

abnt-nbr10520=2002

---

Eduardo Lainetti e Silva

*Requisitos e arquitetura para simulação de portos*

---

Joinville  
2012

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**Eduardo Lainetti e Silva**

**REQUISITOS E ARQUITETURA PARA SIMULAÇÃO DE  
PORTOS**

Trabalho de conclusão de curso submetido à Universidade do Estado de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação

**Gian Ricardo Berkenbrock**  
**Orientador**

Joinville, Novembro de 2012

# REQUISITOS E ARQUITETURA PARA SIMULAÇÃO DE PORTOS

Eduardo Lainetti e Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência da Computação Integral do CCT/UDESC.

Banca Examinadora

---

Gian Ricardo Berkenbrock - Doutor (orientador)

---

Charles Christian Miers - Mestre

---

Omir Correa Alves Junior - Doutor

---



## Resumo

A simulação discreta computadorizada é uma técnica que tem sido cada vez mais explorada, a fim de prever o funcionamento de algo real, principalmente em áreas onde o custo envolvido é alto nas quais uma paralização pode trazer grandes prejuízos, por meio de um computador. Esta técnica normalmente é utilizada em sistemas complexos, em que o comportamento final depende de diversas variáveis. Devido ao grande número de portos no Brasil e pela baixa oferta de sistemas de simulação com foco específico para este fim, buscam-se a análise dos requisitos para a simulação de portos e arquitetura para o desenvolvimento de um software nesta área.

Palavras-chaves: simulação discreta, análise de requisitos, diagrama de atividades

## Lista de Figuras

2.1	Funcionamento Portuário . . . . .	13
2.2	Chegada de caminhões . . . . .	14
2.3	Descarregamento de caminhões . . . . .	15
2.4	Carregamento de caminhões . . . . .	16
2.5	Chegada de Navios . . . . .	17
2.6	Carga de Navios . . . . .	18
2.7	Descarga de Navios . . . . .	19
2.8	Saída de Navios . . . . .	20
3.1	Diagrama de Caso de Uso . . . . .	29
3.2	Diagrama de Atividades de Navio . . . . .	34
3.3	Diagrama de Atividades Caminhão Pátio . . . . .	36
3.4	Diagrama de Atividades Caminhão Externo . . . . .	38
3.5	Diagrama de Atividades Rota . . . . .	39
3.6	Diagrama de Atividades Portainer . . . . .	41
3.7	Diagrama de Atividades Transtainer . . . . .	43
3.8	Diagrama de Atividades Berço . . . . .	44
3.9	Diagrama de Atividades Estação de Armazenamento . . . . .	45
3.10	Diagrama de Atividades Fila . . . . .	47
3.11	Modelo Arquitetural . . . . .	49
3.12	Diagrama de Classes de Transportes . . . . .	51
3.13	Diagrama de Classes de Movimentadores de Carga . . . . .	52
3.14	Diagrama de Classes de Filas . . . . .	53

3.15	Diagrama de Classes de Rotas . . . . .	53
3.16	Diagrama de Classes de Berço . . . . .	54
3.17	Diagrama de Classes de Estações de Armazenamento de Cargas . . . . .	54
3.18	Diagrama de Classes . . . . .	55
4.1	Cronograma . . . . .	56



## Lista de Abreviaturas

**ANTAQ** *Agencia Nacional de Transportes Acuaviáticos*

## Lista de Tabelas

1.1	Evolução na movimentação de cargas nos portos brasileiros. Adaptado de (ANTAQ, 2012) . . . . .	9
-----	---	---

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>3</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>5</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>6</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 Justificativa . . . . .	9
1.2 Objetivos . . . . .	11
1.2.1 Objetivo Geral . . . . .	11
1.2.2 Objetivos Específicos . . . . .	11
1.3 Metodologia . . . . .	12
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>13</b>
2.1 Logística Portuária . . . . .	13
2.1.1 Movimentação de Containers . . . . .	13
2.1.2 Movimentação de granéis sólidos . . . . .	18
2.1.3 Movimentação de granéis líquidos . . . . .	21
2.2 Modelagem e Simulação Discreta . . . . .	22
2.2.1 Definições . . . . .	23
<b>3 Proposta de Arquitetura para Simulador de Portos</b>	<b>26</b>
3.1 Requisitos . . . . .	26
3.1.1 Movimentação de navios . . . . .	26
3.1.2 Movimentação de caminhões externos . . . . .	27

3.1.3	Movimentação de containers . . . . .	27
3.1.4	Demonstração de resultados . . . . .	28
3.1.5	Geral . . . . .	28
3.2	Casos de Uso . . . . .	29
3.2.1	Diagrama . . . . .	29
3.3	Comportamento . . . . .	32
3.3.1	Navio . . . . .	32
3.3.2	Caminhões de pátio . . . . .	34
3.3.3	Caminhões externos . . . . .	37
3.3.4	Rotas . . . . .	39
3.3.5	Portainers . . . . .	40
3.3.6	Transtainers . . . . .	42
3.3.7	Berços . . . . .	43
3.3.8	Estações de Armazenamento de Carga . . . . .	45
3.3.9	Filas . . . . .	46
3.4	Arquitetura . . . . .	48
3.4.1	Modelo de Arquitetura . . . . .	48
3.5	Classes . . . . .	50
3.5.1	Diagramas de Classe . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>56</b>
	<b>Referências</b>	<b>58</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Justificativa

O escoamento de cargas, principalmente aquelas que se destinam à exportação e importação de grãos, minérios e combustíveis, é realizado em grande escala e em sua maioria por meio dos portos. O transporte de cargas por meio de navios tem crescido ano após ano, com exceção do ano de 2009, devido à crise financeira mundial, segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2012). Por esta razão a infraestrutura portuária tem que se adequar aumentando sua capacidade de armazenagem de contêineres, e preparando sua infraestrutura para melhor receber os meios de transporte envolvidos. Estes transportes podem ser feitos via modal rodoviário (caminhões), modal aquaviário (navios e barcas) e modal ferroviário (trens), dependendo de suas limitações.

Segundo a ANTAQ(2011), no anuário estatístico aquaviário, desde 1999 a movimentação total de cargas tem crescido nos portos, tendo somente uma queda no ano de 2009. Em 2008 a movimentação foi de 768.323.550 toneladas. No ano de 2009 ocorreu uma grande crise financeira provocando uma queda de 5% na movimentação. Em 2010 a movimentação teve um crescimento de 13% em relação ao ano de 2009 e em 2011 o crescimento foi de 6% em relação ao ano anterior, conforme apresentado na tabela 1.1.

Ano	Granel Sólido(t)	Granel Líquido(t)	Carga Geral(t)	Total
2005	392.903.932	163.717.494	92.797.355	649.418.781
2006	415.727.739	175.541.324	101.564.405	692.833.468
2007	457.435.373	194.598.576	102.682.706	754.716.655
2008	460.184.343	195.637.355	112.501.852	768.323.550
2009	432.985.386	197.934.640	102.011.115	732.931.141
2010	504.765.400	210.371.070	118.799.264	833.935.734
2011	543.108.089	212.302.167	130.645.022	886.055.278

Tabela 1.1: Evolução na movimentação de cargas nos portos brasileiros. Adaptado de (ANTAQ, 2012)

O fluxo de cargas no Brasil tem aumentado de maneira significativa. Tal crescimento traz problemas logísticos, pois os portos não têm um plano de expansão de infraestrutura que acompanhe tal crescimento. O Brasil ficou na posição 130 de 142 países avaliados, em termos de infraestrutura portuária no ranking do Global Competitiveness Index 2011-2012, adquirindo nota 2.7 pontos de 7 possíveis, segundo (SCHWAB, 2012).

Os sistemas portuários são complexos pois necessitam prover infraestrutura logística que suporte navios com diferentes dimensões, múltiplos berços e diferentes veículos de carga/descarga (DEMIRCI, 2003).

Uma forma de dimensionar a infraestrutura logística portuária consiste na utilização da simulação.

As previsões envolvidas para a adequação dos portos para suportar tais crescimentos dependem de um longo estudo. Este trabalho tem objetivo de pesquisar e analisar dados estatísticos para compreender o funcionamento de todas as variáveis envolvidas na movimentação de um porto. Através da simulação torna-se possível compreender o sistema como um todo e descobrir onde estão os principais gargalos e falhas de um porto.

Quando se visa alcançar maior capacidade de armazenamento ou do fluxo de transportadores é necessário compreender como é o funcionamento do porto no mundo real e levantar os dados necessários para realizar as alterações e então permitir um fluxo de cargas superior ao anterior. As alterações em um porto envolvem grandes valores financeiros, além de necessitar a paralização parcial ou até total do porto em questão (PARK; NOH, 1987). Para que se possa realizar qualquer obra, o porto tem de paralisar parcialmente ou até totalmente suas operações e ainda existem chances de ocorrerem falhas, por esta razão uma alternativa para evitar tempo e dinheiro desperdiçados, procurando minimizar o tempo gasto nestas paralizações e evitando falhas posteriores, o desenvolvimento de um modelo de simulação se faz necessário.

A simulação consiste em utilizar técnicas matemáticas a fim de gerar um modelo computacional para imitar o funcionamento de uma atividade a se criar ou existente no mundo real. Esta prática permite analisar, após toda a modelagem, problemas de casualidade, e assim permitir que o usuário entenda qual o resultado no seu sistema a partir de tais alterações.

A simulação demonstra dados estatísticos baseados no modelo gerado por um analista, a fim de saber quais seriam as falhas em um sistema antes mesmo de ele funcionar.

Além disso, a simulação também possibilita criar/alterar cenários (manipulando variáveis) de tal forma a obter-se resultados diferentes, e assim saber a viabilidade econômica do projeto envolvido. Por essa razão, a simulação é mais utilizada em sistemas onde o resultado final depende do comportamento de diversas variáveis, e que com a geração do modelo de simulação se possa alcançar essa representação.

Atualmente, existem diversos simuladores que permitem a modelagem em sistemas de diversos tipos, sem uma especialização, porém os mais comuns são voltados para atender simulações ligadas à produção industrial. Existem alguns simuladores com propósito de simular sistemas de logística, como por exemplo, o Flexsim Port produzido pela Flexsim, uma empresa que produz softwares de simulação de propósito geral e criou uma biblioteca com intuito de simular exclusivamente terminais de containers segundo (NORDGREN, 2003). Outro software de simulação com foco específico em logística é o TIMESquare da TBA.

Este estudo visa iniciar a implementação de uma ferramenta para facilitar e permitir, através da análise de dados gerados por ela, que os portos alcancem fluxo de cargas melhor e que, caso seja necessária alguma alteração na organização portuária, se possa tirar conclusões de seus benefícios antes de realizá-la, evitando assim desperdícios financeiros e de tempo.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor e especificar os requisitos e arquitetura necessários para o desenvolvimento de um software que permita a um usuário modelar/simular um porto para o desenvolvimento de um software que permita a simulação de um porto.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Compreender o funcionamento portuário.
- Analisar os requisitos necessários para que se possa modelar e simular um porto.

- Definir arquitetura de software que suporte a aplicação.
- Implementar e testar arquitetura para validação do sistema.

## 1.3 Metodologia

O trabalho tem como foco a pesquisa exploratória, através de levantamento bibliográfico sobre portos e terminais de carga, em busca de informações necessárias para a compreensão destes sistemas. Posteriormente serão levantados os requisitos, modelados diagramas de casos de uso, comportamento, classes e arquitetura.

