método escolhido e o levantamento dos custos logísticos identificados para o roteiro ideal.
5. O quinto capítulo contém as conclusões do trabalho e propostas para futuros estudos.

## 2. CONTEXTO

*Este capítulo é destinado para compreensão do estudo em análise e da motivação da escolha do tema. Ao fim, será apresentada a estrutura do projeto.*

### 2.1 Comparação entre PIB e custos logísticos

O Brasil tem realizado esforços com planos de governo e executando alto investimento em infraestrutura. Um dos principais programas é o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). De acordo com o 5º (último) balanço do programa, o Ministério do Planejamento divulgou que, das ações concluídas, R\$ 15,26 bilhões foi destinado ao Eixo Logística, que corresponde a 8% do total (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2017). Porém, de acordo com um estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI), os investimentos realizados não são suficientes.

O País investe em torno de 2% do PIB em infraestrutura, pouco menos da metade executado pelo setor público e o restante pelo setor privado, ainda que o financiamento seja preponderantemente público. Modernizar a infraestrutura do País é um esforço de duas décadas com um investimento em torno de 5,5% do PIB ao ano, de modo que o estoque de capital no setor se aproxime de 70-75% do PIB (Produto Interno Bruto). A Confederação Nacional de Transporte (CNT) fez um relatório, em 2012, comparando os países que compõem o BRICs, a respeito dos investimentos realizados em infraestrutura, como pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 1:** BRICs - PIB x Investimento em Infraestrutura 2010

<b>Acompanhamento BRICs 2010</b>			
	<b>PIB (US\$ trilhões)</b>	<b>Investimento Público em infraestrutura de transporte (US\$ bilhões)</b>	<b>Investimento em transporte s/ PIB (%)</b>
<b>Brasil</b>	2,17	7,81	0,36%
<b>China</b>	10,09	1.015,05	10,06%
<b>Índia</b>	4,06	324,80	8,00%
<b>Rússia</b>	2,22	155,40	7,00%

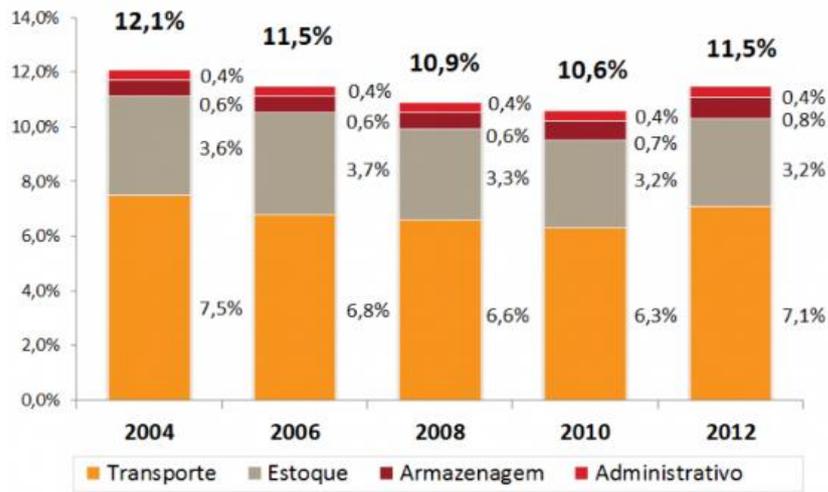
Fonte: Adaptado do Relatório Econômico CNT, fevereiro de 2012.

A Tabela 1 demonstra o quão abaixo o Brasil está referente aos investimentos em transporte dos demais países emergentes. Isso faz com que o Brasil não utilize de forma eficiente os seus recursos, não havendo qualidade no escoamento da sua produção.

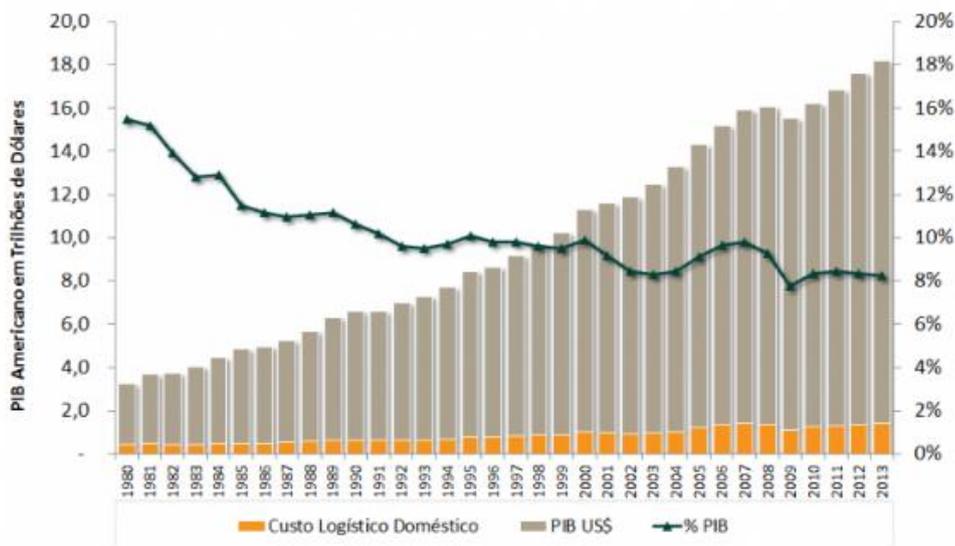
Junto ao pouco investimento, o que ajuda a diminuir a qualidade do fluxo logístico é o seu alto custo. O custo logístico, na sua totalidade, varia de acordo com o autor e o tipo de produção. De forma geral, pode ser dividido em quatro grupos:

- Custo de Transporte: representam os custos incididos na movimentação de produtos de um local de origem até um determinado destino, relacionado ao desempenho das entregas e à disponibilidade de informações relativas às cargas transportadas, dentro dos seus diferentes modos, dos 5 básicos: ferroviário, rodoviário, hidroviário (ou aquaviário), dutoviário e aeroviário (ALMEIDA e SCHLÜTER, 2009).
- Custo de Estoque: estão enquadrados nos custos derivados das atividades de fluxo de material no armazém e na manutenção do ponto destinado à locação estática dos materiais (MOURA, 1997).
- Custo de Armazenagem: custos relacionados a todas as atividades de um ponto destinado a guarda temporária e à distribuição de matérias, transferência e transbordo entre os depósitos, centros de distribuição etc. De conotação mais ampla, em um armazém pode haver vários pontos de estocagem (MOURA, 1997).
- Custo Administrativo: abrangência de custos voltados à mão de obra e seus encargos, materiais de escritório, sistemas de comunicação e informação (RODRIGUES, 2007).

Em comparação com os Estados Unidos, por exemplo, o Brasil ainda está atrasado, perdendo competitividade e a oportunidade de destinar mais recursos. Em 2012, os Estados Unidos gastaram 8,3% do (PIB), enquanto o Brasil gastou 11,5% (ILOS, 2013). A Figura 4 apresenta o custo logístico em relação ao PIB no Brasil. Mesmo havendo um aumento dos custos nos Estados Unidos, há uma diminuição substancial referente ao PIB. Isso se dá pelo constante investimento e manutenção dos modos, aumentando sua eficiência. Os gastos com logística em 1980 eram de 15,5%, enquanto em 2013, de 8,2% (Figura 5).



**Figura 4:** Representatividade dos custos logísticos do Brasil em relação ao PIB  
 Fonte: ILOS



**Figura 5:** Evoluto dos Custos Logísticos nos Estados Unidos  
 Fonte: Annual State of Logistics Report, Wilson/CSCMP; Análise: ILOS

Os custos de transporte também são consideravelmente altos comparados a outros países, mais de 50% do custo logístico, conforme pode ser visto na Figura 4. Isso se dá principalmente pelo chamado “Custo Brasil”, que segundo Costa e Gameiro (2005):

“Custo Brasil é tudo aquilo que torna os processos mais lentos, caros e ineficientes, provocados pela burocracia, infraestrutura aeroportuária e portuária deficientes, custos de manuseio e armazenagem acima da média internacional, máquina

fiscalizadora (aduana) desaparelhada, impostos em cascata e mudança repentina nas regras tributárias.”

Segundo Guimarães (2010), a média nacional do custo do frete por tonelada é de R\$135,00. Na Argentina, a média fica em R\$34,64 e nos Estados Unidos de R\$31,18, demonstrando grande distorção no sistema produtivo brasileiro.

Outra perda considerável é a dos grãos. De acordo com o Tsiloufas et. al. (2001), considerando armazenamento e transporte, os prejuízos variam entre 5% a 20%. No estudo de Martins e Farias (2002), eles fazem uma comparação com a estimativa das perdas em 2001.

“As perdas com a produção de grãos são grandiosas, para se ter uma ideia, em milho na safra de 2001, foi de 53 milhões de sacas, o equivalente a US\$ 344 milhões. Com esse dinheiro, seria possível comprar 4.050 colheitadeiras de porte médio, quase a frota comercializada no País em 2001, que foi de 4,1 mil máquinas. Outro exemplo de desperdício registrado é com arroz no RS, que chegam a R\$ 179,93 milhões ao ano, em um total de 940, 84 milhões de área colhida. Considerando uma produtividade média no Estado de 112,5 sacos/ha, isto representa uma quebra média de 10% e um preço de R\$ 17 por saca, a perda na colheita somaria R\$ 191,25/ha. Em soja o desperdício brasileiro fica em média duas sacas/ha, o que na safra de 2000/2001 representou um prejuízo de R\$ 570 milhões (JARDINE, 2002).”

Há inúmeras causas para que os custos sejam altos no Brasil. As causas se dão em toda a cadeia logística, não necessariamente apenas na condição de infraestrutura dos modos. A inadequação de estratégia logística, o mal investimento, a inadequação da intermodalidade são algumas dessas causas. Faz-se necessário mudar a visão estratégica, não apenas implementação de obras públicas (ANDERSON, 2017). No Quadro 1, é possível identificar quais são os principais gargalos logísticos no Brasil e a causa dos altos custos.

**Quadro 1:** Gargalos Logísticos

<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria (efeito)</b>	<b>Causa</b>
<b>Infraestrutura</b>	<b>Condições de estruturas viárias</b>	Baixa produtividade das instalações portuárias
		Falta/insuficiência de investimentos
		Falta/insuficiência de manutenção
		Inexistência de multimodalidade/intermodalidade
		Planejamento e políticas não efetivas
		Projetos e métodos de construções não adequados
		Sistema viário insuficiente/deficiente
	<b>Condições de instalações</b>	Baixa priorização do setor público e ações de infraestruturas
		Capacidade e quantidade insuficiente/deficiente
		Falta/insuficiência de investimentos
		Falta/insuficiência de manutenção
		Inexistência de multimodalidade/intermodalidade
		Localização equivocada
		Planejamento e políticas não efetivas

Fonte: Capdeville (2010)

Ainda segundo Guasch (2011) e junto à definição expressa do “Custo Brasil”, os principais fatores que agregam custo logístico se encontram na estrutura física deficiente de escoamento, ou seja, portos, aeroportos, rodovias e ferrovias, e os serviços elencados na cadeia produtiva, principalmente as taxas relacionadas ao transporte e serviços.

De acordo com as condições relatadas, há um grande comprometimento competitivo dos portos brasileiros. Tomando em consideração a baixa integração modal, as deficiências nos equipamentos de movimentação, a complexidade regulatória e as deficiências de acessos, os investimentos financeiros não conseguem solucionar as inúmeras barreiras (BRITO e BOTTER, 2012).

De acordo com Maçada (2005), os portos internacionais destacam-se pela gestão logística que se traduz em eficiência operacional que é resultado de um modelo de gestão alinhado a aplicação e utilização de alta tecnologia de operações e de informação. A estratégia brasileira deve assim estar embasada num modelo de gestão que opere em prol de um planejamento futuro concreto, junto ao investimento de tecnologia correlacionada à infraestrutura.

## 2.2 Porto de Santos

O Porto de Santos é o principal porto do Brasil e da América Latina (CEPAL, 2017). De acordo com o último estudo realizado pela Comissão Econômica para América Latina e o Caribe (CEPAL), que acontece anualmente, o porto de Santos foi o maior movimentador de contêiner, com 3.393.593 TEU em 2016. À frente do seu principal concorrente, o porto de Colón, no Panamá, que movimentou 3.258.381 TEU, como pode ser comparado na Figura 6.



**Figura 6:** Ranking dos principais portos da América Latina e do Caribe

Fonte: CEPAL, Perfil Marítimo e Logístico da América Latina e do Caribe (Junho, 2017)

No mesmo ano, o porto movimentou 113 milhões de toneladas, com ênfase em açúcar e laranja, sendo o maior exportador desses produtos mundialmente. (ASCOM/MMA).

De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), o porto foi o principal responsável, em comparação aos outros portos públicos nacionais, pela corrente de comércio exterior (27,9% de participação), principal exportador (27,2%, Figura 7) e principal importador (28,9%).

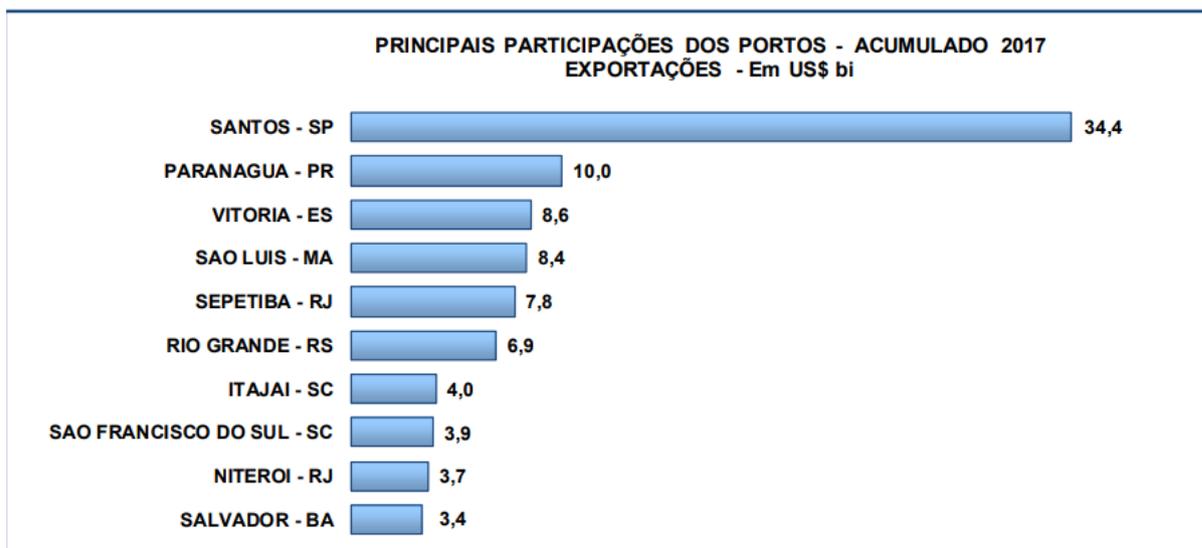


Figura 7: Exportações acumuladas em 2017 até o mês de julho

### 2.2.1 Informação geral sobre os acessos ao Porto de Santos

De acordo com o Sistema de Gestão de Tráfego de Caminhões da Companhia Docas de São Paulo (CODESP), no ano de 2016, quase três milhões de caminhões passaram pelos terminais. Na última década, houve um crescimento acumulado de 186,7% no volume de cargas transportadas pelo modo ferroviário. Em 2016, cerca de quatrocentos mil vagões chegaram no sistema rodoviário do Porto de Santos. Há a previsão de que em 2025 haja a participação de 40% do transporte rodoviário (CODESP).

Os acessos são uma das principais motivações de estudos e dos últimos projetos desenvolvidos nos portos, como:

- Porto Sem Papel: “sistema de informação que tem como objetivo principal reunir em um único meio de gestão as informações e a documentação necessárias para agilizar a análise e a liberação das mercadorias no âmbito dos portos brasileiros”, que de forma indireta, aumenta a agilidade, facilidade e previsibilidade dentro do sistema, logo dos caminhões (SEP, 2017)

- Projeto Cadeia Logística Portuária Inteligente (PortoLog): O projeto “tem por objetivo a introdução de um processo inovador amparado pelo Sistema da Informação denominado PORTOLOG, que permitirá o gerenciamento do tráfego de caminhões que acessam o porto, coletando informações desde a origem da carga até seu terminal portuário de destino, possibilitando a difusão de informações antecipadas à comunidade portuária, facilitando assim a programação dos recursos para agilizar as operações” (SEP, 2016).

De uma forma bem sucinta, o Porto de Santos é dividido em margem direita e margem esquerda, onde se encontram os principais terminais e se estende a sua localização. O marco oficial da inauguração do porto é 2 de fevereiro de 1892, quando foi entregue 260 m do cais da região do Valongo à navegação mundial. Esta área existe até hoje e possui movimentação de contêineres e carga geral (Figura 8).



**Figura 8:** Trecho Valongo-Paquetá

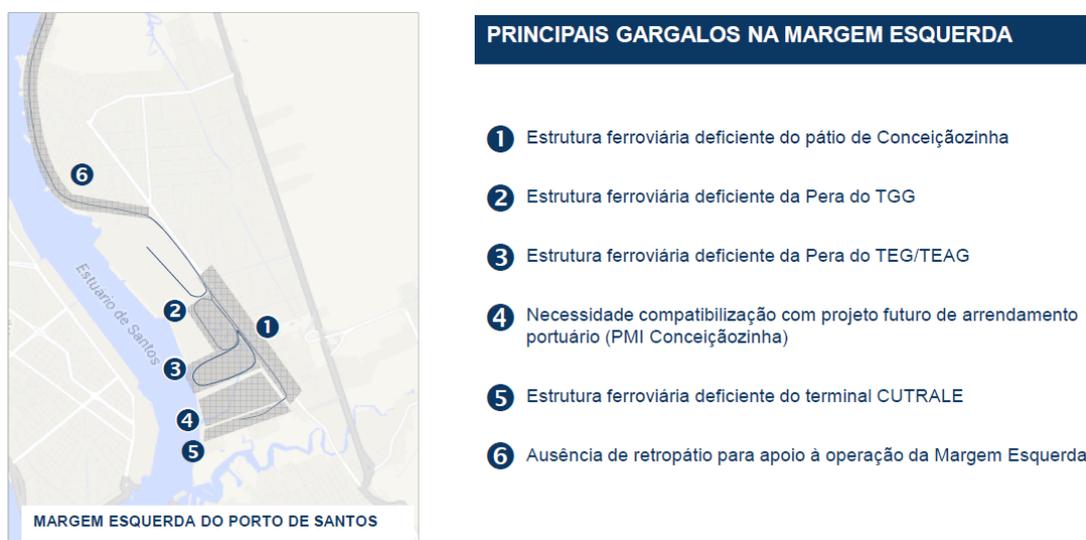
Fonte: MauberTec (1992)

Sua infraestrutura foi se deteriorando ao passar do tempo e necessitando de constantes manutenções. Em relação aos portos, os entraves gerados pelo conflito das ações urbano-portuárias são tratados pela SNP na relação Porto/Cidade, que visa harmonizar o dinamismo entre as atividades portuárias e urbanas, fundamentalmente na área costeira. Pela falta de

planejamentos logístico e estratégico da prefeitura de Santos e do porto, inúmeros gargalos surgiram (Figura 9 e Figura 10), gerando a necessidade de constantes investimentos.



**Figura 9:** Principais gargalos na margem direita  
 Fonte: RUMO - Workshop de Logística e Transportes da FIESP (2016)



**Figura 10:** Principais gargalos na margem esquerda  
 Fonte: RUMO - Workshop de Logística e Transportes da FIESP (2016)

### 2.2.2 Gargalo na Região do Valongo

Pelo valor histórico da região, há uma grande dificuldade de conciliar as necessidades portuárias e os interesses da prefeitura. Atualmente, os armazéns localizados no Valongo estão desativados e são responsabilidade da CODESP, com uma área de 55 mil m<sup>2</sup>. A intenção atual

da prefeitura é revitalizar o espaço, a fim de garantir a manutenção da arquitetura e história local e prospectar novos investimentos, garantindo o desenvolvimento do projeto na região (LOUIS BERGER; INTRANAVE, 2009).



**Figura 11:** Visão ao longo da Avenida Perimetral no trecho do Valongo  
Fonte: Jornal Vicentino

Um dos projetos a ser realizado nesta região é a da Passagem Subterrânea do Cais do Valongo, ou também conhecido como “Mergulhão” (Figura 12). O projeto tem como objetivo eliminar o cruzamento entre a ferrovia e as pistas rodoviárias, na altura do armazém 1. As Figuras 13 e 14 apresentam as vistas aéreas do cruzamento onde ocorre o conflito.



**Figura 12:** Projeto Mergulhão  
Fonte: RUMO ALL (2016)

De acordo com a PORTOFER, a operação do sistema rodoviário acontece 24 horas por dia sem interrupção, no local onde se situa a região do Valongo. A média diária é de 50 trens. Quando há a passagem do trem pela linha férrea, o cruzamento é fechado e o tempo médio para a travessia no cruzamento é de 7 minutos, sendo 30 segundos de segurança antes e depois da passagem do trem. Dessa forma, a cada 30 minutos a via fica parada por 8 minutos (PROJETO EXECUTIVO CODESP, 2013).

A dificuldade para realização do projeto se encontra no conflito da prefeitura que busca a revitalização do local e também do governo, pois o valor do investimento é alto. De acordo com os cenários políticos e econômicos atuais, a única alternativa é uma Parceria-Público-Privada (PPP), de acordo com o atual Diretor do Departamento de Revitalização e Modernização Portuária, Rossano Realon (TRIBUNA, 2017). O orçamento inicial da obra é de R\$ 1 bilhão. A obra se enquadra dentro das exigências do PAC, porém apenas R\$ 310 milhões foram disponibilizados. A extensão da obra seria de 937 metros. Outras alternativas foram apresentadas, sendo: a) 700 metros, a R\$ 679 milhões; b) 400 metros, a R\$ 518 milhões; e c) 200 metros, a R\$ 360 milhões. Porém, há um impasse da Prefeitura de Santos e do Ministério Público Estadual (MPE) que não aceitam menos de 700 metros de extensão. O projeto de 200 metros solucionaria o problema, porém elimina a implantação de praça e integração com o

projeto Porto-Valongo (Figura 15), principal objetivo da prefeitura e outras condições impostas pelos órgãos de controle de patrimônio histórico (CONDEPASA, CONDEPHAAT e IPHAN), que visam preservar o valor histórico da região.



**Figura 13:** Vista área do cruzamento – Valongo  
Fonte: RUMO ALL (2016)



**Figura 14:** Vista aérea do cruzamento – Valongo  
Fonte: RUMO ALL (2016)



**Figura 15:** Projeto de interação Porto-Cidade  
Fonte: RUMO ALL (2016)

### **2.3 Importância de dados e utilização em simulação**

Ballou (2006) cita que a “coleta, manutenção e processamento de dados” facilita as operações logísticas, pois assim o processo decisório está bem fundamentado. Segundo Ballou (2006, pg. 133),

“Operações logísticas sempre mais eficientes tornam-se possíveis a partir dos ganhos que a informação atualizada e abrangente consegue espalhar pela empresa, e também a partir dos benefícios do compartilhamento das informações apropriadas com outros integrantes da cadeia de suprimentos.”

A simulação computacional é uma grande ferramenta que permite amplos ganhos de informação. Segundo Pegden (1995), a simulação tem o propósito de conhecer o comportamento de determinado sistema e analisar qual a estratégia operacional adequada. Os diversos benefícios são citados por diversos autores (MCCLELLAN, 2004; HARRELL et al., 2000; KELTON et al., 2000):

- A partir dos diversos modelos simulados, as melhorias são observadas, facilitando a tomada de decisão;

- Sistemas complexos que não conseguem ser descritos por modelos matemáticos podem ser solucionados analiticamente a partir da simulação;
- A simulação pode acontecer sem a necessidade de alteração no sistema real;
- Longos períodos podem ser analisados em um tempo bem reduzido;
- Validações de melhorias podem ser aprovadas a partir da simulação;
- Há real redução de gasto e tempo.

Junto à realidade portuária, dada a sua grande complexidade, a simulação se torna fundamental para que as perspectivas de diferentes cenários sejam analisadas. A sua importância tem feito com que empresas de consultoria sejam contratadas pelos portos organizados, geridos pelo governo, e Terminais de Uso Privado (TUP), empresas privadas da área portuária, a fim de amparar as tomadas de decisão.

No âmbito portuário, a simulação acontece não apenas dentro do porto em si, mas em toda a infraestrutura de *hinterland*, a área geográfica onde um porto desenvolve os seus negócios e relações comerciais (NOTTEBOOM e RODRIGUE, 2007). Os acessos aos portos precisam ser controlados e constantemente analisados, pois por eles acontecem todo o fluxo de carga.

## **2.4 Objetivos Gerais**

O objetivo central deste trabalho é analisar o projeto do Mergulhão na área do Valongo, no Porto de Santos, a partir da simulação do congestionamento.

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Desenvolver um modelo do cenário atual do acesso na região do Valongo na margem direita do porto, analisando, a partir da Teoria de Filas, o desnível do fluxo rodoviário e ferroviário
- Definir custos pecuniários no tempo de paragem dos veículos no cruzamento.

Nos próximos capítulos, será apresentado o desenvolvimento do projeto. No terceiro capítulo, o referencial teórico apresenta a literatura em que as análises dos resultados serão embasadas, toda a estrutura da relação de sistemas com a simulação e o estudo de custos em

que serão retirados parte dos impactos financeiros gerados pelo conflito no Valongo. No terceiro capítulo, a metodologia discorre sobre o modo como a literatura foi utilizada e a compilação dos dados gerados pela simulação. No quarto capítulo, são apresentados os resultados e a análise da simulação, referente a quantidade de veículos que ficam na fila e custo dos veículos de forma específica, referente ao custo de oportunidade e de poluição. Por fim, o quinto capítulo conclui o trabalho e evoca a perspectiva de novos trabalhos.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

*Este capítulo contém a análise e a literatura do projeto em estudo, apresentando a fundamentação teórica para o alcance dos resultados e objetivos.*

#### 3.1 Modelagem de Sistemas

Modelagem é o processo de aquisição de informação, a fim de, a partir de uma ou mais teorias, aplicar numa produção de um modelo de um determinado sistema. De acordo com Taha (2006), o modelo é a representação abstrata de alguma realidade de interesse, havendo a possibilidade de formalizar ou testar, de forma menos complexa, o sistema escolhido, que pode ser obtido em diferentes linguagens: matemática, lógica, física, icônica, gráfica, entre outras. (NOVAES, 1981). Já um sistema é um conjunto articulado de elementos que é coerentemente organizado com alguma finalidade definida (MEADOWS, 2008).

Os modelos podem ser classificados basicamente de acordo com as seguintes tipologias (ENCHENIQUE, 1968; NOVAES, 1981):

- Descritivo: tem como objetivo reproduzir o sistema, retratando sua funcionalidade;
- Exploratório: é um modelo descritivo que visa analisar parametricamente o sistema, possibilitando a variação dos seus elementos. Geralmente respondem a perguntas logísticas “se ... então”;
- Preditivo: é um modelo exploratório que também envolve a variável do tempo, possibilitando realizar previsões e projeção de tendências;
- Operacional: permite a interferência do modelador, por meio da introdução de fatores exógenos nos componentes do sistema e de relacionamentos, de modo a alterar o comportamento do sistema, a fim de encontrar solução ou a sua otimização.

## 3.2 Teoria de Filas

Dentro dos modelos existentes, os modelos descritivos podem ser vistos como um conjunto de fórmulas matemáticas. Como exemplo, existem os modelos de programação linear ou os modelos analíticos da teoria de filas (CHWIF e MEDINA, 2007).

A Teoria de Filas é uma técnica amplamente utilizada na área de pesquisa operacional, pois, a partir dos seus conceitos de matemática aplicada, é possível analisar o fenômeno de formação de filas e suas características, principalmente em problemas de dimensionamento de infraestrutura e gargalos (PRAIA e GOMES, 2013).