Após a conclusão destas etapas será realizada a implementação da camada de simulador de portos do sistema, utilizando um arquivo para fornecer os dados simulando a interface do usuário e uma engine de simulação e serão realizados testes para validar o estudo realizado.

O trabalho será realizado seguindo as etapas:

1. Compreensão de portos.
2. Compreensão de simulação.
3. Análise de requisitos para o desenvolvimento de um simulador de porto.
4. Arquitetura de software para o simulador.
5. Especificação de diagramas de casos de uso, atividades e classe do sistema.
6. Escrita da parte conceitual da monografia (TCC1).
7. Implementação do simulador de portos.
8. Testes.
9. Escrita da monografia completa (TCC2).



## 2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados conceitos de logística portuária, modelagem discreta e simulação, definindo alguns aspectos importantes para a modelagem e simulação específica de portos e terminais intermodais.

### 2.1 Logística Portuária

Neste trabalho as operações portuárias serão tratadas em duas visões, sendo operações de pátio e operações do cais.

A seguir serão apresentados as operações de movimentação de containers que são utilizados para o transporte de diferentes tipos de cargas, como vestuário, automóveis, alimentos e muitos outros, posteriormente serão apresentadas as operações de granéis sólidos que são em sua maioria grãos e minérios e por fim operações de granéis líquidos que são em geral derivados do petróleo.

#### 2.1.1 Movimentação de Containers

O transporte de mercadorias por meio de containers tem crescido de maneira significativa. Segundo a (ANTAQ, 2010), em 2010 a movimentação de cargas por meio de containers nos portos brasileiros chegou a 22,09% de toda a carga movimentada nos portos.

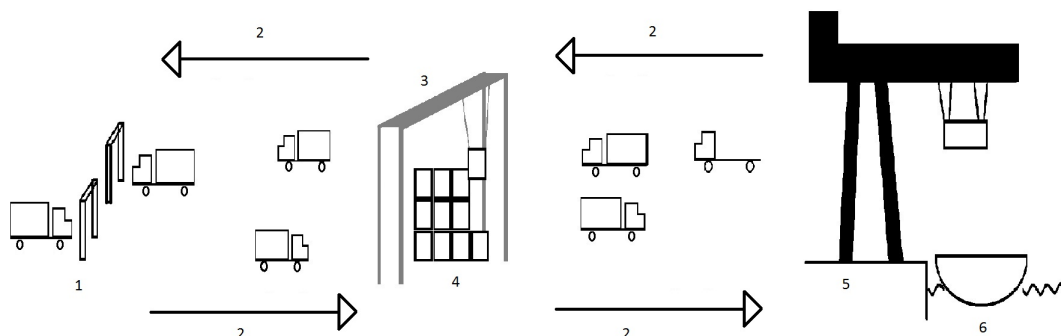


Figura 2.1: Funcionamento Portuário

## Operações do pátio

Os caminhões externos chegam ao porto por meio do acesso de entrada e devem entrar em uma fila e aguardar por sua vez, conforme demonstrado pelo índice 1 na figura 2.1 (BRITO, 2009). Os fatores que determinam se o primeiro caminhão da fila pode ou não entrar no porto caso ele tenha por objetivo descarregar um container, são o número do limite total de cargas do porto, o número do limite de cargas da estação de armazenamento para a qual aquele caminhão está direcionado e a disponibilidade da rota do portão até a estação de armazenamento desejada. Caso o objetivo seja carregar um container, o fator determinante é apenas o último mencionado. As rotas são demonstradas por setas com o índice 2 na figura 2.1.

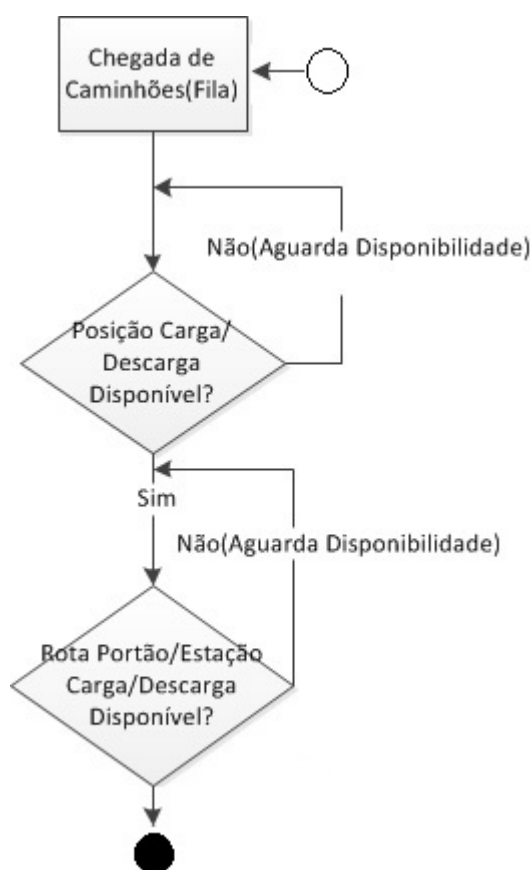


Figura 2.2: Chegada de caminhões

Após a entrada do caminhão no porto, ele deve seguir pela rota correta até a estação de armazenamento onde aguardará pela disponibilidade de uma das posições de carga ou descarga, conforme o fluxograma da figura 2.2. Com a disponibilidade da posição, o caminhão deve ocupá-la.

Uma vez dentro do terminal, é desempenhado o controle de carga represen-

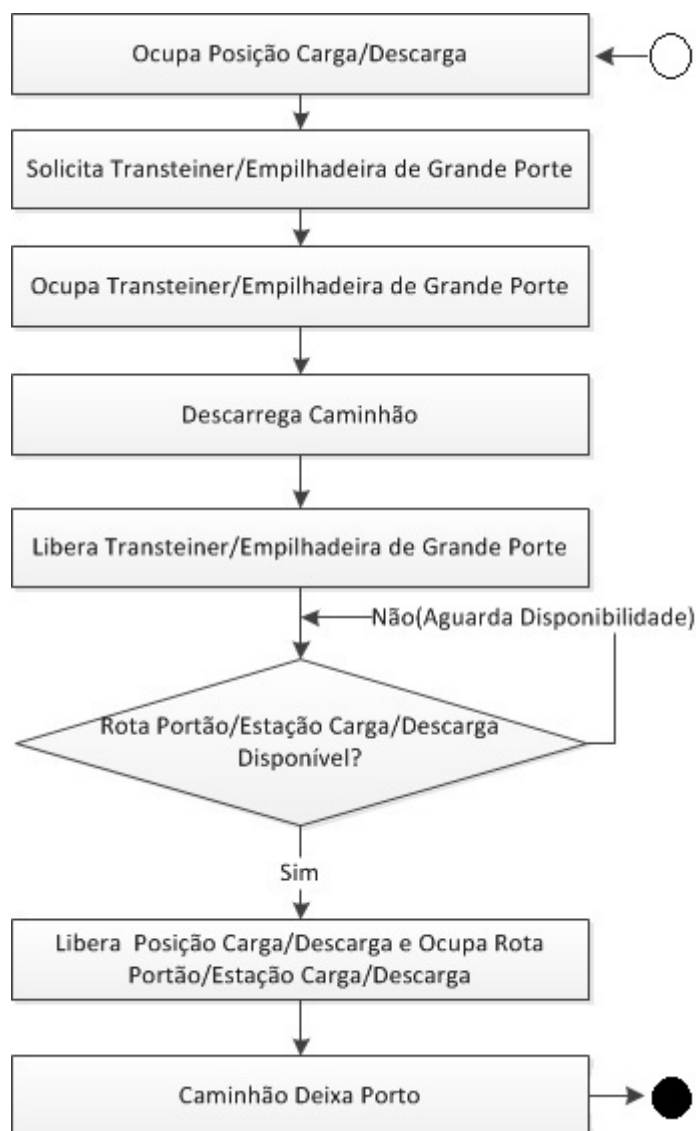


Figura 2.3: Descarregamento de caminhões

tado na figura 2.4 e/ou descarga dos caminhões representado pelo fluxograma da figura 2.3. Há caminhões que realizam apenas o descarregamento do contêiner, outros apenas o carregamento e outros ainda as duas opções. As operações de carga e descarga utilizam posições específicas para carga ou descarga. O dimensionamento de tais recursos atuam como gargalo operacional do terminal. Os processos de carga e/ou descarga dos caminhões dependem da disponibilidade de transportadores no pátio do terminal. Ou seja, no momento em que o recurso posição de carga ou descarga é ocupado, há a geração de um pedido pela disponibilização de um transportador para conclusão da operação. Uma vez realizadas as operações de carga/descarga, o caminhão deixa o terminal (BRITO, 2009).

Os containers ficam armazenados nas estações de armazenamento, que são pilhas de containers (item 4 na figura 2.1), até que o navio para o qual o mesmo está

designado esteja prestes a receber a carga. Quando isto ocorre os caminhões de movimentação no pátio são solicitados na estação de armazenamento desejada e assim que estiverem disponíveis em uma das posições de carga ou posição de descarga, recebem o container por meio de um transteiner representado pelo item 3 da figura 2.1, ou empilhadeira de grande porte. Após este procedimento o motorista do caminhão carregado deve aguardar pela rota da estação de armazenamento até o berço onde o navio desejado está atracado, e então ocupá-la e seguir até uma das posições de carga ou descarga do berço.

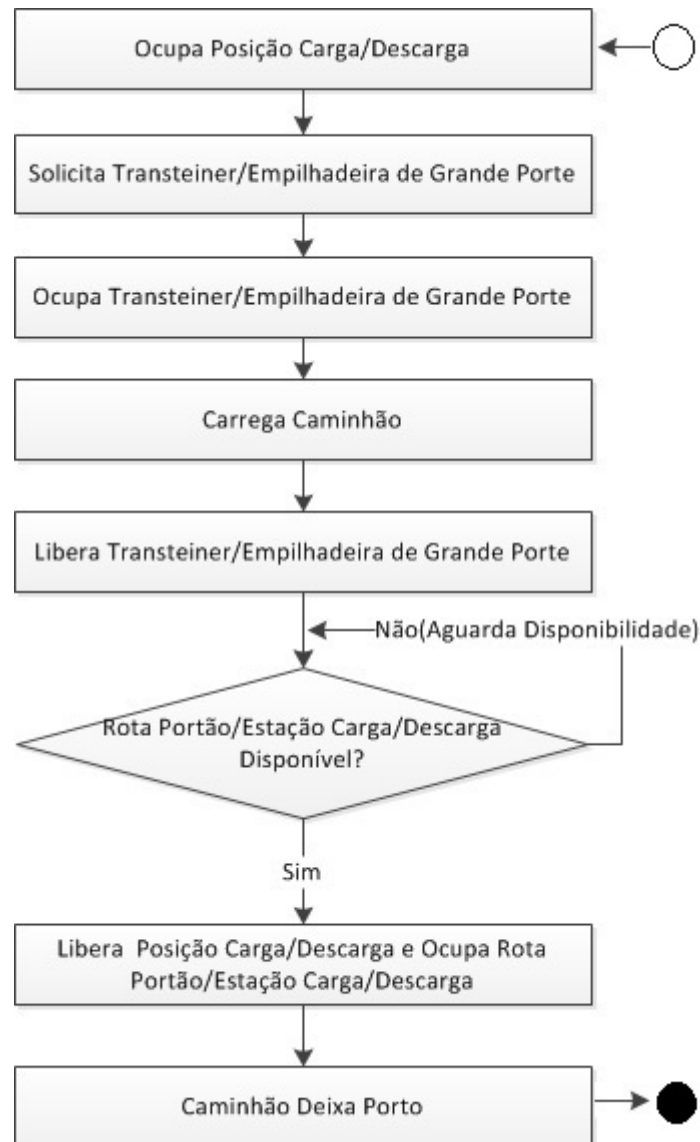


Figura 2.4: Carregamento de caminhões

Quando o caminhão do pátio ocupar a posição, ele deve aguardar a disponibilidade de um portainer (item 5 da figura 2.1), que será responsável pela movimentação da carga do caminhão de pátio para o navio e vice-versa. Após a retirada do container do caminhão pelo portainer, se o caminhão não for responsável por transportar algum

container do berço para a estação ele deve aguardar pela rota até a estação onde deve carregar seu próximo container e seguir ao seu destino. Caso contrário, ele deve aguardar o portainer realizar sua carga para então seguir para a estação onde deve ser descarregado.

### Operações do cais

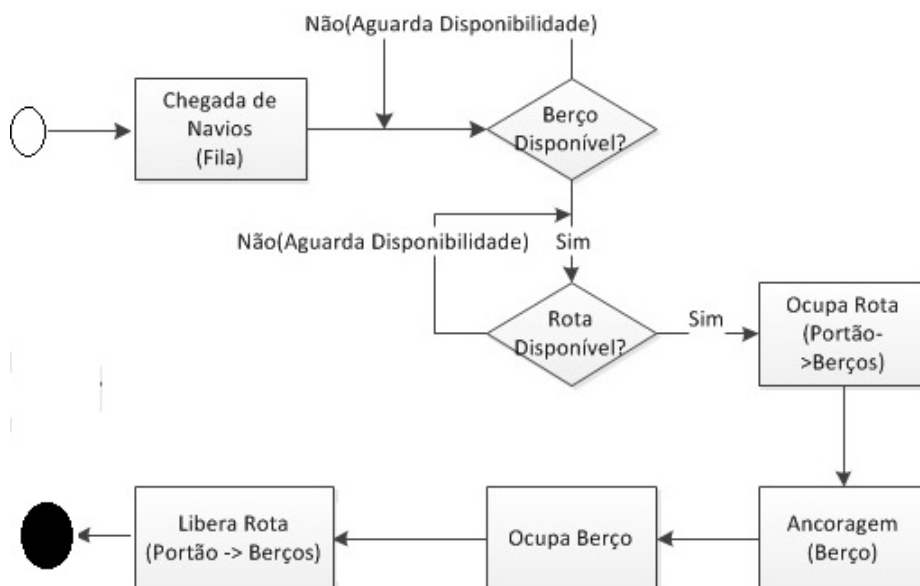


Figura 2.5: Chegada de Navios

A operação se inicia com a chegada de navios na entrada do porto. Dependendo do estado de congestionamento, o navio deve ou não aguardar na área de ancoragem (DEMIRCI, 2003).

A espera na área de ancoragem pode ser causada por escassez de berços ou práticos. Se um canal (rota) unidirecional está ocupado, um navio não pode utilizá-lo. Espaço insuficiente nos terminais de carga do cais também podem atrasar o processo de descarga (PARK; NOH, 1987). Após a autorização para atracar, o navio ocupa a rota até a chegada ao berço ao qual foi direcionado e realiza a atracação (item 6 da figura 2.1), liberando a rota e o práctico. O processo está representado pelo fluxograma da figura 2.5.

Assim que o navio atraca no berço, o navio comunica dois atributos. São eles, o número de operações de carga e o número de operações de descarga a serem realizados. Primeiro, os guindastes disponíveis iniciam as operações de descarga e, somente após a última operação de descarga, eles iniciam as operações de carga (PAROLA; SCIOMACHEN, 2005).

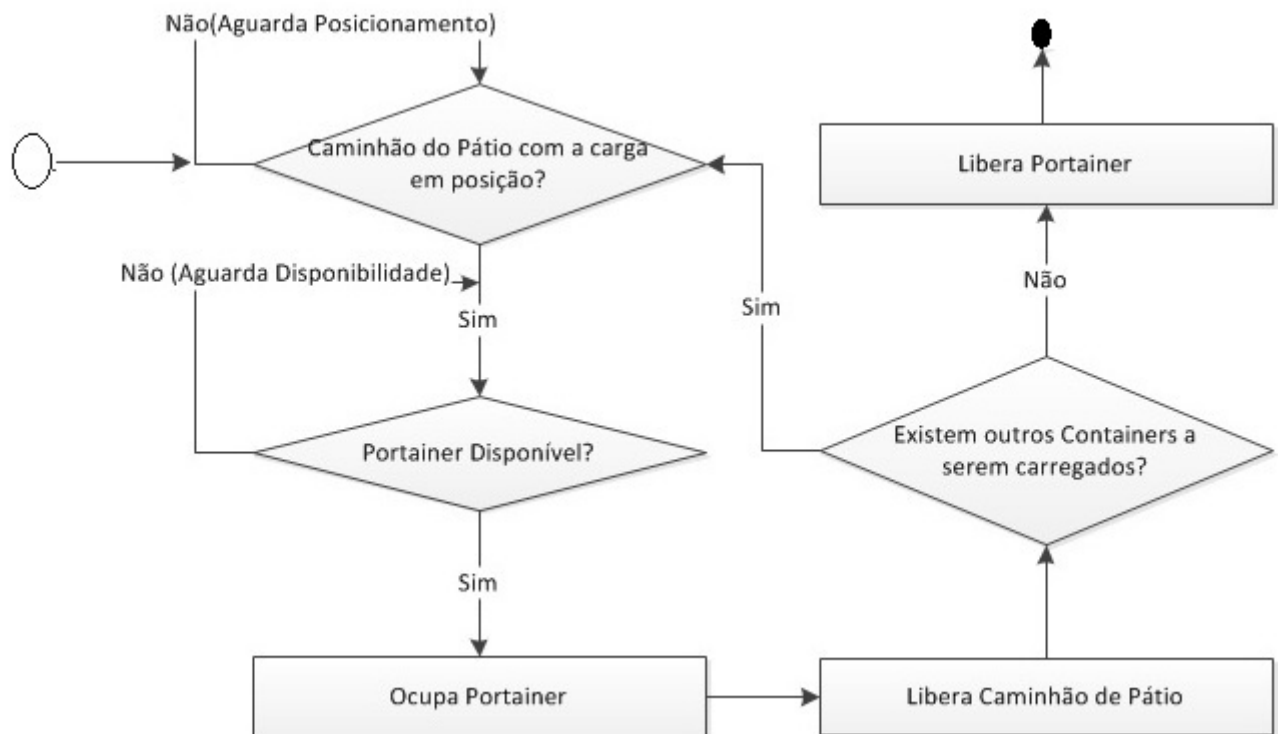


Figura 2.6: Carga de Navios

Para realização do procedimento de descarga o navio deve aguardar pela disponibilidade de portainer(s). A operação de descarga do navio consiste na retirada de um container do navio, a espera por um caminhão de pátio e a carga do container no caminhão. Esta operação é realizada enquanto houverem containers a serem retirados do navio, conforme figura 2.7. A operação de carga do navio consiste no processo oposto, ou seja, o portainer aguarda que um caminhão de pátio chegue até uma posição de carga do berço e retira o container do caminhão, sendo ele liberado para sua próxima operação, e posiciona o container no navio, demonstrado na figura 2.6.

Após todas as operações de carga e descarga do navio serem realizadas, o navio deve aguardar pela disponibilidade da rota para o canal de saída do porto e pelo práctico e então ocupá-los e deixar o porto (BRITO, 2009). O processo de saída de navios do porto está demonstrado no fluxograma da figura 2.8.

### 2.1.2 Movimentação de granéis sólidos

Segundo a (ANTAQ, 2010), os granéis sólidos representam a maior movimentação de cargas nos portos brasileiros. Entre os granéis sólidos que mais foram movimentados no ano de 2010 estão minério de ferro, soja, bauxita, fertilizantes, adubos e carvão mineral, além do

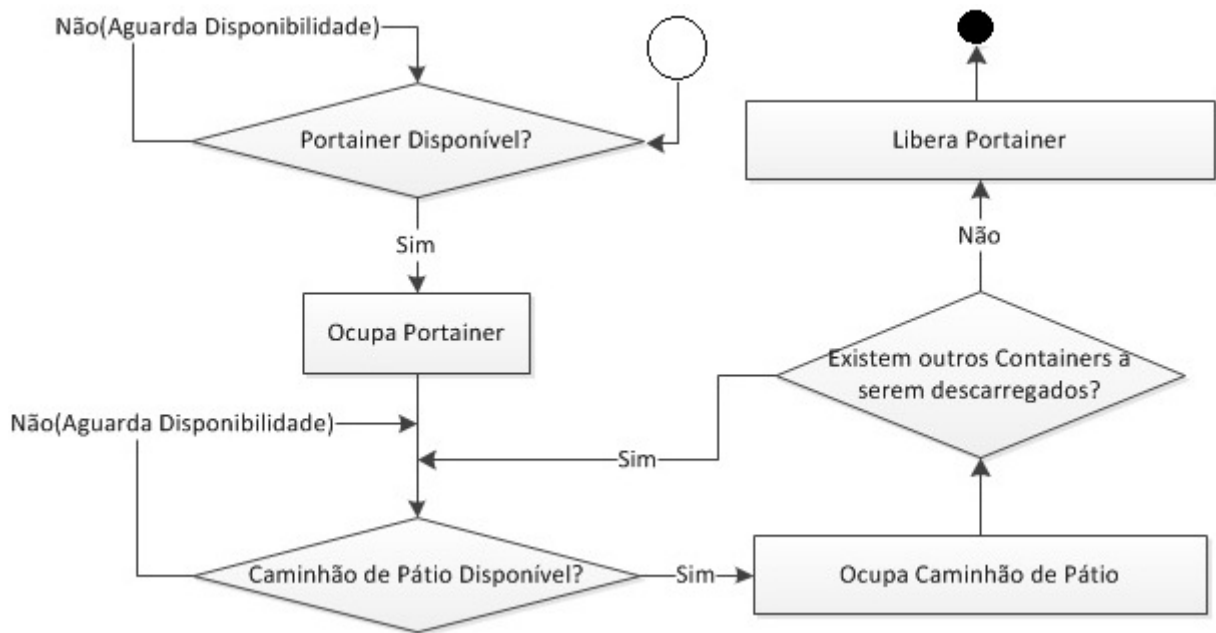


Figura 2.7: Descarga de Navios

açúcar e soja.

### Operações do pátio

O processo de entrada de caminhões é igual à movimentação de cargas por containers. Deve ser possível que caminhões aguardem em filas até que seja possível o posicionamento para carga e descarga.