### 3.2.1 Cadeia de Markov

Por definição, a “teoria de filas é uma aplicação do processo estocástico de tempo contínuo chamado também de Processo de Markov” (CIARRÓN, 2007). Um processo estocástico é um conjunto de variáveis randômicas  $\underline{X} = \{X(t), t \in T\}$ . Isso quer dizer, que para cada  $t$  no conjunto de elementos  $T$ ,  $X(t)$  é uma variável randômica. Em Teoria de Filas, a interpretação para  $t$  é de tempo e  $X(t)$  o estado do processo/sistema no tempo  $t$  (ROSS, 1996).

Para que um processo estocástico seja chamado de *Cadeia de Markov*, considere o processo estocástico que possui um número finito ou contável de valores possíveis  $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ . A não ser que seja mencionado, este conjunto de valores possíveis também será definido como conjunto de integrais não-negativas  $\{0, 1, 2, \dots\}$ . Se  $X_n = i$ , então o processo se encontra no instante  $i$  no tempo  $n$ . Supõe-se que enquanto o processo estiver no instante  $i$ , há uma probabilidade fixa  $P_{ij}$  de que o próximo instante será  $j$ . Ou seja,

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0\} = P_{ij}, \quad (1)$$

para todo instante  $i_0, i_1, \dots, i_{n-1}, i, j$  e todo  $n \geq 0$ . Ou seja, a chamada *Propriedade de Markov* é a probabilidade condicional do próximo estado  $X_{n+1}$ , dado todos os estados anteriores  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$  e  $X_n$ , só dependa do estado atual  $X_n$  (FRONDANA, 2011).

## 3.3 Simulação

Simular um modelo probabilístico requer desenvolver os mecanismos estocásticos do modelo e observar o fluxo e então observar as suas saídas ao longo do tempo (ROSS, 2013).

De acordo com o mesmo autor, o interesse está em observar resultados que podem ser difíceis de se determinar, dada a complexidade da estrutura do modelo e de acompanhar sua evolução.

Uma forma de obter maior compreensão é pelo conceito de “evento discreto”, que, de acordo com Montgomery (2004), é definido como um sistema cuja evolução dinâmica depende da ocorrência de eventos. Ou seja, só haverá mudança no sistema no instante em que ocorrer algum evento. Em simulação, esse tipo é conhecido como Simulação de Eventos Discretos. Além disso, existem três tipos de variáveis:

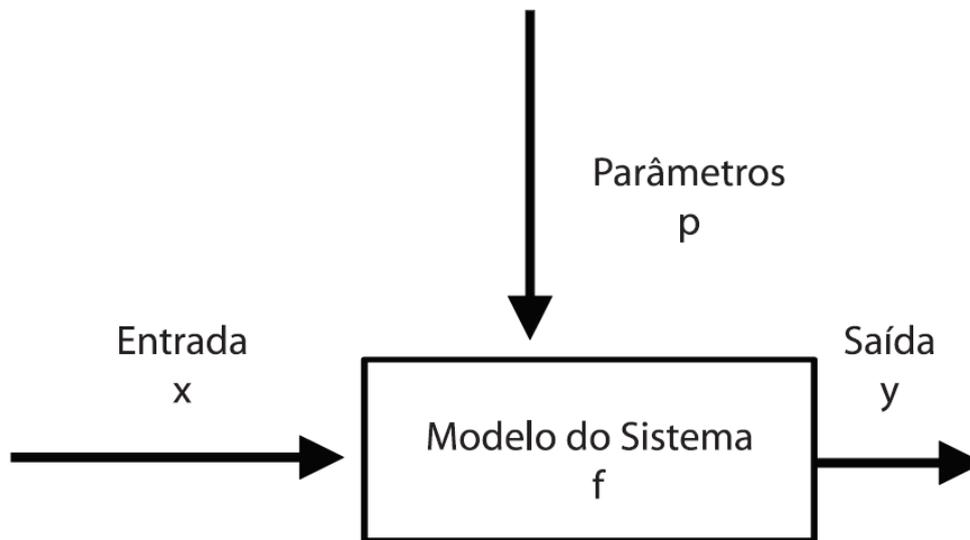
A partir dela, é possível imitar o modelo, em uma escala de tempo, num conjunto de técnicas e operações computacionais (GRANT et al., 1997; MATTAR, 2013). As simulações computacionais são desenvolvidas a partir de linguagens de programação, que resumem o comportamento do modelo em um período finito de tempo.

De acordo com Menner (1995), os modelos de simulação podem ser resumidos de acordo com a Equação 2,

$$f(x, p) = y \quad (2)$$

onde  $x$  é a configuração de entrada  $x$  que define o modelo,  $p$  são os parâmetros que caracterizam o modelo dispostos na simulação e  $y$  é a configuração da saída resultante, como ilustrado na Figura 16.

Em uma simulação de evento discreto, os elementos chaves são as variáveis e os eventos. Normalmente, há sempre a dependência de três tipos de variáveis, que são relacionadas ao tempo, a contagem e ao estado do sistema (ROSS, 2013).

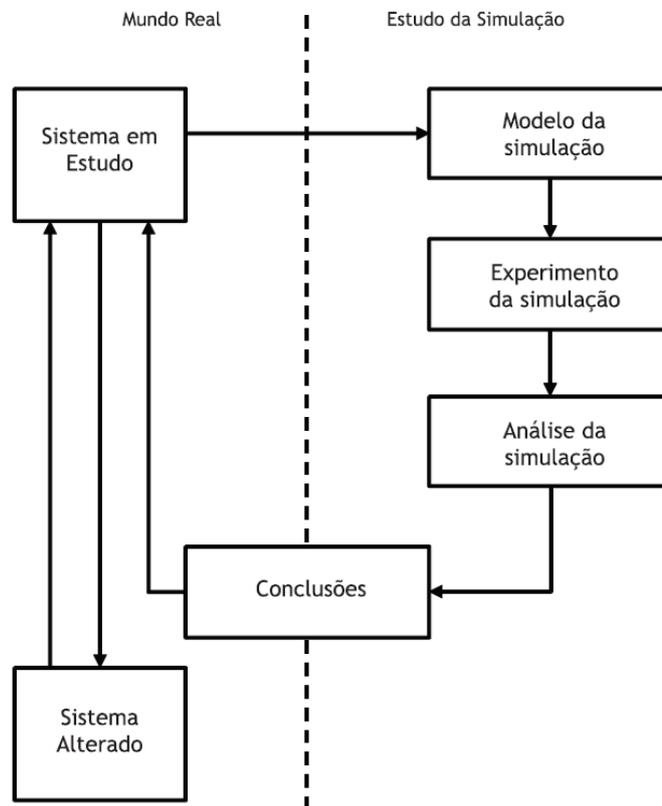


**Figura 16:** Visão Geral de um Modelo de Simulação (ABREU, 2012)

As simulações variam sua complexidade de acordo com o número de elementos no sistema e de parâmetros no modelo. Sendo normalmente iterativa, os resultados da simulação são cíclicos, pois para cada alteração, o novo sistema gerado se torna o novo modelo de estudo (MARIA, 1997). O mesmo autor apresenta uma sequência de passos que podem ser seguidos nas fases que não envolvem decisões humanas, ou seja, apenas no momento em que a ferramenta de software realiza a simulação. Os passos variam de acordo com o modelo e os seus problemas resultantes, podendo alguns passos serem supridos ou outros serem acrescentados, sendo basicamente (Figura 17; ABREU, 2012):

- Passo 1: Identificar os problemas do sistema e especificar quais são suas condições;
- Passo 2: Formular o problema, determinando os limites do sistema, seus objetivos e quais fatores de interesse a serem avaliados. Definir os parâmetros de desempenho, de tempo e de espaço. Estimar as expectativas do usuário final.
- Passo 3: Levantar e tratar dados do sistema real. Dados de entrada e outros parâmetros;
- Passo 4: Formular e desenvolver um modelo junto às suas inter-relações. Traduzi-los para uma linguagem computacional;
- Passo 5: Validar o modelo a partir de testes estatísticos, comparando com as informações reais conhecidas;
- Passo 6: Registrar os detalhes das informações adquiridas do modelo simulado;

- Passo 7: Determinar as medidas de desempenho do modelo, as variáveis de entrada e os pesos de influência de cada variável;
- Passo 8: Simular o sistema na ferramenta de software;
- Passo 9: Analisar os resultados;
- Passo 10: Apresentar possíveis soluções ou otimizações. Possível necessidade de novas simulações, aumentando a precisão dos parâmetros.



**Figura 17:** Passos no estudo com simulação (adaptado de Maria (1997))

Com o grande avanço no desenvolvimento computacional e na metodologia de simulação, a variedade de novas linguagens computacionais específicas para a simulação permitiu sua maior aceitação na área de pesquisa operacional, como afirma Banks et al (1996). O sistema é passível de constantes análises, pois não é um gerador de soluções, mas avaliador, respondendo a questionamentos do tipo “What-if”. Por isso ela é acompanhada a constantes

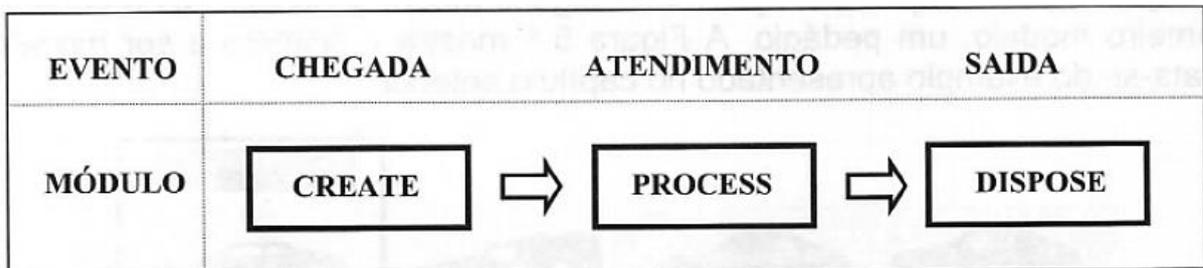
formulações matemáticas, que, a partir do conjunto de restrições do modelo, delimitarão os valores que as variáveis podem assumir, buscando sua otimização (CHWIF e MEDINA, 2007).

### 3.4 Arena Simulation

O Arena foi lançado pela empresa americana Systems Modeling em 1993 (PRADO, 2008). O Arena é o aperfeiçoamento de outros dois produtos: o SIMAN, 1982, e o CINEMA, 1984. Em 1998, a empresa Rockwell Software, detentora do Arena, incorporou a Systems Modelling.

O software trabalha a partir da conexão de blocos (ou módulos) que descrevem uma aplicação real. Por estar sob a ótica da simulação, facilita a tarefa da programação, pois a partir da sua interface gráfica, o processo é automatizado, necessitando apenas do mouse.

Basicamente, o modelo construído pelo Arena é uma programação visual, que consiste em um fluxograma correspondente à ocorrência de evento (Figura 18). Cada módulo é um evento específico do modelo.



**Figura 18:** Eventos e Fluxograma (PRADO, 2008)

Existem duas ferramentas fundamentais do software que otimizam a ferramenta. O *Input Analyzer* permite a escolha da melhor distribuição estatística, de acordo com o tempo entre as chegadas, podendo ser utilizada diretamente no modelo. O *Output Analyzer* é um recurso que coleta os dados da simulação e os apresenta em forma gráfica, por exemplo.

Há alguns elementos que compõem o sistema no Arena e precisam ser identificados. Estes elementos que possuem as informações e definem a característica da modelagem do sistema real. Alguns desses elementos são:

- **Entity** (Entidade): O termo entidade serve para designar o elemento que está chegando, seja uma pessoa, um cliente, um navio, um carro, um conjunto de matérias primas a serem produzidas numa linha de produção. A entidade atravessa o fluxo do sistema, podendo passar ou não por transformações. No modelo a ser estudado, as entidades são os diversos veículos que passam na região do Valongo: motos, carros, ônibus e caminhões de diversos eixos.
- **Atributos:** A partir do módulo *Assign*, é possível definir valores ou atributos que serão registrados na lógica do sistema junto às entidades, normalmente para que estejam no relatório final para análise. O tempo de espera na fila em cada processo, por exemplo, é uma atribuição que as entidades podem receber, que não necessariamente são iguais.
- **Variáveis:** Diferente dos atributos, as variáveis são informações gerais do sistema: maior quantidade de entidades na fila, tempo médio na fila, tempo ocioso dos serviços, por exemplo, são possíveis variáveis que podem ser registradas na simulação.
- **Recursos:** As necessidades das entidades no sistema são chamadas de recurso. Um pedágio, por exemplo, necessita de um atendente. Nesse caso, o atendente seria um recurso. Em caso de transformações de produtos, a matéria prima destinada a um processo seria um recurso. A capacidade do sistema está intimamente ligada aos recursos e normalmente, quando há a análise de otimização, há alteração da quantidade dos recursos disponíveis.
- **Queue (Fila):** A fila é o local de espera das entidades por um processo. Quando um recurso - uma máquina, por exemplo - está sendo utilizado, as demais entidades que chegam a este recurso precisam esperar, dada a limitação do recurso. Para as filas, existem métodos do registro de informações e alteração de variáveis, buscando otimizar o tempo de espera e diminuindo gargalos.

### **3.5 Custos da Crise de Mobilidade**

Os custos gerados por gargalos também possuem influência na realidade socioeconômica. De acordo com o estudo de Cintra (2014), há um “custo da crise de mobilidade”. A partir do seu estudo na cidade de São Paulo, foi possível adaptá-lo ao de Santos, para além de simular o modelo do sistema, comparar o investimento do projeto aos custos de congestionamentos.

O custo de congestionamento é diferenciado em dois tipos: custo de oportunidade, referente ao tempo perdido no trânsito, e o segundo aos dispêndios monetários causados pelos congestionamentos. O estudo se limita a estes dois, havendo a necessidade de considerar outras estimativas, porém Cintra (2014) se limitou a apenas esses dois.

#### **3.5.1 Custo de Oportunidade**

“O custo de oportunidade é um valor teórico e está relacionado ao uso alternativo do tempo gasto pela população nos congestionamentos” (CINTRA, 2014). Para encontrar seu valor, é necessário estimar o valor da hora de trabalho da população da região, no caso a Região Metropolitana da Baixada Santista, sendo a parte da População Economicamente Ativa (PEA). O custo de oportunidade então é produto de horas ociosas no trânsito pelo valor hora/homem de trabalho pela média de pessoas no congestionamento, sendo considerado duas pessoas por veículo.

#### **3.5.2 Custo Pecuniário do Congestionamento**

O custo pecuniário do congestionamento está relacionado a função de variáveis dependentes do consumo de combustível e emissão de poluentes e, como variável independente, a velocidade de circulação dos veículos. Foi considerado a velocidade média de 50 km/h sem congestionamento (velocidade máxima permitida no trecho) e de 10 km/h com congestionamento, para que não seja considerado 0 km/h. O preço médio por litro da gasolina nas proximidades de Santos, de acordo com o Sistema de Levantamento de Preços da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustíveis – ANP, é de R\$3, 957, e do diesel R\$ 3,099 (ANP, 2017).

Para os carros, a função de consumo do combustível de gasolina está relacionada com a equação 3.

$$C = 0,09543 + 1,26643/(V - 0,00029V) \quad (3)$$

sendo, C = Consumo (l/km); V = Velocidade (km/h). No caso dos ônibus/caminhões, foi considerado a função de acordo com o diesel.

$$C = 0,44428 + 0,00008V^2 - 0,00708V + \frac{1,37911}{V+0,00107Carr} \quad (4)$$

Onde, V = Velocidade (km/h), C = Consumo (l/km) e Carr = Carregamento (kg) (sentado + em pé, no caso de ônibus e o carregamento máximo permitido para os caminhões).

A função para emissão de poluentes possui divisão para carros e ônibus/caminhões. O cálculo considera os poluentes mais nocivos à saúde: Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos (HC) e Óxido de Nitrogênio (NOx). Para cada poluente, há uma equação específica, sendo a variável V igual à velocidade em quilômetros por hora.

- Hidrocarbonetos:  $HC \text{ (g/km)} = -0,28 + \frac{62,48}{V}$  (5)

- Monóxido de Carbono:  $CO \text{ (g/km)} = -4,51 + \frac{727}{V} + 1,34 \times 10^{-3} \times V^2$  (6)

- Óxido de Nitrogênio:  $NOx \text{ (g/km)} = 1,03 + 7,477 \times 10^{-5} \times V^2$  (7)

Para os ônibus, as equações possuem as seguintes estruturas, sendo também acrescentado os materiais particulados (grande classe de substâncias químicas existentes na atmosfera na forma de partículas, advindos ou de processos industriais, ou queima de combustíveis, ou de meios de transporte (ALMEIDA, 1999)).

- $HC \text{ (g/km)} = 14,14 - 3,67 \times \ln(V)$  (8)

- $CO \text{ (g/km)} = 43,34 - 8,98 \times \ln(V)$  (9)

- $NOx \text{ (g/km)} = 37,21 - 6,46 \times \ln(V)$  (10)

- $\text{Materiais Particulados (MP) (g/km)} = 1,74 - 0,32 \times \ln(V)$  (11)

Os custos para cada quilo de poluente (Tabela 2) foram atualizados de acordo com Vasconcellos (2006).

<b>Custo dos Poluentes</b>		
<b>Poluente</b>	<b>Custo por tonelada (R\$/t)</b>	<b>Custo por grama (R\$/g)</b>
<b>HC</b>	3221	0,003221
<b>CO</b>	727	0,000727
<b>NOx</b>	3728	0,003728
<b>MP</b>	19062	0,019062

**Tabela 2:** Custo dos Poluentes

Dada a soma dos dois custos, de oportunidade e pecuniário, é possível encontrar o custo socioeconômico gerado pelos congestionamentos.

## 4. METODOLOGIA

*Este capítulo contém as etapas do desenvolvimento do trabalho, com a aplicação da teoria exposta nos capítulos anteriores.*

Após a motivação do trabalho que se segue, este capítulo expõe os dados a serem tratados e as análises dos resultados. As etapas seguintes do trabalho são: i) definir o período a ser analisado; ii) tratamento dos dados para utilizar na modelagem; iii) validação dos resultados; iv) modelagem do sistema no software Arena; v) análise dos resultados frente ao custo pecuniário do congestionamento; e vi) apresentação dos resultados.

As análises e apresentação dos resultados terão um capítulo específico. Por isso, as etapas de análise e apresentação do resultado serão encontradas no capítulo posterior.

### 4.1 Definição do local e do período analisados

A modelagem na área do Valongo foi possível, pois anteriormente foi produzido o Relatório Técnico de Estudo de tráfego, em 2013 pela CODESP. As pesquisas foram realizadas durante três dias, 9 a 11 de outubro de 2013, entre 05:00 e 19:00 horas. A medição da distribuição do volume de veículos foi realizada na localização do trecho costeiro da região do Valongo, como demonstra a Figura 19, em sete pontos de acesso. Para cada ponto de acesso, há a quantidade de fluxos de acordo com as outras ruas que se encontram neste mesmo ponto (exemplo na Figura 21, com os subpontos 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4).

Os pontos de acesso se encontram nos seguintes cruzamentos:

- Ponto 1 – Rua Xavier da Silveira x Viaduto de acesso à Av. Eduardo Pereira Guinle/Av. Cidade de Santos;
- Ponto 2 - Rua Cristiano Ottoni x Av. Eng. Antonio Alves Freire;
- Ponto 3 - Rua Comendador Neto x Rua Xavier da Silveira / Praça Azevedo Júnior e RETORNO no canteiro central da Rua Xavier da Silveira para a Praça Azevedo Júnior;
- Ponto 4 - RETORNOS no canteiro central da Rua Xavier da Silveira - Praça Barão do Rio Branco;

- Ponto 5 - Rua Brás Cubas x Rua Xavier da Silveira;
- Ponto 6 - Rua Conselheiro Nébias x Rua Xavier da Silveira;
- Ponto 7 - Rua Aguiar de Andrade x Rua Xavier da Silveira.



**Figura 19:** Região do Valongo

Porém, como existe continuidade do fluxo de volume pelos acessos, foi possível resumir a contagem para cinco pontos específicos: 3.1, 4.1, 4.2, 5.3 e 5.4. Por exemplo, o ponto 5.3 é a continuidade dos pontos 6 e 7, não havendo necessidade de utilizá-los na simulação. Eles são os pontos mais próximos do gargalo, onde os demais fluxos se encontram (Figura 20).



**Figura 20:** Localização do cruzamento rodoviário e ferroviário



**Figura 21:** Exemplo de acesso e direcionamento dos fluxos - Ponto 5

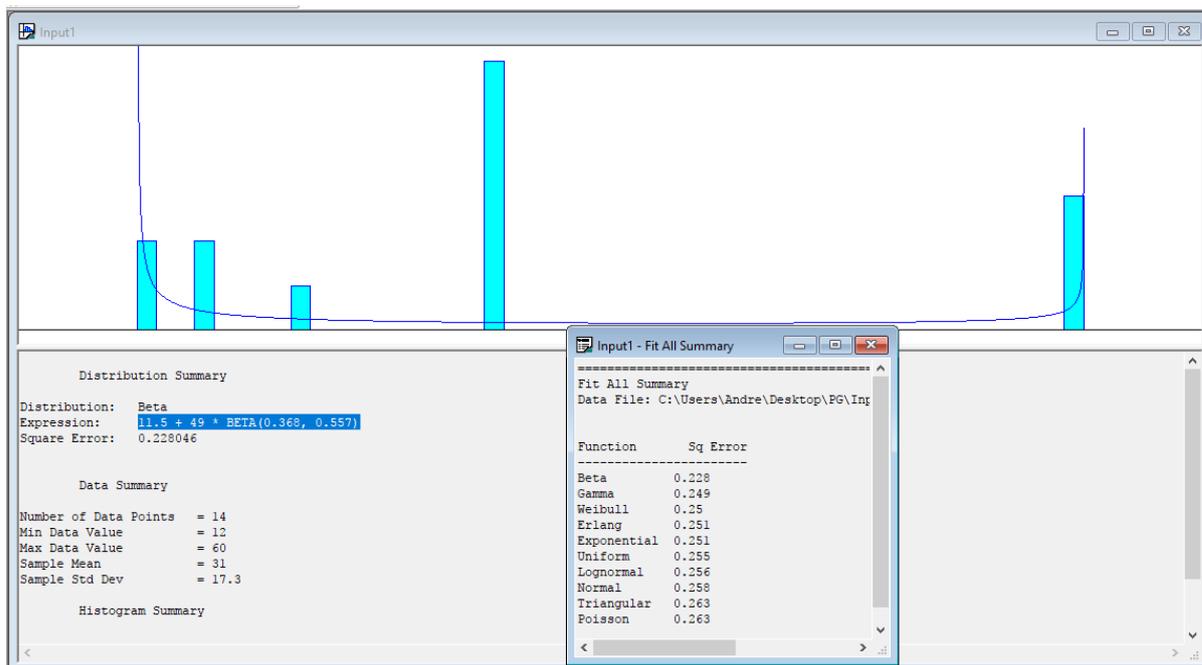
## **4.2 Tratamento dos dados para utilizar na modelagem**

A partir das tabelas de tráfego geradas pela pesquisa no Relatório Executivo (Tabela 3), o método para transformar o volume de veículos em uma distribuição de probabilidade foi pela ferramenta *Input Analyser* do Arena Simulation. Ela permite que, a partir da diferença dos tempos de cada entrada, seja possível encontrar uma distribuição aproximada. Esta determinação é feita a partir dos erros-padrões e pelos testes Qui-Quadrado e Kolmogorov Smirnov (Figura 22).

Local: Rua Brás Cubas x Rua Xavier de Silveira Sentido: 5.4														
Período: 9 de outubro, 2013 - quarta-feira a 11 de outubro, 2013 - sexta-feira														
Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Ônibus 2 Eixos	Ônibus 3 Eixos	Ônibus 4 Eixos	Caminhões 2 eixos	Caminhões 3 eixos	Caminhões 4 eixos	Caminhões 5 eixos	Caminhões 6 eixos	Caminhões 7 eixos	Caminhões 9 eixos	Motos
05:00	06:00	14	2	-	-	-	3	2	1	2	2	-	-	2
06:00	07:00	26	3	-	-	-	7	4	1	3	4	-	-	4
07:00	08:00	32	5	-	-	-	6	5	1	5	5	-	-	5
08:00	09:00	42	4	-	-	-	8	5	2	12	6	-	-	5
09:00	10:00	43	5	-	-	-	14	6	1	7	6	-	-	4
10:00	11:00	34	1	-	-	-	17	5	1	5	4	-	-	1
11:00	12:00	56	2	-	-	-	18	8	2	18	5	-	-	3
12:00	13:00	47	4	-	-	-	15	7	3	11	3	-	-	4
13:00	14:00	34	2	-	-	-	8	5	2	10	5	-	-	2
14:00	15:00	34	2	-	-	-	7	9	2	7	4	-	-	3
15:00	16:00	30	2	-	-	-	11	5	2	5	4	-	-	1
16:00	17:00	32	2	-	-	-	10	6	1	6	4	-	-	3
17:00	18:00	30	1	-	-	-	6	5	2	8	4	-	-	4
18:00	19:00	10	1	-	-	-	2	2	-	2	1	-	-	2
Média 3 dias, 14h		464	36	0	0	0	132	74	21	101	57	0	0	43

**Tabela 3:** Exemplo de tabela de tráfego - Acesso 5, 4º Fluxo

O volume de carros no ponto 5.4, por exemplo, teve como distribuição a expressão “ $11.5 + 49 * \text{BETA}(0.368, 0.557)$ ”, a partir da introdução dos dados (Figura 22).



**Figura 22:** Expressão da distribuição de carros do ponto 5, 4º fluxo

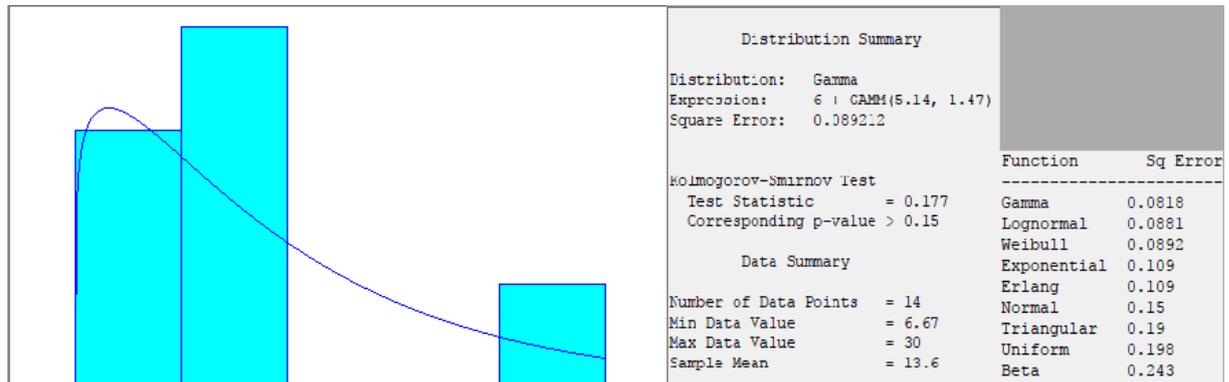
Fonte: Autor

A partir da transformação do volume de veículos em uma distribuição de probabilidade, é possível utilizar o software Arena Simulation, pois ele trabalha a partir do intervalo das entradas no sistema. A distribuição dos veículos em cada acesso, se encontra no Apêndice 3.

### 4.3 Validação dos resultados

A fim de certificar se as distribuições respondem à simulação esperada, foi testada a distribuição de alguns veículos no próprio software. Caso o fluxo esteja dentro do erro esperado, a distribuição está validada a partir do *p-value*, podendo ser utilizada na modelagem do sistema.