Para cargas de grânéis sólidos existem dois modos para descarregar um caminhão (ANDRADE, 2002). O primeiro consiste no posicionamento do caminhão em uma plataforma que é inclinada de modo a permitir o escoamento da carga do caminhão, permitindo assim que a carga caia em uma moega (local onde são despejadas as cargas) subterrânea e por meio de esteiras, a carga é levada até um silo de armazenamento ou diretamente ao navio. O segundo modo de descarga consiste no posicionamento do caminhão sobre uma grelha de moega. Então são abertas as bicas dos caminhões que permitem o escoamento da carga, caindo sobre esteiras que levam até os silos ou navios.

Para o carregamento dos caminhões o processo passa pelo sentido contrário da carga, ou seja, o caminhão deve se posicionar abaixo de moegas (pulmões de expedição) e então a carga segue dos silos ou do navio por meio de esteiras até as moegas que despejam a carga nas carretas (ANDRADE, 2002).

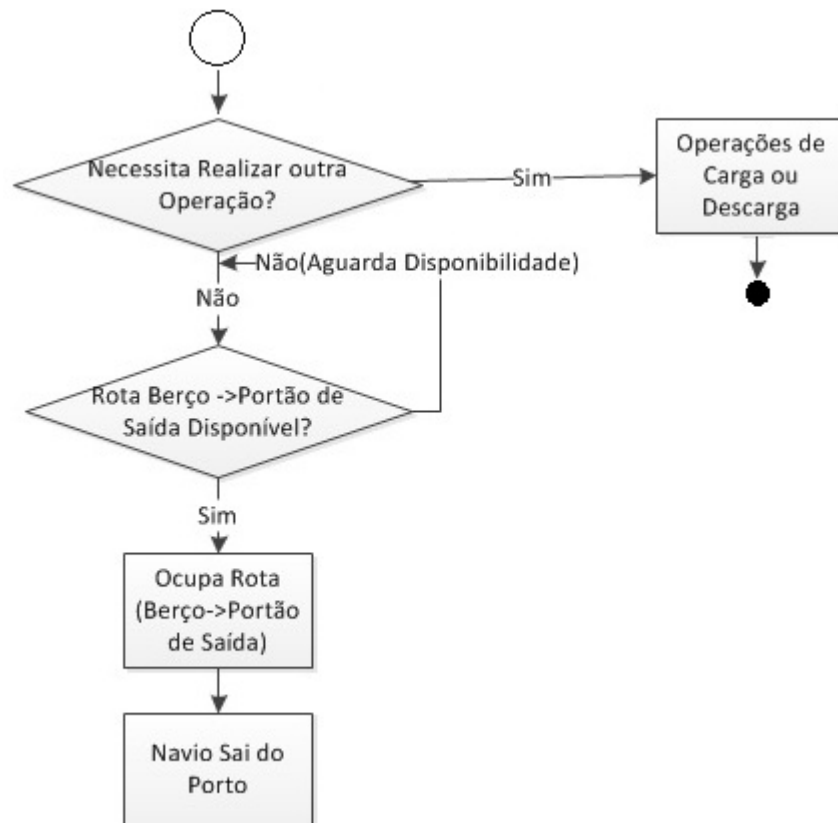


Figura 2.8: Saída de Navios

Os silos de armazenamento podem ter diversas variações, como material utilizado para construção, mecanismos de processamento da carga, como secagem, elevadores que permitem que a carga passe de um processo a outro, entre outras variações.

### Operações do cais

A entrada dos navios no porto é a mesma que para containers, ou seja, deve aguardar pela disponibilidade dos recursos rota, práctico e berço e então seguir para a atracação (seção 2.1.1, no fluxograma da figura 2.5), porém o processo de carregamento e descarregamento é realizado de forma diferente. No caso de grãos sólidos, o carregamento dos navios se passa por meio de equipamentos formados por uma ou mais trompas que ficam sobre o navio e esteiras que ligam os silos ou até mesmo os modais que trazem a carga à trompa. De modo geral, os silos têm aberturas na parte inferior que são usadas para despejar a carga sobre uma esteira que leva os grãos até a trompa que direciona a carga ao porão do navio.

O processo de descarga de um navio, no caso de grãos sólidos pode se passar



por meio de diferentes equipamentos. Os guindastes ou pórticos que permitem que o operador movimente o equipamento até o porão do navio e pegue a carga através de caçambas. Este equipamento permite o manuseio de todo tipo de carga, porém o processo é demorado (ANDRADE, 2002). Os equipamentos mecânicos contínuos têm capacidade maior que a dos guindastes (ANDRADE, 2002). Estes equipamentos consistem de roscas e caçambas para a retirada da carga dos navios, porém existem limitações quanto ao alcance e podem danificar os granéis. Além dos equipamentos acima mencionados existem equipamentos pneumáticos, que utilizam sucção para a retirada dos granéis do navio, porém tem alto custo.

### 2.1.3 Movimentação de granéis líquidos

Segundo a (ANTAQ, 2010), entre os granéis líquidos que mais foram movimentados no Brasil estão os combustíveis, lubrificantes e outros derivados de petróleo.

#### Operações do pátio

Passando pelo mesmo processo de entrada até as estações de armazenamento descrito na seção 2.1.1, os caminhões carregados chegam ao porto e utilizam mangueiras ou dutos metálicos para realização do descarregamento nos tanques de granéis líquidos. O processo de carga dos caminhões é realizado também através de mangueiras ou dutos, ligados de um tanque ou do navio ao caminhão. A instalação de estocagem típica em terminais para granéis líquidos consiste numa série de tanques cilíndricos de aço, seja com coberturas que flutuam no líquido do tanque, ou coberturas cônicas, visando evitar a contaminação pela chuva e prevenir a evaporação. O conjunto de tanques de estocagem pode ser concebido para vários líquidos diferentes (um de cada vez) ou dedicados a um produto apenas (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

#### Operações do cais

A chegada dos navios é feita conforme descrito na seção 2.1.1, porém os terminais que recebem granéis líquidos têm equipamentos específicos para manipulação dessas cargas. Algumas cargas líquidas são inflamáveis, por essa razão os terminais que realizam a movimentação deste tipo de carga devem ser preparados para suportar tais restrições e aci-

dentes, além de serem afastados dos demais pelo risco de contaminação. Os equipamentos utilizados na movimentação deste tipo de carga são braço de movimentação e mangotes. O braço de movimentação de carga consiste em tubos metálicos rígidos conectados por juntas giratórias. Os mangotes são compostos de borracha e arame de aço (ALFREDINI; ARASAKI, 2009). Estes equipamentos devem ser flexíveis, pois devem permitir a absorção das movimentações das embarcações devido ao movimento das águas.

Tanto os navios como os terminais que movimentam cargas líquidas possuem dispositivos que realizam o bombeamento do líquido pelo duto.

## 2.2 Modelagem e Simulação Discreta

A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente simulação, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real (FILHO, 1995).

Simulação nada mais é do que a tentativa de imitar o comportamento de algo ou alguma coisa. Pode-se definir simulação como uma vasta coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento de um sistema do mundo real (BRITO, 2009).

Para o desenvolvimento de um modelo de simulação é necessário se conhecer muito bem o sistema a ser modelado. Com a utilização de técnicas estatísticas se consegue prever o funcionamento do mesmo após alguma ação, seja ela possível ou não. Estas previsões, que são facilmente adquiridas através da simulação, só poderiam ser descobertas após a implantação das mudanças na prática. Além disso, a simulação permite o desenvolvimento de algo que não exista no mundo real, a fim de prever a viabilidade de um projeto.

A fim de alcançar o modelo ideal de simulação e a execução dela para que se obtenha os resultados, são necessários alguns passos, sendo um deles a confecção do modelo de simulação, que nada mais é que a imitação do sistema real em um computador. Para isso devem-se conhecer todas as partes que envolvem o sistema e quais as características, atividades e fluxos envolvidos em cada uma delas. Outro importante passo consiste na utilização dos dados históricos sobre o modelo já construído para se obter o funcionamento do sistema, e a partir disso realizar a execução da simulação e alterar o modelo para realizar

os testes desejados, e então se obter a previsão dos eventos que podem ocorrer. O último passo consiste na análise dos resultados e através da interpretação de um analista, decidir quais são as melhores decisões para o funcionamento do sistema.

### 2.2.1 Definições

Uma série de termos é usualmente empregada para conceituar os elementos básicos envolvidos na modelagem e na simulação de sistemas (FILHO, 1995). As variáveis de estado são um conjunto de informações que determinam o estado de um sistema. Através da análise dessas variáveis é possível saber o que está ocorrendo no sistema em partes ou no todo em um dado momento de tempo.

Um modelo de simulação caracteriza matematicamente um sistema, cujo estado pode ser descrito, em um determinado instante, por um conjunto de variáveis estocásticas e determinísticas, determinadas variáveis de estado (SILVA, 2006). Essas variáveis são alteradas por eventos, que são acontecimentos no sistema denominados eventos.

- Eventos: são acontecimentos, programados ou não, tais como a chegada de caminhões, o início do descarregamento de produtos, a saída de caminhões do sistema entre outros (SILVA, 2006).

- Entidades e atributos: as entidades são objetos do sistema e cada entidade é composta por uma série de atributos, que são características de cada uma delas.

Os eventos podem estar ligados às entidades e atributos de entidades. Como exemplo de entidade pode-se usar uma pessoa, tendo o nome como um de seus atributos.

Na simulação, um atributo bastante usado nas entidades que entram e saem do sistema é o tempo de permanência. Este atributo conta o tempo desde o momento da entrada da entidade no sistema até a saída, permitindo assim o cálculo do tempo médio de um tipo de entidade no sistema, além de se conhecer o tempo de permanência de um objeto específico no sistema.

- Recursos: São entidades utilizadas para fornecer serviços à outras entidades. Para a realização de tal serviço deve-se verificar se o recurso tem disponibilidade para atendê-lo. Se houver, a entidade ocupa este recurso por um determinado período, caso contrário a entidade aguarda em uma fila até que o recurso tenha disponibilidade para

atendê-la. Esta fila é chamada fila de recursos. Um recurso pode ter vários estados. Os mais comuns são: ocupado e livre. Outros podem ser definidos tais como: bloqueado, falhado, indisponível, etc (FILHO, 1995).

- Atividades: Em simulação diz-se que uma atividade corresponde a um período de tempo predeterminado. Logo, uma vez iniciada, seu final pode ser programado (FILHO, 1995).

- Período de Espera: Algumas atividades não podem ter seus tempos predeterminados, por algum fator, como por exemplo em uma fila onde prioridades influenciam na decisão de qual entidade utilizará um recurso uma entidade com baixa prioridade terá de esperar até que não haja nenhuma entidade com prioridade maior para entrar no sistema e caso chegue outra entidade com prioridade maior tomará a frente da entidade com menor prioridade. Este tempo que não pode ser predeterminado é chamado período de espera.

Em simulação utilizam-se dois conceitos de tempo, o tempo simulado e o tempo de simulação.

- Tempo Simulado: É o tempo necessário para realizar uma ação no sistema real.

- Tempo de Simulação: É o tempo necessário para realização da ação no modelo do sistema no simulador, ou seja, o tempo necessário para processar o evento pelo computador. No caso da simulação portuária o tempo de simulação é menor, já que as operações de um porto, no mundo real, são demoradas. Como exemplo pode-se citar a saída de um navio de um berço a fim de deixar o porto. No mundo real este evento utiliza no mínimo alguns minutos, enquanto na simulação leva frações de segundo.