Em alguns casos, por haver pouco fluxo de determinado veículo, é possível que o erro seja um pouco maior, pois a distribuição não é tão exata, mas, no somatório final, a diferença é mínima, não alterando de forma substancial o resultado do projeto. De acordo com a Tabela 3, ao todo, a média da quantidade de caminhões de 3 eixos que passariam pelo trecho 5.4, seria de 74 veículos. Após a etapa 3.2, o resultado final da modelagem, após 14 horas, foi de 67 veículos.



**Figura 23:** Resumo da distribuição no trecho 5.4 do caminhão de 3 eixos

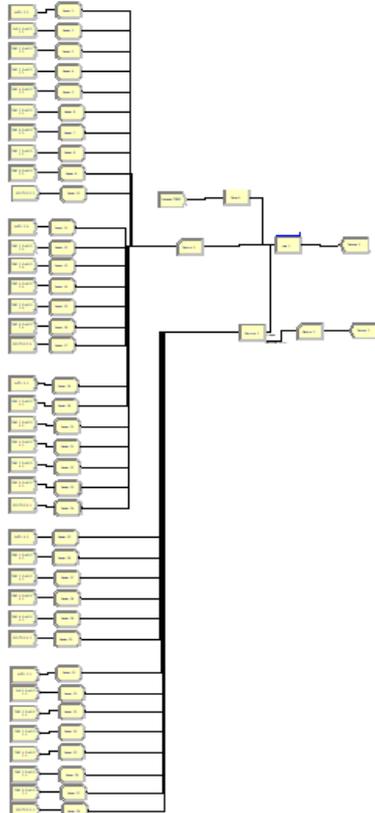
**Fonte:** Autor

Para que a distribuição seja aceita, o *p-value* deve ser o maior possível, para não rejeitar a hipótese nula. Dado o alto valor correspondente do *p-value*, sendo maior que 0.15, a distribuição “6 + GAMM (5.14, 1.47)” pode ser usada no modelo (Figura 23). Para todos os outros acessos, têm-se o mesmo valor correspondente para o *p-value*. De acordo com o software, se o *p-value* é maior que 0.10, a hipótese nula não será rejeitada. Com a proximidade do volume diário médio, junto ao *p-value*, todas as distribuições foram validadas, estando apto a criar a modelagem.

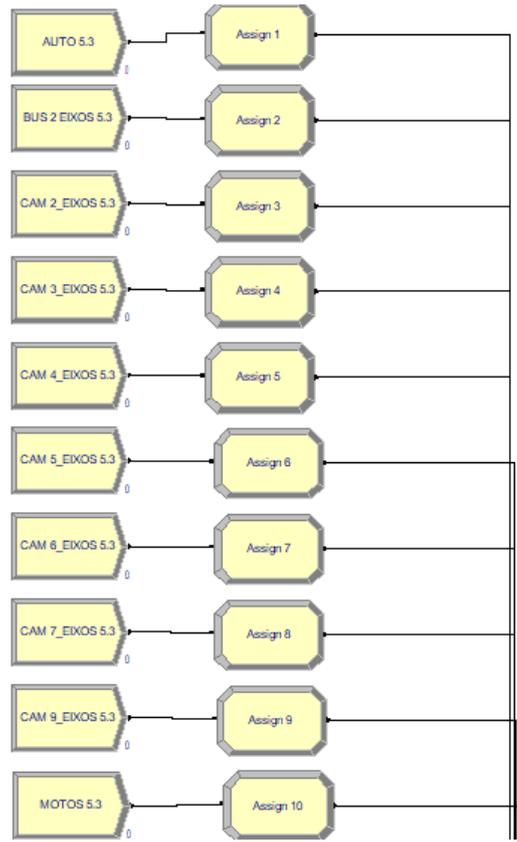
### 4.4 Modelagem do Sistema no software Arena Simulation

Dentro da combinação dos trechos, o modelo tem como objetivo analisar e validar o cenário real para que, com o resultado da simulação, seja possível calcular o custo pecuniário gerado pelos congestionamentos diários entre o cruzamento dos pontos 2 e 3 (Figuras 19 e 20).

De acordo com o que foi exposto neste capítulo, o modelo, a partir das distribuições de cada chegada dos veículos, obteve a seguinte configuração (Figuras 24 e 25):



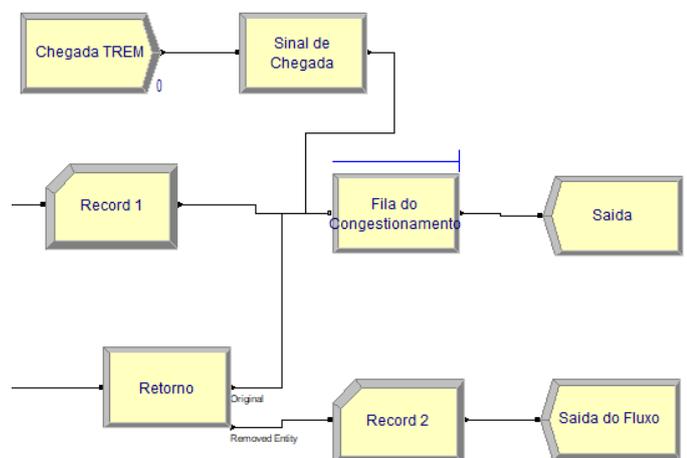
**Figura 24:** Modelagem do sistema da região do Valongo com Arena



**Figura 25:** Zoom do primeiro bloco da Figura 24

onde os três primeiros blocos da coluna estão relacionados aos pontos 5.3, 5.4 e 4.1 (como no exemplo da figura 21), respectivamente sendo as entradas no fluxo, e os dois últimos blocos 4.2 e 3.1, as saídas do fluxo. O exemplo na Figura 25 demonstra as entradas de cada veículo, de acordo com a distribuição detalhada no capítulo 4.2.

A parte lateral direita da modelagem é onde se encontra a chegada do trem (Figura 26), que libera um sinal a cada 8 minutos, tempo médio da sua travessia, a fim de dar sequência ao fluxo dos veículos que estão na rodovia. Mesmo o trem chegando a cada 30 minutos, o sinal é dado em intervalo de 8 minutos para aumentar a abrangência da simulação, já que o trem chega em tempos não determinados.



**Figura 26:** Parte da Modelagem da Simulação referente ao Congestionamento

Após a simulação do modelo, foi possível identificar a quantidade máxima de veículos na fila (76), a quantidade máxima de cada veículo numa fila específica (WIP - *Maximum Value*) e a média dos veículos na fila (WIP – *Average*), como consta na Tabela 4.

Work in Process	Média	Média Máxima	Valor Máximo
AUTO	10.05	10.29	28
BUS 2_EIXOS	0.69	0.84	5
CAM 2_EIXOS	2.59	2.76	10
CAM 3_EIXOS	6.94	7.18	20
CAM 4_EIXOS	1.58	1.72	9
CAM 5_EIXOS	2.38	2.7	15
CAM 6_EIXOS	2.75	3.07	14
CAM 7_EIXOS	2.72	2.51	11
CAM 9_EIXOS	0.46	0.53	2
MOTOS	3.16	3.38	12

FILA			
Quantidade em espera	Média	Média Máxima	Valor Máximo
Fila do Congestionamento.QUEUE	32.90	33.61	85

**Tabela 4:** Resultado da Simulação - Arena Simulation

Com os dados da simulação, é possível identificar a média de veículos no congestionamento e a quantidade dos veículos na fila. Com a quantidade média, será identificado o custo de oportunidade gerado pela fila anualmente, pois a partir do número de veículos, encontra-se a quantidade de motoristas. O objetivo é identificar o custo de oportunidade gerado por cada motorista.

Com a quantidade máxima gerada de cada veículo (Coluna “Valor Máximo”, Tabela 4), será realizado o cenário no pior dos casos, onde se tem o máximo de veículos possível numa

fila, de acordo com a simulação. Com esse cenário, é possível avaliar a pior situação possível e o impacto dos custos neste caso.

## 5. SIMULAÇÃO DO CONGESTIONAMENTO

*Neste capítulo encontram-se os resultados propostos e sua análise. Além disso, serão apresentados os custos de congestionamento em comparação ao tempo de espera na fila.*

### 5.1 Cálculo do comprimento da fila

O comprimento médio dos veículos está de acordo com os padrões do Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2016). Dada a quantidade de veículos na maior fila gerada na simulação, foi possível identificar o comprimento desta fila (Tabela 5).

	VEÍCULOS											
	Auto	Ônibus 2 Eixos	Ônibus 3 Eixos	Ônibus 4 Eixos	Caminhões 2 eixos	Caminhões 3 eixos	Caminhões 4 eixos	Caminhões 5 eixos	Caminhões 6 eixos	Caminhões 7 eixos	Caminhões 9 eixos	Motos
Quantidade de Veículos na maior fila	28	5	0	0	10	20	9	15	14	11	2	12
Comprimento Médio do Veículo, com folga de 1 metro (m)	5	15	18	20	15	15	19	21	21	23	31	3
Carga Máxima (t)	1,00	12,00	15,00	20,00	16,00	25,00	33,00	43,00	50,00	57,00	75,00	0,30
Extensão total da Fila (m)	1796											
Extensão Uniforme da fila em duas faixas de acomodação (m)	898											

**Tabela 5:** Extensão Total da maior fila no sistema

O cálculo da quantidade de veículos na maior fila foi feito a partir da quantidade gerada de veículos nas 1000 interações (Fila, coluna “Valor Máximo”, Tabela 4), junto com sua porcentagem média (coluna Média, Tabela 4), bastando encontrar a porcentagem relativa de cada veículo na maior fila resultante da simulação, ou seja, de 85 veículos (Tabela 6).

Há, em média, 33 veículos para cada paralisação (Fila, coluna “Média”, Tabela 4). Nos momentos em que a fila possui 85 veículos, há uma extensão de pelo menos 898 metros, com duas vias paralelas desta dimensão.

<b>Veículos</b>	<b>Quantidade de Veículos</b>	<b>Porcentagem Relativa</b>	<b>Quantidade de Veículos na Maior Fila (85)</b>
Auto	10	28%	23
Ônibus 2 Eixos	1	3%	2
Caminhões 2 eixos	3	8%	7
Caminhões 3 eixos	7	19%	16
Caminhões 4 eixos	2	6%	4
Caminhões 5 eixos	3	8%	7
Caminhões 6 eixos	3	8%	7
Caminhões 7 eixos	3	8%	7
Caminhões 9 eixos	1	3%	3
Motos	3	8%	9
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>100%</b>	<b>85</b>

**Tabela 6:** Quantidade de veículos na maior fila e média de veículos na fila

## **5.2 Análise dos resultados frente aos custos de mobilidade**

### **5.2.1 Custo de Oportunidade**

O custo de oportunidade foi dividido de acordo com os veículos, entre automóveis e caminhões. Para determinar o custo de oportunidade dos automóveis, foi preciso estimar o valor da hora/homem da jornada da População Economicamente Ativa da Região Metropolitana da Baixada Santista. De acordo com a Agência Metropolitana da Baixada Santista (AGEM), a região possui 1.765.431 de habitantes (2016). O PIB da região é de R\$ 54 bilhões e a PEA estimada, de acordo com o IBGE (2001/2011), é de 61%. Com isso, tem-se que a estimativa do valor hora/homem é de R\$ 24,48 (Tabela 7).

<b>Estimativa do Valor hora/homem da População Economicamente Ativa</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Região Metropolitana da Baixada Santista - RMBS</b>
População Residente	1.765.431
PIB	54 bilhões
PEA ocupada estimada	1.089.977
PIB per capita da PEA ocupada (R\$)	49542,33
Valor Hora/homem	R\$ 24,48

**Tabela 7:** Estimativa do Valor hora/Homem da PEA

Fonte: IBGE; Fundação Seade, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2001/2011

De acordo com os dados do congestionamento e da quantidade média de automóveis nas filas no momento em que acontece a passagem do trem (Tabela 5), é possível calcular o custo de oportunidade anual dos automóveis (Tabela 8).

<b>Custo de Oportunidade Anual - Automóveis</b>			
Total de horas diárias (05 - 19 horas)	14	Total de Tempo Gasto Anual (h)	1.361
Tempo de parada (min)	8	Valor Hora/homem (R\$)	R\$ 24,48
Quantidade de Paradas	28	Anual por veículo (R\$)	R\$ 33.328,30
Tempo Gasto em Congestionamento (h)	3,73	Cada Veículo, 2 pessoas	R\$ 66.656,59
Quantidade de dias no ano	365	Número médio de carros	11
<b>CUSTO DE OPORTUNIDADE</b>		<b>R\$ 733.222,51</b>	

**Tabela 8:** Custo de Oportunidade Anual - Automóveis

O custo de oportunidade dos caminhões foi encontrado a partir dos dados de uma pesquisa da Fundação Valenciaport. A pesquisa foi realizada em maio de 2014 e estimou o custo de transporte médio dos caminhões e o tempo de viagem médio até o porto de Santos. De acordo com o estudo, o tempo médio de viagem é de 17 horas e 8 minutos e o custo do transporte médio é de R\$ R\$ 2.580,12. A partir desses dados, foi possível determinar o valor hora/homem, de R\$ 150, 62. Diferentemente dos automóveis, foram consideradas 24 horas por dia de

trabalho, já que o porto funciona de forma constante. Assim, foi possível calcular o Custo de Oportunidade Anual dos caminhões (Tabela 9).

<b>Custo de Oportunidade Anual - Caminhões/Ônibus</b>			
<b>Total de horas diárias</b>	24	<b>Quantidade de dias no ano</b>	365
<b>Tempo de parada (min)</b>	8	<b>Total de Tempo Gasto Anual (h)</b>	2336
<b>Quantidade de Paradas</b>	48	<b>Valor Hora/homem (R\$)</b>	R\$ 150,62
<b>Tempo Gasto em Congestionamento (h)</b>	6,4	<b>Número médio de caminhões</b>	24
<b>CUSTO DE OPORTUNIDADE</b>		<b>R\$ 8.444.359,68</b>	

**Tabela 9:** Custo de Oportunidade Anual – Caminhões

Com isso, o Custo de Oportunidade Anual Total é de R\$ 9.177.582,19.

### 5.2.2 Custo Pecuniário do Congestionamento

O Custo Pecuniário do Congestionamento é composto por: I) quantidade de combustível gasto por quilometro enquanto o veículo está na velocidade média da via (50 km/h) subtraído da quantidade gasta pelo veículo em baixa velocidade (10 km/h); e II) a quantidade de poluentes liberadas no ar. A Tabela 10 resume os custos advindos do tempo de permanência no congestionamento e que demanda maior queima de combustível. As informações contidas nas tabelas são resultado das equações do Capítulo 3.

	<b>Consumo (l/km)</b>	<b>Consumo total (l)</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Custo Diário (R\$)</b>	<b>Custo Anual (R\$)</b>	<b>Diferença</b>	<b>CUSTO TOTAL ANUAL</b>
<b>Custo Gasolina (50) - Equação 3</b>	0,1208	1,3284	5,26	147,18	53722,24	R\$ 45.082,37	<b>R\$ 307.716,06</b>
<b>Custo Gasolina (10) - Equação 3</b>	0,2221	2,4432	9,67	270,70	98804,61		
<b>Custo Diesel (50) - Equação 4</b>	0,3178	7,6282	23,64	1134,71	414167,86	R\$ 262.633,69	
<b>Custo Diesel (10) - Equação 4</b>	0,5194	12,4654	38,63	1854,25	676801,54		

**Tabela 10:** Custo Pecuniário – Combustível

Como exemplo, será desenvolvida a forma de encontrar o resultado do custo anual de gasolina por automóveis a 50 km/h.

O consumo (l/km) é dado a partir da equação 3,  $C = 0,09543 + \frac{1,26643}{V-0,00029V}$ , onde V é a velocidade, sendo nesse caso igual a 50 km/h. Atribuindo V=50, tem-se que o consumo é igual a 0,1208 litros por quilometro. Com isso, é possível identificar o consumo total da quantidade de automóveis que se encontram na falia, sendo a fila média com 11 automóveis. Logo, o consumo total é de 1,3284 litros, 0,1208 litro multiplicado por 11.

O custo é a quantidade de litros consumida multiplicada pelo valor do combustível, no caso, gasolina a R\$ 3, 957. Então tem-se o custo de R\$ 5,2566. O custo diário é encontrado a partir da multiplicação do custo pelo número de paradas, ou seja, 28 para automóveis e 48 para caminhões. Nesse caso, o custo diário será de R\$ 5, 26 multiplicado por 28, com total de R\$ 147, 18. E por fim, o custo anual é o custo diário multiplicado pelo número de dias no ano, 365, com total de R\$ 53.722, 24. Desenvolvendo as demais equações, tem-se o custo de combustível causada pelo congestionamento durante o ano, de R\$ 307.715,18

Para o custo gerado pelos poluentes, tem-se as equações 5, 6 e 7 são para os automóveis (motor a gasolina) e as equações 8, 9, 10 e 11 para os ônibus e caminhões (motor a diesel). O custo total causado pelos poluentes anualmente é de R\$ 22.804,48 (Tabelas 11 e 12).

<b>Poluentes</b>	<b>Automóvel a 50 km/h (g/km)</b>	<b>Automóvel a 10 km/h (g/km)</b>	<b>Caminhões/Ônibus a 50 km/h (g/km)</b>	<b>Caminhões/Ônibus a 10 km/h (g/km)</b>
<b>HC - Equações 5 e 8</b>	0,9696	5,968	-0,21712443	5,689512709
<b>CO - Equações 6 e 9</b>	13,38	68,324	8,210033411	22,66278586
<b>Nox - Equações 7 e 10</b>	1,216925	1,037477	11,93833138	22,3353003
<b>Particulados - Equação 11</b>	-	-	0,488152638	1,00317277

**Tabela 11:** Emissão dos Poluentes frente às velocidades dos veículos

Custo (R\$/ano)					
Poluentes	Custo dos Poluentes (R\$/g)	Automóvel a 50 km/h (R\$/km)	Automóvel a 10 km/h (R\$/km)	Caminhões/Ônibus a 50 km/h (R\$/km)	Caminhões/Ônibus a 10 km/h (R\$/km)
HC	R\$ 0,00322	R\$ 0,00312	R\$ 0,01922	-	R\$ 0,01833
CO	R\$ 0,00073	R\$ 0,00973	R\$ 0,04967	R\$ 0,00597	R\$ 0,01648
Nox	R\$ 0,00373	R\$ 0,00454	R\$ 0,00387	R\$ 0,04451	R\$ 0,08327
Particulados	R\$ 0,01906	-	-	R\$ 0,00931	R\$ 0,01912
	<b>Custo Anual</b>	R\$ 1.954,65	R\$ 8.179,93	R\$ 21.223,64	R\$ 49.645,13
	<b>Diferença</b>	R\$ 6.225,27		R\$ 28.421,49	
<b>CUSTO TOTAL</b>			<b>R\$ 34.646,77</b>		

**Tabela 12:** Custo Total gerado pela emissão de poluentes

Como exemplo, será demonstrado o resultado dos custos de emissão de poluentes de caminhões e ônibus a 50 km/h. A partir das equações 8, 9, 10 e 11, foi possível encontrar a emissão dos poluentes: hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio e materiais particulados. Aplicando diretamente as equações, sendo  $V$  igual a 50, tem-se o resultado disposto nas colunas “Automóvel a 50 km/h (g/km)” e “Caminhões/Ônibus a 50 km/h (g/km)” da Tabela 11.

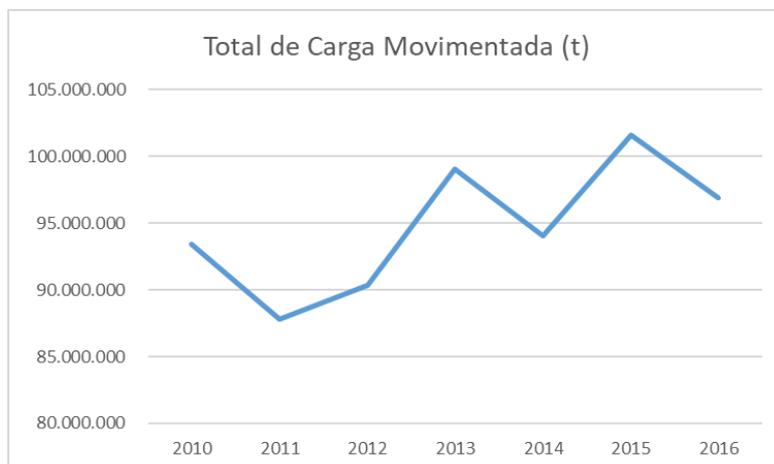
- Equação 8 - HC (g/km) =  $14,14 - 3,67 \times \ln(V) = 14,14 - 3,67 \times \ln(50) = -0,21712443$  g/km (Conclui-se que não há eliminação de HC a 50 km/h por ônibus e caminhões)
- Equação 9 - CO (g/km) =  $43,34 - 8,98 \ln(V) = 43,34 - 8,98 \times \ln(50) = 8,210033411$  g/km
- Equação 10 - NOx (g/km) =  $37,21 - 6,46 \ln(V) = 37,21 - 6,46 \times \ln(50) = 11,938331385$  g/km
- Equação 11 - Materiais Particulados (MP) (g/km) =  $1,74 - 0,32 \ln(V) = 1,74 - 0,32 \times \ln(50) = 0,4881526383$  g/km

Fazendo a multiplicação dos resultados encontrados a partir das equações 8, 9, 10 e 11 pelo custo do respectivo poluente, coluna “Custos dos Poluentes (R\$/g)” tem-se os custos da coluna “Caminhões/Ônibus a 50 km/h (R\$/km)”, que condiz com o custo gerado pela emissão dos poluentes por um ônibus ou caminhão em um quilometro, extensão da via em estudo. O custo de um ônibus ou caminhão a 50 quilômetros por hora em um quilômetro rodado é a soma de R\$ 0,00 (HC) (não há emissão à 50 km/h), R\$ 0,00597 (CO), R\$ 0,04451 (NOx) e R\$ 0,00931 (Materiais Particulados), resultante em R\$ 0,05978. O “Custo Anual” é a soma de

todos os ônibus e caminhões que pararam no congestionamento durante o ano, ou seja, a multiplicação do custo de um ônibus/caminhão (R\$ 0,05978), por 24 ônibus/caminhões por fila, por 48 paradas, pelo número de dias no ano (365), totalizando R\$ 21.223, 64.

No que diz respeito a este projeto, foi possível estimar o Custo de Mobilidade, de R\$ 9.519.944,14, sendo quase 80% desse custo gerado apenas pelos caminhões. Em consideração ao custo do projeto mais simples, de 200 metros de extensão e R\$ 360 milhões de investimento, o Custo de Mobilidade Anual é 2,64% do projeto.

Com maior movimentação do porto, que tem sido crescente, mesmo com as crises econômicas nacional e mundial ,há uma tendência de aumento do Custo de Mobilidade e maior impacto nos custos logísticos (Figura 27).



**Figura 27:** Total de Carga Movimentada (t) - Porto de Santos  
Fonte: Anuário ANTAQ

### 5.3 Análise dos resultados no pior cenário

Levando em consideração todos os cálculos realizados e, em vez de considerar o valor médio, considerar a quantidade máxima de veículos na fila encontrada pela simulação, é possível elevar o custo num outro patamar, já que esse cenário também é possível.

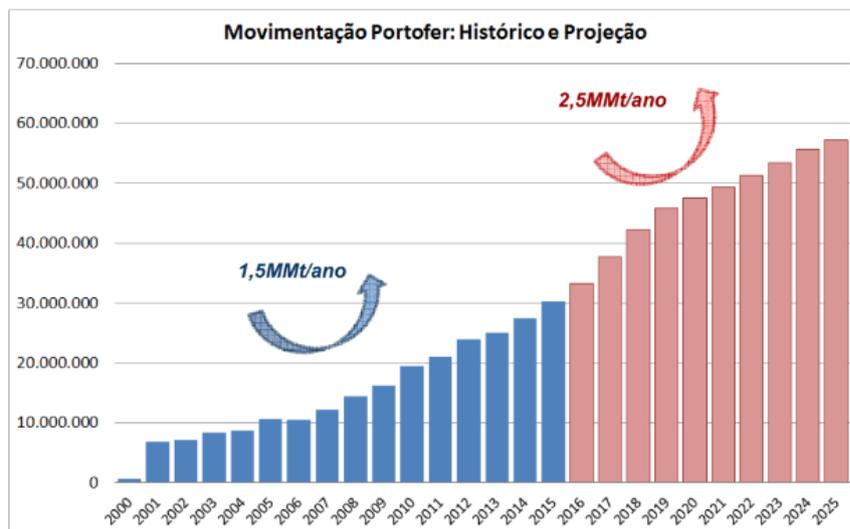
De acordo com a Tabela 5, foram considerados 28 automóveis e 86 ônibus/caminhões nos cálculos. Chegou-se então aos valores da Tabela 13, bem mais elevados que os do cenário anterior.

Custo de Oportunidade Anual	R\$ 32.125.340,10
Custo com Combustível	R\$ 1.055.758,65
Custo Emissão de Poluentes	R\$ 117.689,84
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$ 33.298.788,58</b>

**Tabela 13:** Custo Total Anual no pior cenário

A partir dessa perspectiva, a possibilidade do pior cenário expõe a verdadeira dimensão do impacto gerado pelos custos de mobilidade e, portanto, logístico. Grande parte das soluções propostas são para problemas pontuais, sem que a arquitetura do porto seja alterada. A demanda ferroviária, de acordo com o Plano Mestre do Porto de Santos (2012), está sobrecarregada.

De acordo com a Rumo All (2016), há uma demanda crescente de movimentação de carga no modo rodoviário. Nos próximos anos, haverá um aumento substancial de 2,5 MMt por ano. Com isso, também haverá grande impacto nos gargalos, caso não haja investimento na infraestrutura da *hinterland* do Porto de Santos. De acordo com a Figura 28, em 2025, haverá um aumento de 2,5 vezes de movimentação pelo acesso rodoviário.



**Figura 28:** Movimentação de Carga - Portofer (2016)  
Fonte: RUMO ALL (2016)

## 6. CONCLUSÃO

*Este capítulo contém as informações conclusivas e as limitações do trabalho, bem como propostas para futuros estudos.*

O Porto de Santos é o principal porto do Brasil, pois se trata do maior movimentador de container e com isso o principal exportador. Com o desenvolvimento portuário junto à cidade de Santos, os problemas começaram a surgir, gerando inúmeros gargalos em volta do porto, tendo consequências junto à cidade. Diversos investimentos estão em pauta para serem realizados e espera-se que o fluxo logístico se torne adequado, a fim de que o porto tenha infraestrutura de primeiro mundo.

Os dados do relatório executivo foram extraídos em 2013, havendo possibilidade de não estar de acordo com a realidade atual, pois a demanda tem crescido gradativamente, de acordo com o crescimento líquido dos últimos anos e da espera de melhora econômica neste ano de 2017 (PORTAL MARÍTIMO, 2017).

Este trabalho foi de suma importância para que o modelo simulado apresentasse o sistema real de forma fidedigna. Com isso, é possível que poucas alterações sejam realizadas, a fim de otimizar o sistema e reconhecer os reais problemas de porto, indo além da região do Valongo, pois, caso o investimento para solução do problema aconteça, haverá uma reestruturação da região durante o desenvolvimento do projeto. Além disso, é possível que outro gargalo surja, o que amplia a necessidade de um novo estudo.

### 6.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

- **Levantamento e atualização de novos dados:** há a necessidade de realizar um novo estudo para reconhecer a real situação da Região do Valongo, para que haja mínima informação dos problemas gerados pelo gargalo, levantando custos e comparando com o investimento a ser realizado.
- **Ampliação da área a ser simulada:** a Avenida Perimetral é apenas um trecho da cidade de Santos que intermedia a chegada dos veículos ao porto. Por isso, é possível

reconhecer quais são os pontos de maior conflito logístico e ranquear por prioridade, buscando investimentos com base informacional para a tomada de decisão.