A variação das variáveis de estado pode ser discreta ou contínua. Nos modelos discretos os valores das variáveis de estado permanecem estáticos até determinados instantes conhecidos como tempo de ocorrência de eventos. Já nos modelos contínuos as variáveis de estado podem variar continuamente com o passar do tempo. Neste trabalho será utilizado o conceito de modelo discreto.

O tempo é um fator importantíssimo em todo software de simulação, para isso utiliza-se mecanismos de avanço de tempo, visando realizar saltos no tempo simulado, que demonstra os resultados obtidos para o usuário. Para isso utiliza-se uma variável

denominada relógio de simulação. Esta variável é inicializada com valor zero, e os eventos têm seus tempos determinados gerando uma lista de eventos futuros (LEF), que determina quando será realizado o próximo evento, e então se altera o valor da variável de acordo com os acontecimentos programados, saltando tempos de ociosidade e atualizando a cada salto o estado do sistema e da LEF. Este processo se repete até que alguma condição de parada seja satisfeita.

## 3 Proposta de Arquitetura para Simulador de Portos

### 3.1 Requisitos

Neste capítulo serão apresentados os requisitos necessários para o simulador de portos, além de demonstrar a arquitetura de software, diagramas de caso de uso, diagramas de classe e diagramas de sequencia do software a ser desenvolvido.

#### 3.1.1 Movimentação de navios

- Permitir a criação de berços e a configuração de comprimento, profundidade e carga para a qual o berço está preparado (Container, granéis sólidos ou granéis líquidos).
- Permitir a criação de canais de acesso de entrada e saída de navios do porto.
- Permitir a criação de rotas do canal de acesso ao porto até os berços e configuração de quais pontos serão ligados por tal rota, determinando sua capacidade em número de navios ao mesmo tempo.
- Permitir a criação de rotas dos berços até o canal de saída do porto e configuração de quais pontos serão ligados por tal rota, determinando sua capacidade em número de navios ao mesmo tempo.
- Permitir a criação de navios e configuração por tipo de distribuição utilizado para a geração dos navios além de inserir dados com base em seu histórico de tempo, tipo de carga, berços que podem atender o navio, comprimento, profundidade submersa, a operação para o qual foi designado, sendo carga, descarga ou ambas, número de containers a serem descarregados e custo de espera.
- Permitir a determinação do critério de ordenação das filas dos berços, sendo possíveis ordem de chegada, custo, número de containers a descarregar e tamanho.

### 3.1.2 Movimentação de caminhões externos

- Permitir a criação de portões de entrada, que serão os geradores de caminhões, e saída de caminhões e a configuração com base em uma distribuição estatística para a chegada de caminhões e inserir dados com base em seu histórico de tempo de chegada, tipo de carga, estações que podem atender o caminhão, número de containers, a operação para o qual foi designado, sendo carga, descarga ou ambas e custo de espera. Deve-se determinar o tempo de permanência do caminhão na estação, representando os processos alfandegários e pesagem.

- Permitir a criação de rotas dos portões de acesso ao porto às diversas estações de carga descarga de caminhões e configurar as estações que serão ligadas pela rota, determinando sua capacidade em número de caminhões ao mesmo tempo.

- Permitir a criação de rotas das diversas estações de carga descarga de caminhões aos portões de saída do porto e configurar as estações que serão ligadas por tal rota, determinando sua capacidade em número de caminhões ao mesmo tempo.

### 3.1.3 Movimentação de containers

- Permitir a criação de portainers (guindastes do cais) e a configuração de distribuição estatística de taxa de operação (tempo de movimentação de um container) e posições até onde pode se movimentar, ou seja, quais os berços ele pode atender caso seja mais de um.

- Permitir a criação de transtainers (pórticos) e a configuração de distribuição estatística de taxa de operação (tempo de movimentação de um container) e posições até onde pode se movimentar, ou seja, quais posições de carga e descarga atende, caso seja mais de uma.

- Permitir a criação de empilhadeiras de grande porte (constackers/ reachstackers) e a configuração de distribuição estatística de taxa de operação (tempo de movimentação de um container) e posições até onde pode se movimentar, ou seja, quais estações de armazenamento e estações de carga e descarga atende, caso seja mais de uma.

- Permitir a criação de caminhões do pátio para movimentação de containers e a configuração de capacidade máxima, além de determinar as rotas que ele atenderá, sendo assim demonstrando quais as estações de armazenamento e berços que o mesmo

atenderá. A capacidade é definida em um ou dois container(s).

- Permitir a criação de estações de armazenamento de containers e a configuração da capacidade máxima de containers para a estação.

- Permitir criação de posições de carga e descarga de containers nas estações de armazenamento e atribuí-la a um berço ou estação de armazenamento.

### 3.1.4 Demonstração de resultados

- Permitir ao usuário determinar o tempo de simulação desejado. O usuário deve configurar o tempo do sistema real que deseja simular.

- Demonstrar resultados de tempo de permanência individual e médio de cada navio no sistema.

- Demonstrar resultados de tempo de permanência individual e médio de cada caminhão no sistema.

- Demonstrar resultados de ocupação de cada portainer no sistema.

- Demonstrar resultados de ocupação de cada transtainer no sistema.

- Demonstrar resultados de ocupação de cada empilhadeira de grande porte no sistema.

- Demonstrar resultados de ocupação de cada berço no sistema.

- Demonstrar resultados de quantos containers foram movimentados por berço.

- Demonstrar resultados de quantos containers foram movimentados por estação de armazenamento.

### 3.1.5 Geral

- O software deve possuir uma paleta de itens que o usuário deve arrastar para a tela. Para representar navios e caminhões externos o usuário deve arrastar um gerador de entidades que criará os transportadores de acordo com distribuições estatísticas definidas pelo usuário. Além destes dois a paleta deve conter caminhões de uso interno do porto (movimentações de pátio), estações bases ou garagens para os caminhões de pátio, portainers, transtainers, empilhadeiras de grande porte, rotas, berços e estações de armazenamento,



que são fixos no porto.

## 3.2 Casos de Uso

Neste capítulo será demonstrado o diagrama de casos de uso do sistema demonstrado pela figura 3.1 e suas especificações.

### 3.2.1 Diagrama

A seguir será apresentado o diagrama de casos de uso, e nas próximas seções serão descritos cada um dos casos apresentados no diagrama.

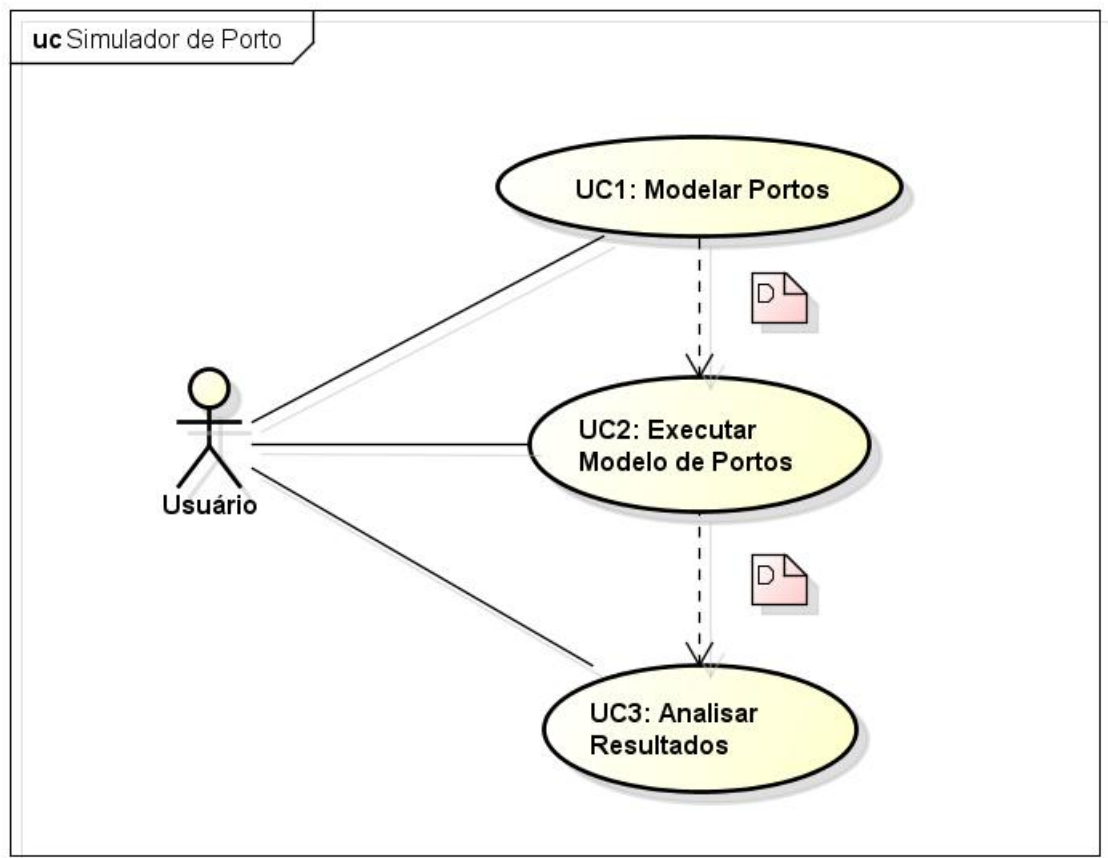


Figura 3.1: Diagrama de Caso de Uso

Como se pode observar no diagrama da figura 3.1, os casos de uso do sistema são, Modelar Portos, Executar Modelo de Portos e Analisar Resultados. Estes três tópicos serão descritos nas próximas seções.

**UC1: Modelar Portos**

Descrição:

-Este caso de uso deve permitir ao usuário a criação do modelo do porto.

Ator:

-Analista que definirá o modelo.

Pré-condição:

-Definição do objetivo da simulação, compreensão do porto que se deseja simular.

Pós-condição:

-Arquivo xml contendo os dados do modelo.

Fluxo:

P1 - Ator abre a interface gráfica e seleciona novo projeto.

P2 - Ator deve modelar o porto que deseja através de uma paleta de itens na interface gráfica do sistema, criando as entidades que serão estações de armazenamento, posições de carga e descarga nas estações de armazenamento, estação base para caminhões de pátio, caminhões de pátio, portainers, transtainers, empilhadeiras de grande porte, berços, posições de carga e descarga nos berços, esteiras de movimentação de cargas, dutos de movimentação de cargas, gerador de navios, gerador de caminhões externos e rotas.

P3 - Ator clica em executar modelo.

P4 - É exibida uma janela e o usuário deve informar tempo desejado de simulação.

P5 - Usuário deve clicar em "OK" para que seja executada a simulação.

Regra de negócio:

RN1 : O ator deve informar a capacidade e quantidade total de carga inicial em cada estação de armazenamento.

RN2: O ator deve informar a estação de armazenamento relacionada a cada transtainer.

RN3: O ator deve informar a estação de armazenamento relacionada a cada posição de carga e descarga de estações de armazenamento.

RN4: O ator deve informar o berço relacionado a cada posição de carga e descarga de berços.

RN5: Usuário deve informar a estação base, capacidade máxima, berços que atende, tipo de carga e estações de armazenamento para cada caminhão de pátio.

RN6: O ator deve informar os berços que cada portainer pode atender.

RN7: O ator deve informar as estações de armazenamento que cada empilhadeira de grande porte atenderá.

RN8: Usuário deve informar calado, comprimento, tipo de carga para cada berço criado.

RN9: Usuário deve informar vazão, berços e estações de carga dos dutos de movimentação de carga.

RN10: Usuário deve informar capacidade de movimentação, berços e estações de carga das esteiras de movimentação de carga.

RN11: Usuário deve informar os pontos que cada rota ligará, além do sentido que a rota permitirá tráfego, o tipo de transportador e a capacidade de movimentação simultânea de cada rota.

## **UC2: Executar modelo de Porto**

Descrição:

-Este caso de uso tem por objetivo a execução da simulação para permitir a demonstração dos resultados ao ator.

Pré-condição:

-Receber um xml gerado pelo ator na interface gráfica (UC1).

Pós-condição:

-Gerar uma tabela com os resultados da simulação.

Fluxo:

P1 - O sistema recebe um arquivo XML com os dados do modelo e gera as entidades do sistema.

P2 - O sistema utiliza blocos de uma engine de simulação para determinar o tempo de cada operação e realizar cálculos para determinar taxa de ocupação dos recursos, ou seja, portainers, transtainers, caminhões de pátio, empilhadeiras de grande porte e rotas.

P3 - O sistema monta uma tabela com os dados gerados.

**UC3: Analisar Resultados**

Descrição:

-Este caso de uso permite ao usuário a visualização dos resultados.

Pré-condição:

-Execução do modelo de simulação (UC2).

Pós-condição:

Resultados exibidos na tela.

Fluxo:

P1 - Receber tabela de dados de resultados gerados na simulação.

P2 - Demonstração dos resultados ao ator por meio de interface gráfica.

## **3.3 Comportamento**

### **3.3.1 Navio**

O navio chega ao porto e deve ter sua hora de chegada registrada para controle da simulação e passa por um processo de decisão para saber qual fila utilizar, e então aguarda na fila, por um berço para atendê-lo, por um práctico que guiará o navio até o berço e pela rota que permite que ele chegue ao berço. As filas podem atender a diversos tipos de ordenação, como por exemplo, custo ou simplesmente ordem de chegada.

O berço que irá atendê-lo deve suportar seu comprimento, calado e o tipo de carga que ele irá carregar ou descarregar. Caso o navio esteja carregando containers o berço deve possuir portainers para realizar a movimentação de cargas, caso a movimentação seja de graneis sólidos o berço deve possuir shiploaders e/ou equipamentos para descarga de graneis sólidos e caso a movimentação seja de graneis líquidos os berços devem estar preparados para realizar a carga/descarga dos navios através de dutos, e adicionalmente caso a carga tenha alguma restrição, por ser inflamável, por exemplo, o berço deve suportar.

Após a decisão do berço e havendo disponibilidade dos requisitos supracitados, deve-se seguir com o processo de atracação, que consiste na movimentação do navio até o

berço e a ancoragem em si. Neste momento deve-se registrar o momento, em formato de data, da atracação do navio para posteriormente se fazer o cálculo do tempo de uso do berço por tal navio.

Depois de atracado inicia-se o processo de descarregamento, carregamento ou ambos do navio, que será especificado abaixo de acordo com o tipo de carga, um aspecto importante no momento da carga e descarga é a capacidade total de carga do navio, que nunca deve ser ultrapassada e outro ponto que deve ser registrado para os métodos que simularão o processo de carga e descarga é a quantidade de carga a ser movimentada, podendo ser expressa em número de containers, Kg ou toneladas para granéis sólidos e litros ou Kl para granéis líquidos.

Completado o processo de carga, descarga ou ambos o navio deve deixar o berço, porém deve novamente checar a disponibilidade do práctico e da rota de saída do porto, que parte do berço em que está ancorado e se destina a um canal de saída. Quando os requisitos para saída estiverem disponíveis, deve-se registrar o momento de saída do navio do berço, para finalizar a contagem do tempo de serviço do navio no berço, para demonstrações de resultado ao usuário. Este resultado apresenta ao usuário o taxa de ocupação do berço e o tempo médio de serviço para um navio.

Outro resultado que será demonstrado é o tempo total do navio no sistema, para tanto se deve registrar o momento da saída do navio do porto, podendo-se então saber o tempo que o navio aguardou na fila de entrada, se movimentou pelo porto e fez as operações de movimentação de cargas.

### **Atributos**

Identificador, data e hora de chegada, data e hora de atracação, tempo de atendimento no berço, tempo total no sistema, data e hora de saída do berço, data e hora de saída do porto, comprimento, calado (profundidade submersa), tipo de carga, berços capazes de atender, capacidade total, quantidade de containers a movimentar, práctico, operação a realizar.

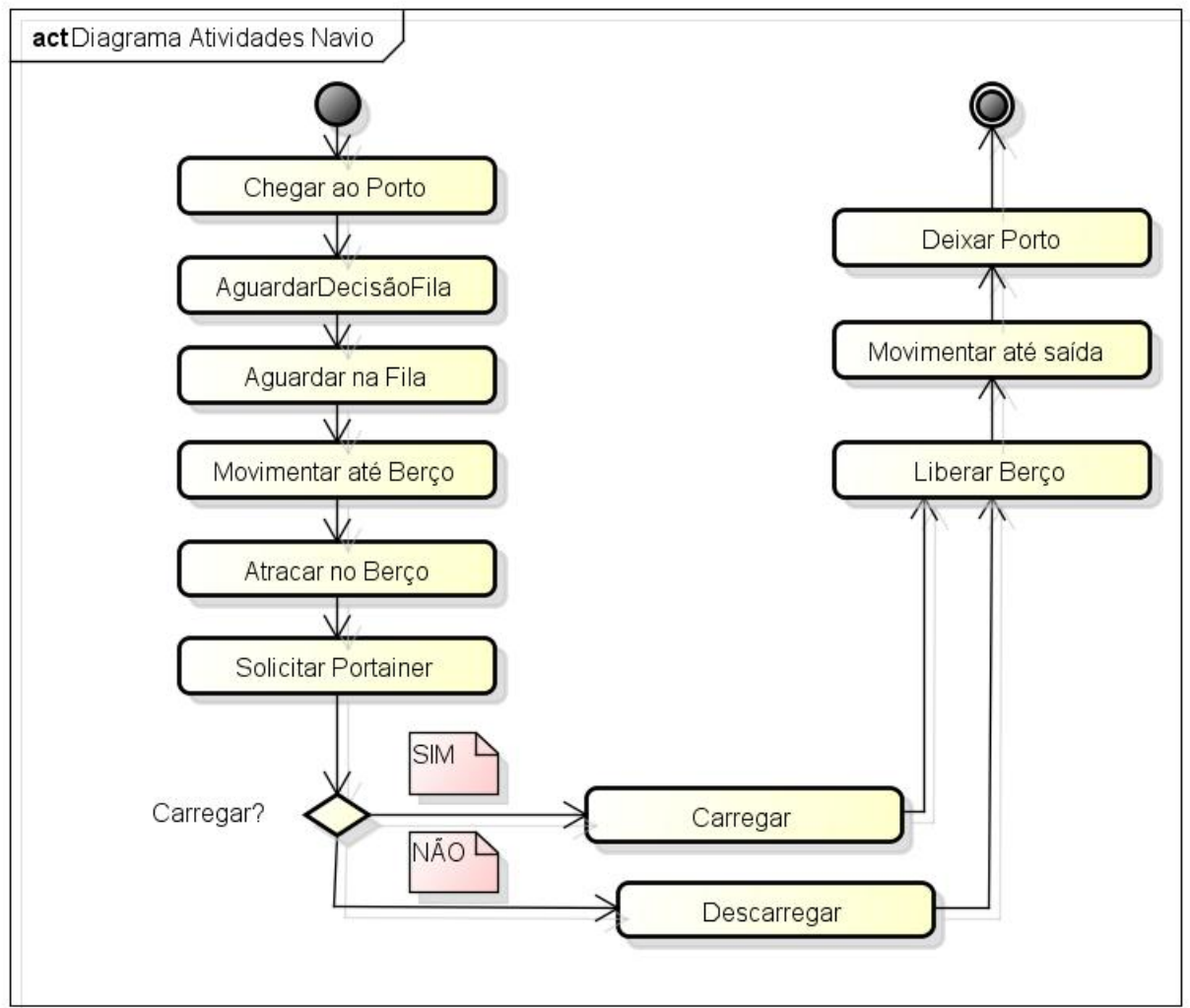


Figura 3.2: Diagrama de Atividades de Navio

## Eventos

Chegar ao porto, aguardar na fila, movimentar até o berço, atracar, deixar berço, movimentar até saída, deixar porto, carregar, descarregar, solicitar portainer, liberar portainer.

### 3.3.2 Caminhões de pátio

O caminhão de pátio inicia em uma estação base, ou garagem dentro do porto, e se movimentam de acordo com solicitações. Basicamente os caminhões que trafegam para realizar movimentações internas no porto são utilizados para containers, já que as movimentações de granéis sólidos em sua maioria são realizadas por esteiras e de granéis líquidos por dutos. As solicitações podem partir de dois locais, sendo o cais, onde estão ancorados os navios e estações de armazenamento, onde estão os containers aguardando para serem

levados aos navios.

Ao receber uma solicitação para movimentação no cais o caminhão deve aguardar pela disponibilidade das rotas necessárias para chegar ao seu destino e quando disponíveis se dirigir até a posição de carregamento.

O evento seguinte consiste aguardar que o portainer coloque o container sobre o caminhão.

Após o posicionamento do container o caminhão deve seguir para a estação de armazenamento de destino, onde o container ficará armazenado até sua saída do porto. Para isso deve checar novamente por disponibilidade das rotas que serão necessárias para tal deslocamento e quando disponíveis seguir ao destino.

Ao chegar à estação deve se posicionar em uma posição de descarga e aguardar pelo transtainer ou por uma empilhadeira de grande porte, que fará a remoção do container do caminhão, liberando este, e colocará o container na pilha de containers da estação.

Após ser liberado o caminhão deve verificar a necessidade de remoção de mais containers no cais e retornar ao mesmo se houver, e se não houver deve voltar à sua estação base.

Ao receber uma solicitação para movimentação em uma estação de armazenamento, o caminhão deve verificar a disponibilidade das rotas que serão utilizadas por ele para chegar até a mesma, e então seguir quando possível, até uma posição de carga da estação.

Ao se posicionar deve aguardar que um transtainer ou empilhadeira de grande porte coloque o container sobre ele e deve aguardar disponibilidade das rotas até o berço de destino.

Após isso deve seguir até uma posição de descarga de caminhões de pátio do berço, onde terá o container retirado por um portainer, que o colocará no navio que levará o container do porto, sendo assim o caminhão de pátio liberado para repetir a operação caso haja necessidade e caso contrário voltar à sua estação base.