- **Comparação dos custos reais logísticos ao investimento do projeto:** levantar informações gerais sobre o impacto gerado pelo congestionamento nos custos logísticos e distinguir quem são os impactados, a fim de diminuir o Custo Brasil, aumentando a eficiência das empresas brasileiras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. G. “Ferramenta de Simulação com Abordagem de Sistema Multiagente para a Dinâmica de Uso da terra”. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação do Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Brasília para obtenção do título de Mestre em Informática, Brasília, Brasil, 2012.

AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA. “Desafios Interfederativos da Gestão Metropolitana. Estatuto da Métropole: Lei 13.089/2016”. Brasília, 09 de agosto de 2016. Disponível em <<http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cdu/audiencias-publicas/audiencia-publica-para-debater-a-questao-da-governanca-metropolitana-no-brasil/apresentacoes/apresentacao-da-agencia-da-regiao-metropolitana-da-baixada-santista/view>>

ALENCAR, C. F. de; MACEDO, E. R. de; SOARES, A. M.; SOUZA, F. D. C., “Estudo de Roteirização de Veículos: Aplicação da Técnica de Varredura em uma Indústria de Artigos de Sono”. Fortaleza: Artigo publicado no XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2015.

ALMEIDA, I. T. “A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto”. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, 1999.

ANDERSON, N.F. 15º Fórum Latino-Americano e Brasileiro de Liderança Estratégica em Infraestrutura. 12 de setembro de 2017. Disponível em <<https://exame.abril.com.br/brasil/pais-deve-repensar-infraestrutura-diz-membro-do-forum-economico/>>

ANTAQ, Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Anuário de 2013, 2014.

\_\_\_\_\_. “A navegação fluvial brasileira e o Pará neste contexto”. Trans 2015. 01 de setembro de 2015. Belém-PA.

BANKS, J., Carson, J.S., Nelson, B.L. “Discrete Event System Simulation; Ed. Prentice Hall: Upper Saddle River”. New Jersey, E.U.A, 1996.

BARTH, C. “Demonstração da Participação do Custo Logístico de Distribuição no Custo Final de um Produto Alimentício” Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC – Florianópolis, 28 de junho de 2012.

BALLOU, R. H. “Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ Logística Empresarial”. Porto Alegre: Bookman, 2006. 5ª. Edição.

BORNIA, A. C.; DONADEL, C. M.; LORANDI, J. A., “A logística do comércio eletrônico do B2C (business to consumer)”. Fortaleza: Artigo publicado no XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2006.

BRITO, T., & BOTTER, R. C. (2012). “Uma discusión acerca de las condiciones de acceso terrestre a los terminales del Puerto de Santos y su importancia para el mantenimiento de la competitividade portuária”. In Actas de la Conferencia SYMMTECHNAVAL 2012 (Vol. 1, pp. 1).

CAPDEVILLE, A. “Categorização dos gargalos de uma cadeia logística de transporte da safra agrícola”. 102f. Mestrado. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

CHAO, W. “Identificação de Gargalos na Cadeia Logística Utilizando Técnicas de Simulação: Avaliação da Malha de Distribuição de GLP em São Paulo”. Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado. Florianópolis, 30 de setembro de 2001.

CHWIF L., MEDINA, A.C. “Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações”. 2ª Edição, Ed. dos autores. São Paulo, 2007.

COMPANHIA DOCAS DE SÃO PAULO – CODESP. “Análise do Movimento Físico do Porto de Santos, Janeiro de 2017. 13 de março de 2017.

\_\_\_\_\_. “Panorama do Porto de Santos”. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNT. “Oportunidades para a privatização da infraestrutura. O que fazer, Como fazer”. Brasília, 2017.

\_\_\_\_\_. Relatório Econômico. Fevereiro de 2012.

COSTA, S. B. C., GAMEIRO, A. H. “Entendo o Custo Brasil”. IFMA-ABAR, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. “Manual de Estudos de Tráfego”. Rio de Janeiro, 2016.

DOLAVALE, A. S. “Riscos na Implantação de Warehouse Management System (WMS) em Centro de Distribuição: Estudo de Caso”. Rio de Janeiro, Dezembro de 2010.

ECHENIQUE, M. “Models: a discussion”. University of Cambridge, Cambridge, UK: 1968.

FRONDANA, I. M. “Classificação de biopotenciais via cadeias de Markov ocultas”. Mestre em Estatística. Instituto de Estatística, Universidade de Brasília, 2011.

GUASCH, J. “Logistics as a Driver for Competitiveness in Latin America and the Caribbean”. Capital Markets and Financial Institutions Division Discussion paper, n. 193, p. 1-31, 2011.

GUIMARÃES, L. Caderno Economia. Jornal do Comércio. 23 de agosto de 2010.

HARREL, C. R.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J. E MOTT, J. R. A. “System Improvement Using Simulation”, 1º edição, McGraw-Hill, 2000

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, “Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil”. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN – ILOS. Panorama “Custos Logísticos no Brasil”. 2013.

JARDINE, C. “Perdas: quando a produção não vai para o saco. O Brasil Agrícola: A Granja” Nº 639. Pg. 12 –21. 2002.

KELTON, D.; SADOWSK, D. SADOWSK, R. Simulation With ARENA. McGraw Hill, 2000.

MAÇADA, A. C. G. Revista Eletrônica de Gestão de Negócios – eGesta. Editorial v.1, n1, abr.-jun./2005, p. 128

MARTINS, C.R.; FARIAS, R.M., “Produção De Alimentos X Desperdício: Tipos, Causas E Como Reduzir Perdas Na Produção Agrícola – Revisão”. Revista da FZVA Uruguaiana, v. 9, n. 1, p. 20-32. 2002.

MARIA, A. “Introduction to modeling and simulation”. In Proceedings of the 29th conference on Winter simulation – WSC '97, páginas 7-13, Nova York, USA. ACM Press, 1997.

MATTAR, F. N. “Pesquisa de Marketing: Metodologia, planejamento, execução e análise”. 7ª Edição. Ed. Elsevier, 10 de dezembro de 2013.

MCCLELLAN, J.J. “The benefit of using simulation to improve the implementation of lean manufacturing case study: quick changeovers to allow level loading of the assembly line”. Dissertação de mestrado, Brigham Young University, 2004.

MEADOWS, D. H. “Thinking in Systems: A Primer”. Chelsea Green Publishing, 2008.

MEIRELES, R.P.L. “Modelagem e Simulação da Malha Ferroviária em Circuito Fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas”. 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFES, Vitória, 2010.

MENNER, W. A. “Introduction to Modeling and Simulation”. Johns Hopkins APL Technical Digest, 1995.

MOURA, R. A. Manual de Logística: Armazenagem e Distribuição Física. São Paulo: IMAN, 1997.

NAVEGAÇÃO ajusta fretes e operação para enfrentar a crise. Diário do Comércio Indústria e Serviços. São Paulo, 3 de março de 2017.

NOTTEBOOM, T. & J. P. RODRIGUE. “Re-Assessing Port-Hinterland Relationships in the Context of Global Commodity Chains. Ports, cities, and global supply chains“. J. Wang. England, Aldershot; Burlington, VT : Ashgate, c2007.

NOVAES, A. G. “Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes”. Edgard Blücher. Ed. São Paulo, 1982.

ORNELAS, R.S. “Relação Porto/Cidade: Caso de Santos”. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. “Introduction to Simulation Using SIMAN“. Ed. McGraw-Hill, New York, 1995.

PRADO, D. S. “Usando o Arena em Simulação”. Belo Horizonte: INDG Tecnologia, 2008.

PRAIA, C. R.; GOMES C. F. S. “Simulação computacional aplicada à modelagem do processo de recebimento de uniformes na marinha do Brasil”. Natal. XLV SBPO, 2013.

RODRIGUES, P. R. A. “Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à Logística Internacional”. 4ª Edição. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

ROSS, S. M. “Simulation”. 5ª Edição. Epstein Department of Industrial and Systems Engineering. University of Southern California, 2012.

ROSS, S. M. “Stochastic processes”. 2ª Edição. John Wiley & Sons, Inc. Barkeley, EUA, 1996.

RUMO ALL. “Acessibilidade ao Porto de Santos: Desafions e Oportunidades“. Workshop de Logística e Transporte da FIESP. 30 de junho de 2016.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – SEP/PR. “Plano Mestre do Porto de Santos: Atualização do Plano de Desenvolvimento e Expansão do Porto de Santos (PDEPS)”. Florianópolis, Santa Catarina. 2012.

Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura, Relatório do 5º Balanço de 2015-2018 do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). 30 de agosto de 2017.

Site do Ministério do Meio Ambiente. “Ibama emite licença para o Porto de Santos”.  
<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=2300>.  
Disponível em 20 de novembro de 2017.

Site Portal Marítimo. “Porto de Santos registra novo recorde de movimentação de contêineres”.  
<https://www.portamaritimo.com/2017/10/30/porto-de-santos-registra-novo-recorde-de-movimentacao-de-containers/>. Disponível em 27 de novembro de 2017.

Site da Revista Portuária, A Ineficiência da Infraestrutura Logística do Brasil, 2014.  
<http://www.revistaportuaria.com.br/noticia/16141>. Disponível em 13 de novembro de 2017.

Site da Secretaria de Portos. <http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/noticias/portos-do-brasil-movimentam-98-6-das-exportacoes-em-2015>. Disponível em: 11 de novembro de 2017.

\_\_\_\_\_.<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/inteligencia-logistica/porto-sem-papel-ppp>. Disponível em 17 de novembro de 2017.

\_\_\_\_\_.<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/inteligencia-logistica/portolog>.  
Disponível em 17 de novembro de 2017.

TAHA, A., H. Operational Research: An Introduction. Prentice Hall, 2006.

TSILOUFAS, S. P.; PELLEGRINI, S. P.; FREIRE, C. M.; NEVES, R. R. V.; KAMINSKI, P. C. Solução para perda de grãos no transporte rodoviário: sistema de enlonamento automatizado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de Tecnologia de Delft, 2011.

VASCONCELLOS, E.de A. “Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos”. São Paulo: Edição do Autor, 2006.

# APÊNDICES

## Apêndice 1

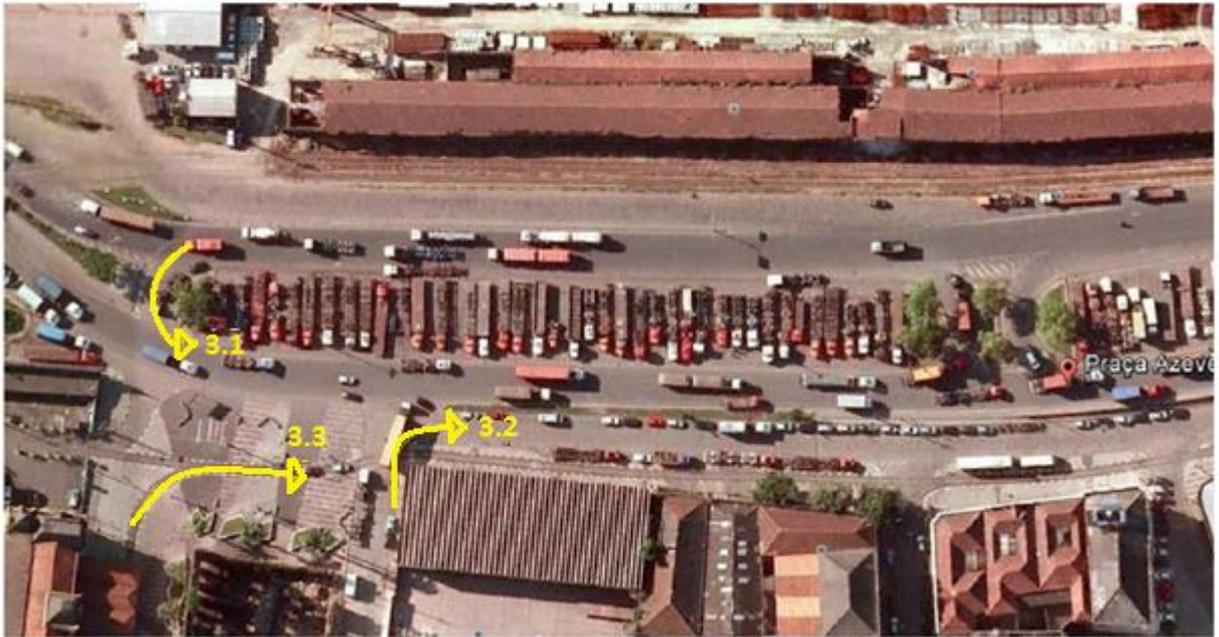
Este apêndice contém os quadros com os dados reais retirados do Relatório Executivo da CODESP, dos fluxos 3.1, 4.1, 4.2, 5.3 e 5.4 e das respectivas imagens.