Alguns atributos são importantes neste tipo de entidade como a data e hora em que foi solicitado e a data e hora de retorno à estação, pois esses atributos permitem que a simulação determine a taxa de ocupação do caminhão e o tempo médio de serviço para movimentação de containers dentro do porto. A capacidade destes caminhões também

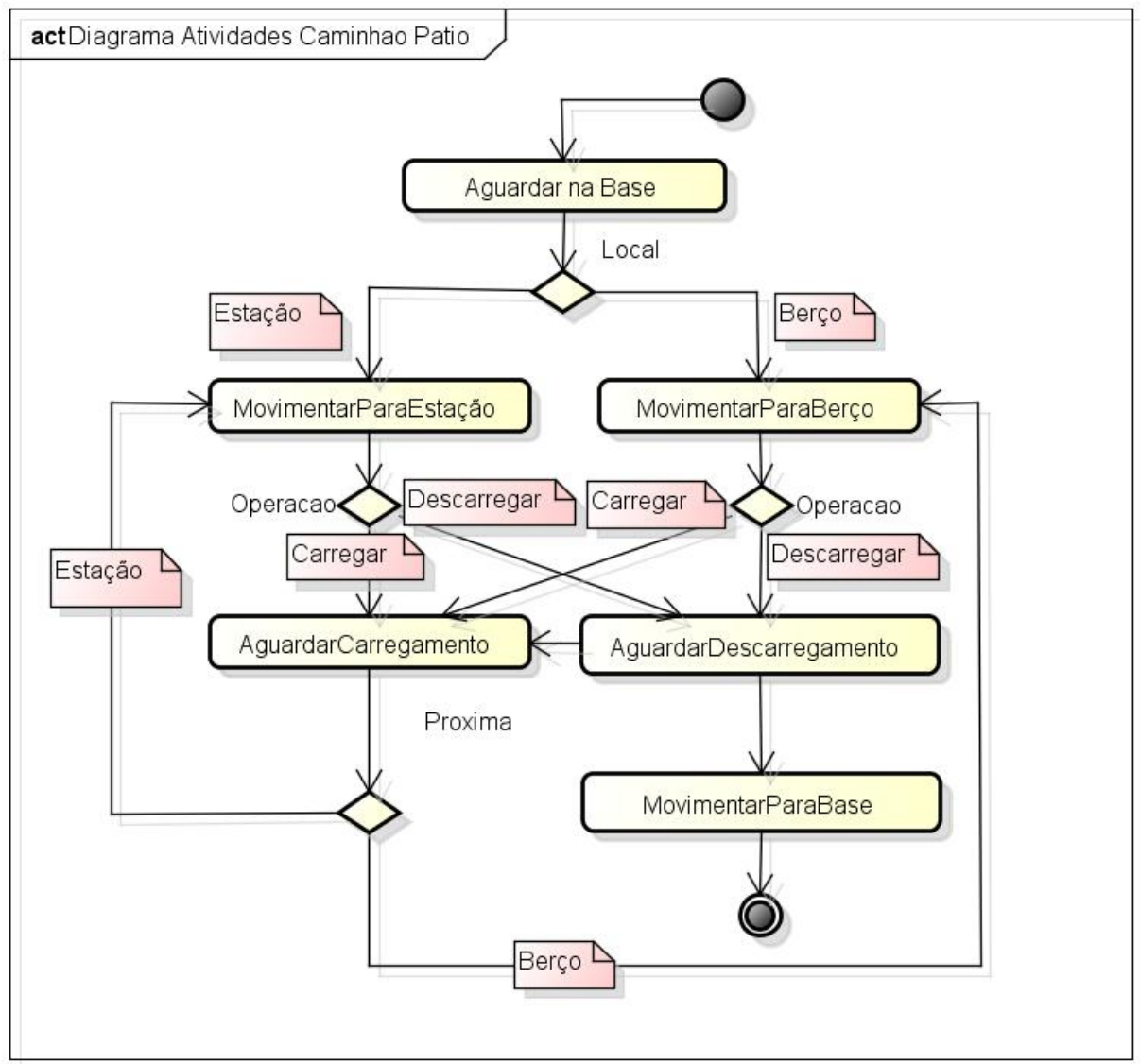


Figura 3.3: Diagrama de Atividades Caminhão Pátio

influencia no tempo médio de movimentação de containers. Os caminhões internos do porto podem ser caminhões comuns ou caminhões com este fim específico e sua capacidade pode variar, neste trabalho utiliza-se capacidade de um ou dois containers, que são os mais comuns.

### Atributos

Identificador, hora de solicitação, hora de retorno à base, estação base, capacidade (um ou dois containers), estações que atende, quantidade de containers a movimentar, taxa de ocupação.



## Eventos

Movimentar até estação de armazenamento, movimentar até berço, aguardar carregamento, aguardar descarregamento, movimentar até base.

### 3.3.3 Caminhões externos

Os caminhões externos chegam ao portão de acesso ao porto e aguardam em fila pela sua liberação para entrar no porto, no momento da chegada a hora de chegada é armazenada para controle da simulação. Essa liberação depende de alguns fatores, disponibilidade das rotas até a estação de destino, capacidade máxima da estação de armazenamento de destino, capacidade máxima do porto, disponibilidade de posição de carga ou descarga na estação dependendo da operação a ser realizada pelo caminhão, além da ordenação da fila que pode ser feita por diversas maneiras, como quantidade de carga, operação a realizar e ordem de chegada.

Após liberação deve-se armazenar a data e hora de entrada do caminhão no porto e o caminhão deve se dirigir à estação de armazenamento onde está armazenada a carga designada a ele. Ao chegar à estação deve se posicionar em uma posição de carga ou descarga dependendo de seu objetivo. Neste momento o tipo de carga definirá os próximos passos, se for um caminhão de container o caminhão deve aguardar o carregamento ou descarregamento por um transtainer ou empilhadeira de grande porte. Se a carga for um granel sólido o caminhão se posicionará sob uma moega que despejará a carga sobre ele fazendo o carregamento do caminhão, ou se posicionará nas posições de descarga e realizará o processo de descarga podendo ser realizado nas plataformas de inclinação ou por abertura das bicas dos caminhões que escoarão a carga. Se for uma carga líquida o caminhão será carregado ou descarregado por meio de mangueiras ou mangotes.

Após os procedimentos citados acima o caminhão verificará a disponibilidade das rotas que ligam a estação onde se encontra até o portão de saída e assim que disponíveis, ele seguirá até o portão deixando o sistema, neste momento dois atributos devem ser definidos, a data e hora do fim do serviço e data e hora da saída do porto, para posterior demonstração de resultado.

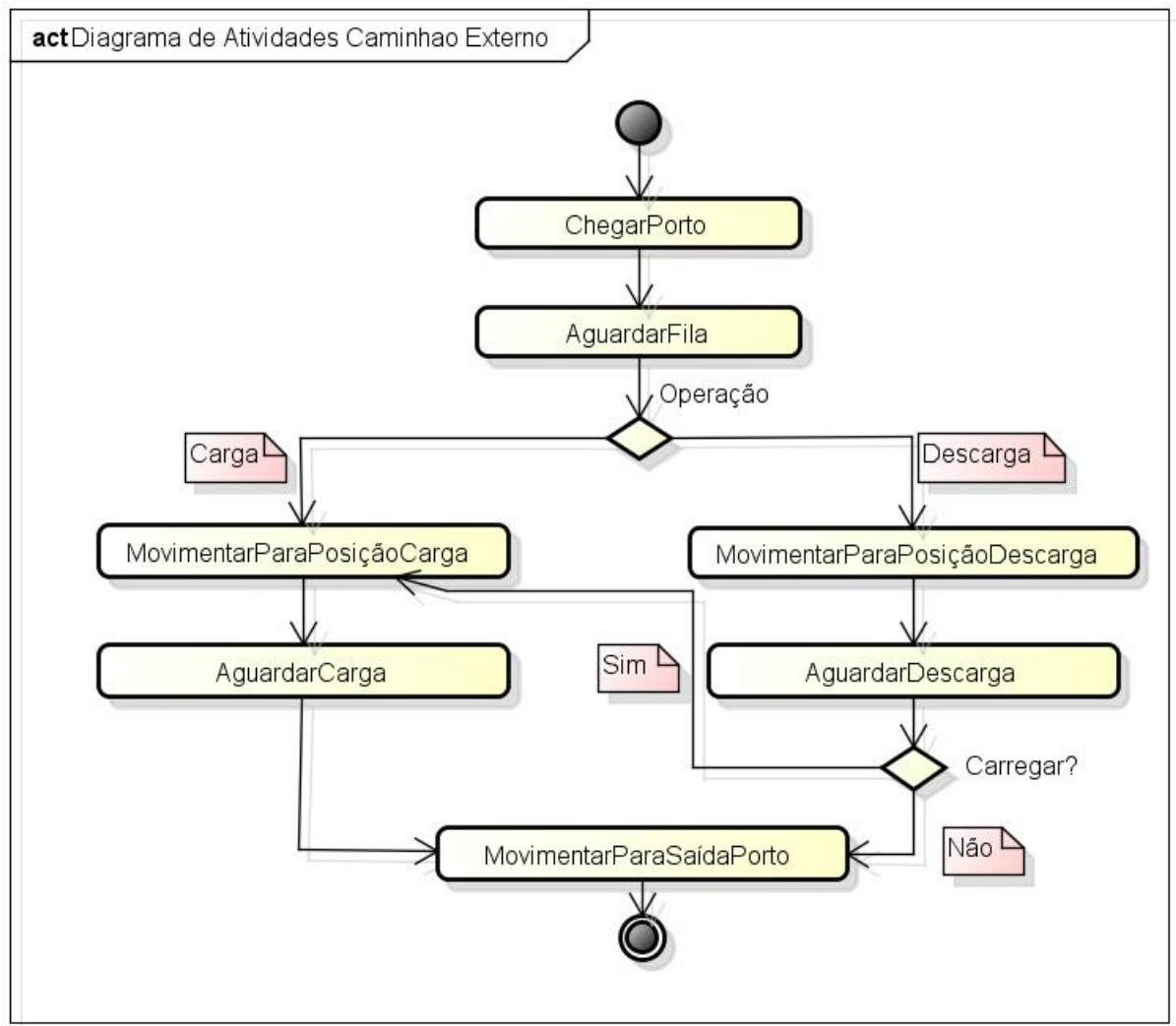


Figura 3.4: Diagrama de Atividades Caminhão Externo

### Atributos

Identificador, capacidade, data e hora de chegada, data e hora de entrada no porto, estação de armazenamento, posição de carga, posição de descarga, data e hora do fim do atendimento, data e hora de saída do porto, tempo total no sistema, tipo de carga, operação a ser realizada, quantidade de carga a movimentar.

### Eventos

Chegar ao porto, aguardar na fila, movimentar até posição de carga, movimentar até posição de descarga, aguardar carga, aguardar descarga, movimentar até saída do porto.

### 3.3.4 Rotas

As rotas são entidades que servirão de recurso às entidades de transporte, ou seja, caminhões, navios e empilhadeiras de grande porte. As rotas ligam dois pontos, que serão definidos em sua criação e poderão ser trafegadas em um ou dois sentidos, atributo que também será definido na criação da rota. Para cada sentido deve-se definir a capacidade máxima de tráfego simultaneamente, permitindo assim determinar o estado, ocupada ou disponível. Além disso, as rotas devem ter uma definição de velocidade de tráfego, para que se possa prever o tempo gasto em cada movimentação. Na simulação a rota só altera os atributos de tempo das entidades. Nas rotas é necessário que se registre a data e hora de início e fim de cada movimentação para que se possa calcular a taxa de ocupação.