### 3.1

Local Rua Comendador Neto x Praça Azevedo Jr. Sentido 3.1

Período: 9 outubro, 2013 - quarta-feira a 11 outubro, 2013 - sexta-feira

Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Onibus 2 Eixos	Onibus 3 Eixos	Onibus 4 Eixos	Caminhões 2 Eixos	Caminhões 3 Eixos	Caminhões 4 Eixos	Caminhões 5 Eixos	Caminhões 6 Eixos	Caminhões 7 Eixos	Caminhões 9 Eixos	Motos
05:00	06:00	99	41	1	-	-	11	11	24	2	-	-	-	9
06:00	07:00	164	69	1	-	-	17	15	37	4	2	-	-	19
07:00	08:00	195	61	2	-	-	22	22	54	4	2	-	-	28
08:00	09:00	134	29	3	-	-	26	35	24	2	-	-	-	15
09:00	10:00	148	33	1	-	-	30	28	39	4	2	-	-	11
10:00	11:00	121	17	1	-	-	33	30	24	6	-	-	-	10
11:00	12:00	103	11	2	-	-	28	11	28	4	2	-	-	17
12:00	13:00	92	15	1	-	-	22	17	22	2	-	-	-	13
13:00	14:00	100	16	1	-	-	22	13	19	6	4	-	-	19
14:00	15:00	87	15	3	-	-	19	9	28	2	-	-	-	11
15:00	16:00	68	12	2	-	-	13	13	11	4	-	-	-	13
16:00	17:00	73	17	3	-	-	11	9	19	2	-	-	-	12
17:00	18:00	98	23	2	-	-	9	17	30	4	2	-	-	11
18:00	19:00	65	19	1	-	-	2	13	21	2	-	-	-	7
Média 3 dias, 14h		1.547	378	24	-	-	265	243	380	48	14	-	-	195



## 4.1 e 4.2

Local    RETORNO CANTEIRO CENTRAL XAVIER    Sentido    4.1

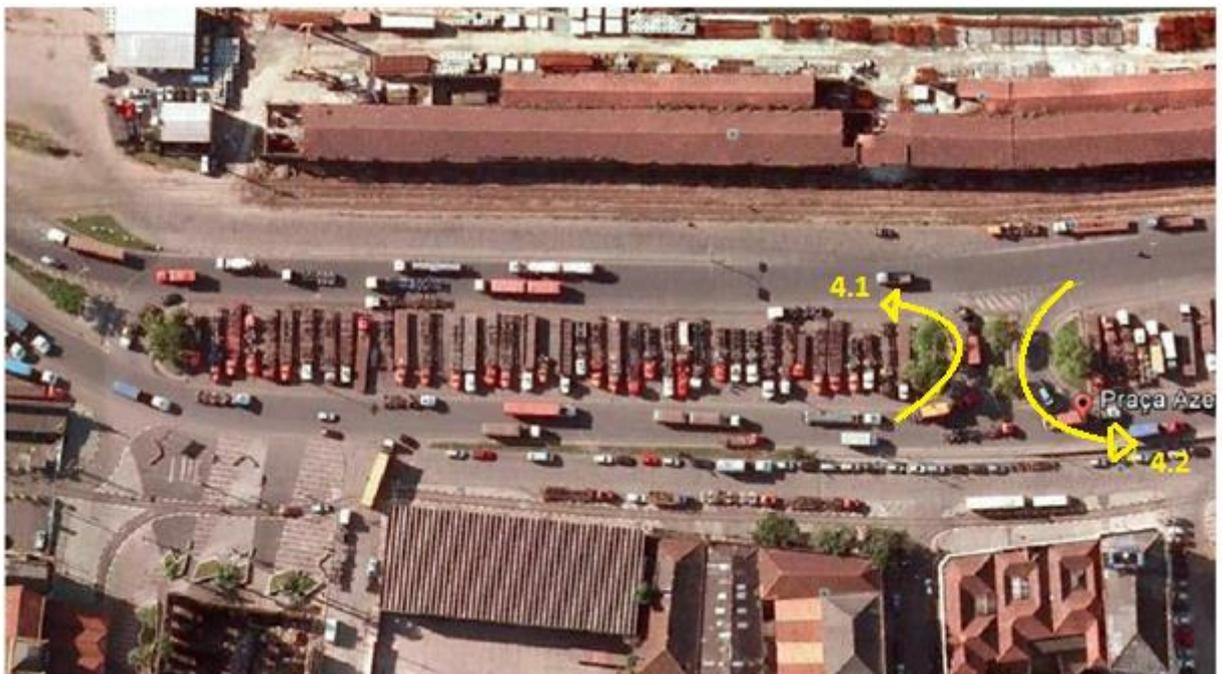
Período:            9 outubro, 2013 - quarta-feira    a            11 outubro, 2013 - sexta-feira

Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Onibus 2 Eixos	Onibus 3 Eixos	Onibus 4 Eixos	Caminhões 2 Eixos	Caminhões 3 Eixos	Caminhões 4 Eixos	Caminhões 5 Eixos	Caminhões 6 Eixos	Caminhões 7 Eixos	Caminhões 9 Eixos	Motos
05:00	06:00	38	21	-	-	-	2	1	1	3	1	-	-	9
06:00	07:00	74	43	-	-	-	5	2	2	7	-	-	-	15
07:00	08:00	78	42	-	-	-	8	1	1	10	3	-	-	13
08:00	09:00	47	34	-	-	-	4	1	1	2	-	-	-	5
09:00	10:00	53	26	-	-	-	4	3	2	10	-	-	-	8
10:00	11:00	51	32	-	-	-	5	2	1	2	1	-	-	8
11:00	12:00	49	29	-	-	-	8	4	1	2	-	-	-	5
12:00	13:00	50	33	-	-	-	7	2	3	1	1	-	-	3
13:00	14:00	63	35	-	-	-	10	1	7	4	1	-	-	5
14:00	15:00	57	36	-	-	-	6	3	2	2	1	-	-	7
15:00	16:00	56	45	-	-	-	4	1	1	1	2	-	-	2
16:00	17:00	55	41	-	-	-	3	1	6	1	-	-	-	3
17:00	18:00	51	40	-	-	-	3	4	1	2	-	-	-	1
18:00	19:00	36	30	-	-	-	2	1	1	1	-	-	-	1
Média 3 dias, 14h		758	487	-	-	-	71	27	30	48	10	-	-	85

Local RETORNO CANTEIRO CENTRAL XAVIER Sentido 4.2

Período: 9 outubro, 2013 - quarta-feira a 11 outubro, 2013 - sexta-feira

Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Onibus 2 Eixos	Onibus 3 Eixos	Onibus 4 Eixos	Caminhões 2 Eixos	Caminhões 3 Eixos	Caminhões 4 Eixos	Caminhões 5 Eixos	Caminhões 6 Eixos	Caminhões 7 Eixos	Caminhões 9 Eixos	Motos
05:00	06:00	53	23	-	-	-	13	1	2	-	1	-	-	13
06:00	07:00	88	41	-	-	-	17	6	5	-	-	-	-	19
07:00	08:00	98	50	-	-	-	18	7	1	1	1	-	-	20
08:00	09:00	65	33	-	-	-	12	2	2	-	3	-	-	13
09:00	10:00	76	41	-	-	-	8	3	3	-	1	-	-	20
10:00	11:00	50	23	-	-	-	7	3	2	-	-	-	-	15
11:00	12:00	50	23	-	-	-	8	5	1	-	1	-	-	12
12:00	13:00	66	31	-	-	-	9	5	4	-	2	-	-	15
13:00	14:00	76	37	-	-	-	13	7	5	-	1	-	-	13
14:00	15:00	60	25	-	-	-	12	3	5	-	-	-	-	15
15:00	16:00	49	22	-	-	-	13	4	1	-	2	-	-	7
16:00	17:00	56	30	-	-	-	10	2	3	-	1	-	-	10
17:00	18:00	52	21	-	-	-	9	8	4	-	2	-	-	8
18:00	19:00	33	19	-	-	-	3	2	1	-	1	-	-	7
Média 3 dias, 14h		872	419	-	-	-	152	58	39	1	16	-	-	187



## 5.3 e 5.4

Local Rua Brás Cubas x Rua Xavier da Silveira Sentido 5.3

Período: 9 outubro, 2013 - quarta-feira a 11 outubro, 2013 - sexta-feira

Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Onibus 2 Eixos	Onibus 3 Eixos	Onibus 4 Eixos	Caminhões 2 Eixos	Caminhões 3 Eixos	Caminhões 4 Eixos	Caminhões 5 Eixos	Caminhões 6 Eixos	Caminhões 7 Eixos	Caminhões 9 Eixos	Motos
05:00	06:00	356	107	1	-	-	17	23	1	63	54	52	8	30
06:00	07:00	453	129	-	-	-	23	32	1	68	79	74	10	37
07:00	08:00	546	167	1	-	-	28	33	1	88	93	77	13	45
08:00	09:00	547	148	1	-	-	26	32	3	106	99	63	12	57
09:00	10:00	526	174	-	-	-	27	31	3	84	87	74	8	38
10:00	11:00	482	133	1	-	-	24	40	4	102	91	52	8	27
11:00	12:00	463	136	1	-	-	35	27	3	109	68	44	10	30
12:00	13:00	389	107	1	-	-	29	26	3	87	61	32	9	34
13:00	14:00	361	98	-	-	-	33	29	4	68	47	35	10	37
14:00	15:00	310	69	1	-	-	29	52	3	26	33	65	8	24
15:00	16:00	355	88	-	-	-	29	59	1	17	40	83	9	29
16:00	17:00	325	88	1	-	-	31	45	3	17	47	56	10	27
17:00	18:00	283	98	1	-	-	24	46	3	19	26	26	10	30
18:00	19:00	217	79	-	-	-	27	42	1	14	17	15	4	18
<b>Média 3 dias, 14h</b>		<b>5.613</b>	<b>1.621</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>382</b>	<b>517</b>	<b>34</b>	<b>868</b>	<b>842</b>	<b>748</b>	<b>129</b>	<b>463</b>

Local Rua Brás Cubas x Rua Xavier da Silveira Sentido 5.4

Período: 9 outubro, 2013 - quarta-feira a 11 outubro, 2013 - sexta-feira

Hora Ini	Hora Fim	Fluxo	Auto	Onibus 2 Eixos	Onibus 3 Eixos	Onibus 4 Eixos	Caminhões 2 Eixos	Caminhões 3 Eixos	Caminhões 4 Eixos	Caminhões 5 Eixos	Caminhões 6 Eixos	Caminhões 7 Eixos	Caminhões 9 Eixos	Motos
05:00	06:00	14	2	-	-	-	3	2	1	2	2	-	-	2
06:00	07:00	26	3	-	-	-	7	4	1	3	4	-	-	4
07:00	08:00	32	5	-	-	-	6	5	1	5	5	-	-	5
08:00	09:00	42	4	-	-	-	8	5	2	12	6	-	-	5
09:00	10:00	43	5	-	-	-	14	6	1	7	6	-	-	4
10:00	11:00	34	1	-	-	-	17	5	1	5	4	-	-	1
11:00	12:00	56	2	-	-	-	18	8	2	18	5	-	-	3
12:00	13:00	47	4	-	-	-	15	7	3	11	3	-	-	4
13:00	14:00	34	2	-	-	-	8	5	2	10	5	-	-	2
14:00	15:00	34	2	-	-	-	7	9	2	7	4	-	-	3
15:00	16:00	30	2	-	-	-	11	5	2	5	4	-	-	1
16:00	17:00	32	2	-	-	-	10	6	1	6	4	-	-	3
17:00	18:00	30	1	-	-	-	6	5	2	8	4	-	-	4
18:00	19:00	10	1	-	-	-	2	2	-	2	1	-	-	2
<b>Média 3 dias, 14h</b>		<b>464</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>132</b>	<b>74</b>	<b>21</b>	<b>101</b>	<b>57</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>43</b>



## Apêndice 2

**Imagem retirada do Google Maps do cruzamento onde acontece o congestionamento**



Captura da imagem: ago 2015 © 2017 Google

### Apêndice 3

Distribuições para cada veículo nos pontos 3.1, 4.1, 4.2, 5.3 e 5.4 (não há passagem de ônibus de 2 e 3 eixos nesses pontos).

	Ponto 3		Ponto 4	
	3.1	4.1	4.2	
<b>Auto</b>	$0.41 + 5.51 * \text{BETA}(1.28, 1.43)$	$1.18 + \text{LOGN}(0.625, 0.458)$	$1 + 2.36 * \text{BETA}(1.37, 1.38)$	
<b>Ônibus 2 Eixos</b>	$1 + \text{LOGN}(3.73, 4.08)$			
<b>Caminhões 2 eixos</b>	$1.5 + 32 * \text{BETA}(1.11, 0.963)$	$6 + \text{EXPO}(8.9)$	$3 + \text{GAMM}(2.78, 1.32)$	
<b>Caminhões 3 eixos</b>	$\text{NORM}(4.12, 1.56)$	$14.5 + 46 * \text{BETA}(0.178, 0.126)$	$7 + \text{GAMM}(13.9, 0.955)$	
<b>Caminhões 4 eixos</b>	$\text{NORM}(2.53, 0.996)$	$\text{TRIA}(8, 54.8, 60)$	$11.5 + 49 * \text{BETA}(0.177, 0.264)$	
<b>Caminhões 5 eixos</b>	$9.5 + 21 * \text{BETA}(0.274, 0.239)$	$\text{UNIF}(6, 60)$		
<b>Caminhões 6 eixos</b>	$\text{TRIA}(30, 52.5, 210)$	$\text{TRIA}(30, 75, 180)$	$20 + \text{EXPO}(55.5)$	
<b>Caminhões 7 eixos</b>				
<b>Caminhões 9 eixos</b>				
<b>Motos</b>	$\text{NORM}(4.84, 1.59)$	$4 + \text{WEIB}(11.8, 0.662)$	$3 + \text{EXPO}(2.05)$	

	Ponto 5	
	5.3	5.4
<b>Auto</b>	$0.29 + 0.64 * \text{BETA}(1.29, 1.8)$	$11.5 + 49 * \text{BETA}(0.368, 0.557)$
<b>Ônibus 2 Eixos</b>	$59.5 + 61 * \text{BETA}(0.223, 0.249)$	
<b>Caminhões 2 eixos</b>	$1.53 + \text{GAMM}(0.215, 3.42)$	$3 + \text{EXPO}(6.2)$
<b>Caminhões 3 eixos</b>	$1 + 1.77 * \text{BETA}(1.04, 1.42)$	$6 + \text{GAMM}(5.14, 1.47)$
<b>Caminhões 4 eixos</b>	$14.5 + 46 * \text{BETA}(0.0913, 0.129)$	$19.5 + 41 * \text{BETA}(0.29, 0.214)$
<b>Caminhões 5 eixos</b>	$0.17 + 4.49 * \text{BETA}(0.454, 0.91)$	$3 + \text{GAMM}(7.58, 1.21)$
<b>Caminhões 6 eixos</b>	$0.31 + \text{EXPO}(0.979)$	$9.5 + \text{EXPO}(8.79)$
<b>Caminhões 7 eixos</b>	$0.39 + \text{EXPO}(1.01)$	
<b>Caminhões 9 eixos</b>	$4 + \text{LOGN}(2.96, 2.1)$	
<b>Motos</b>	$\text{NORM}(1.95, 0.532)$	$11.5 + 49 * \text{BETA}(0.43, 0.714)$