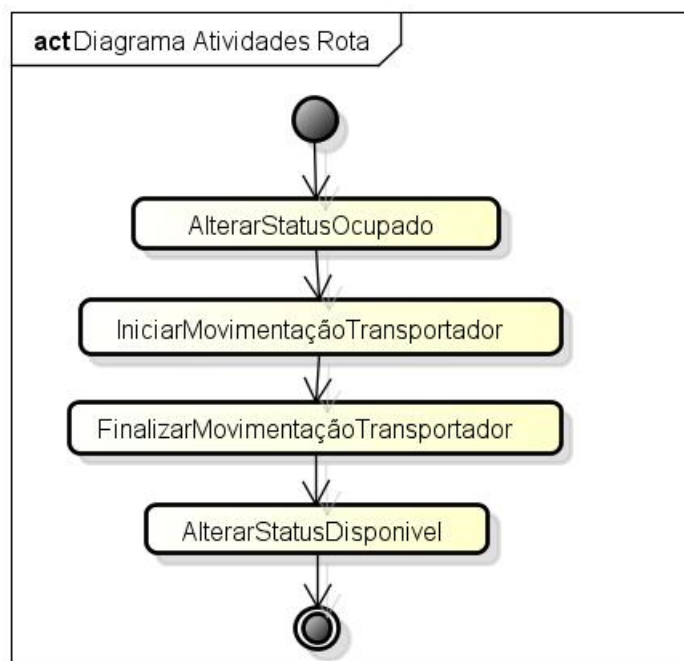


Figura 3.5: Diagrama de Atividades Rota

As rotas, independentemente do tipo de entidade que as utilizarão, tem o comportamento semelhante, portanto haverá uma classe rota base, que poderá ter outras classes que herdarão seus atributos e métodos, caso necessário.

#### Atributos

Identificador, data e hora de início de movimentação, data e hora de fim de movimentação, lista de movimentações realizadas, entidade de origem, entidade de destino, distância, sen-

tido, capacidade de movimentação simultânea, velocidade, estado, entidades que podem trafegar pela rota, taxa de ocupação.

## Eventos

Iniciar movimentação de entidade, finalizar movimentação de entidade, liberar rota, ocupar rota.

### 3.3.5 Portainers

Os portainers realizarão suas operações através de solicitações, que podem ser feitas por um navio ao atracar. De modo geral os portainers se movimentam paralelamente aos berços por meio de trilhos, podendo assim atender a mais de um berço, por isso deve-se atribuir quais berços ele pode atender.

Ao ser solicitado por um navio, deve-se registrar a data e hora do início de atendimento, e então o portainer se desloca até o berço onde o navio está atracado e a partir daí inicia as movimentações de carga ou descarga do navio.

A operação de carga do navio consiste na remoção de um ou mais containers de um caminhão, já posicionado em posição que permita tal operação e o posicionamento dos containers no navio. Esta operação realiza a subtração do número de containers movimentados pelo portainer do caminhão e a soma no número de containers no navio, por isso se deve certificar que antes da movimentação a capacidade máxima do navio não será excedida, e também se deve subtrair o número de containers movimentados ao atributo quantidade de containers a movimentar do navio, para que quando este número seja zero, o navio seja liberado. Ao remover o container do caminhão a entidade portainer deve liberar o caminhão para sua próxima operação, a não ser que a próxima operação seja a retirada de um container do navio destinado àquele caminhão.

A operação de descarga do navio é o processo contrário, ou seja, o portainer retira o(s) container(s) do navio e deve movimentá-los ao cais, onde serão posicionados sobre um caminhão de pátio, que deve estar posicionado, e caso não esteja, o portainer deve aguardar até que seja feito. Sendo assim ao retirar o(s) container(s) do navio subtrai-se o número de containers movimentados do navio e soma-os no caminhão designado a tal movimentação, e subtrai-se o número de containers movimentados do navio da quantidade

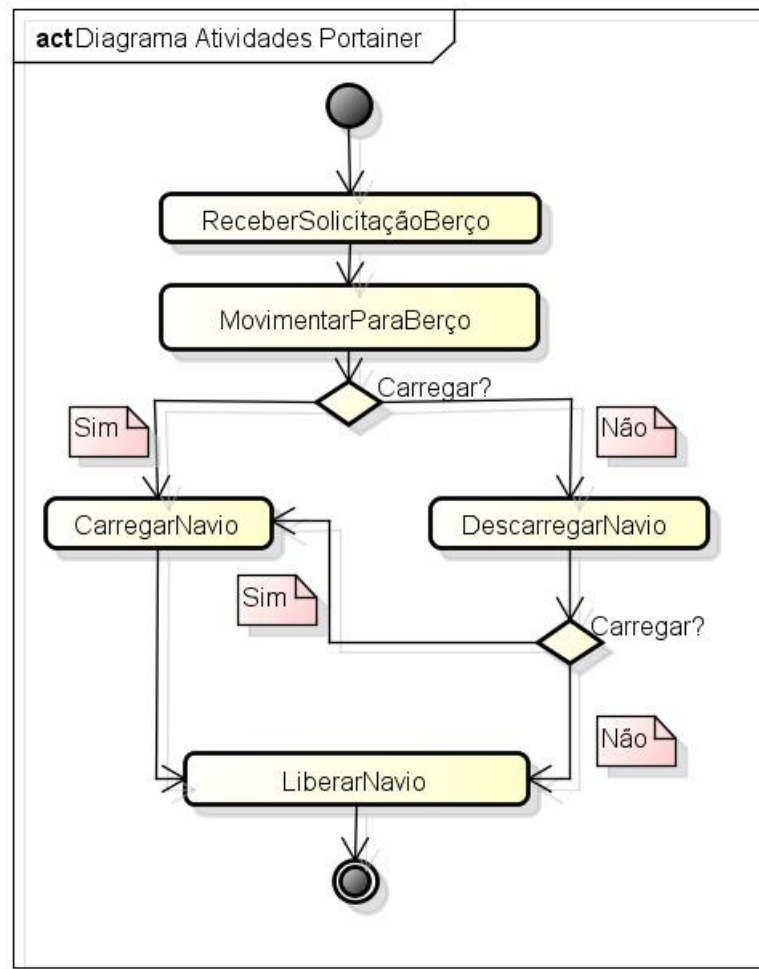


Figura 3.6: Diagrama de Atividades Portainer

de containers a movimentar, para que quando este número seja zero caso a operação designada ao navio seja somente descarga, o navio seja liberado.

Ao liberar o navio, verifica-se a necessidade de movimentação de outro navio em um berço que o portainer atende, e caso não haja nenhum, registra-se a data e hora do fim do atendimento, para que se possa calcular a taxa de ocupação.

### Atributos

Identificador, data e hora do início do atendimento, data e hora do fim do atendimento, velocidade de deslocamento, capacidade de movimentação simultânea, tempo de movimentação de um container, berços que atende, taxa de ocupação.

## Eventos

Movimentar para berço, carregar navio, descarregar navio, liberar navio, liberar caminhão, verificar próxima operação.

### 3.3.6 Transtainers

Os transtainers realizarão suas operações através de solicitações, que podem ser feitas por um caminhão ao chegar a uma posição de carga ou em uma posição de descarga de uma estação. Os transtainers são fixos às estações de armazenamento, porém se movimentam no espaço da estação de acordo com a posição do container a ser movimentado e de acordo com a posição do caminhão que transporta o container.

Ao ser solicitado, deve-se registrar a data e hora do início de atendimento, alterar o estado para ocupado e então o transtainer se desloca até a posição onde realizará a movimentação do container.

A operação de carga do caminhão consiste na remoção de um container de uma estação de armazenamento de containers, e o posicionamento do mesmo no caminhão, já posicionado em posição que permita tal operação. Esta operação realiza a subtração do número de containers da estação de armazenamento, e o incremento deste número no caminhão que o movimentará após esta operação, além de decrementar o atributo quantidade de carga a movimentar, caso seja um caminhão externo e quantidade de container a movimentar, caso seja um caminhão de pátio.

A operação de descarga do caminhão é o processo contrário, ou seja, o transtainer retira o container do caminhão, que deve estar em uma posição de descarga, e caso não esteja o transtainer deve aguardar que se posicione, e deve movimentá-lo até a estação de armazenamento, onde será posicionado em uma pilha de containers. Ao realizar esta operação deve-se decrementar o atributo quantidade de carga a movimentar, caso seja um caminhão externo ou o atributo quantidade de containers a movimentar, caso seja um caminhão de pátio e após o decremento, caso ainda haja um container a ser descarregado na estação o caminhão deve aguardar, caso contrário deve ser liberado para realizar suas próximas operações.

Ao finalizar a operação deve checar por novas movimentações a realizar e caso não haja nenhuma, registra-se a data e hora do fim do atendimento, para que se possa

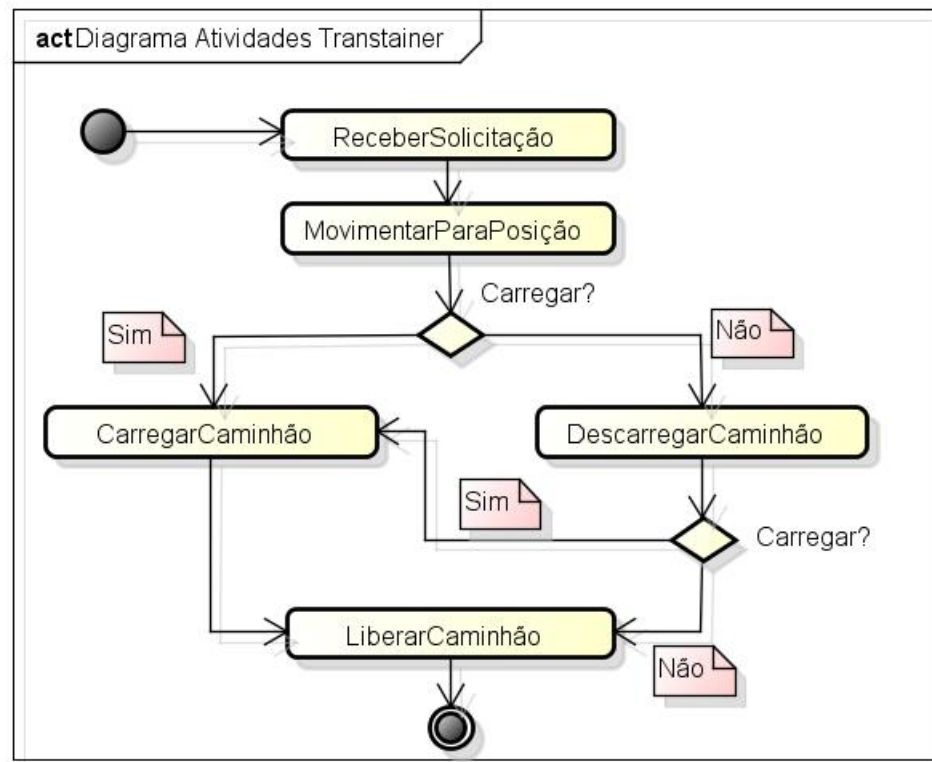


Figura 3.7: Diagrama de Atividades Transtainer

calcular a taxa de ocupação do transtainer.

### Atributos

Identificador, data e hora do início de atendimento, data e hora do fim do atendimento, estação que atende, tempo de movimentação de um container, taxa de ocupação, estado.

### Eventos

Movimentar na estação de armazenamento, carregar caminhão, descarregar caminhão, verificar próxima operação, liberar caminhão.

### 3.3.7 Berços

Os berços são recursos que serão utilizados por navios. Para ser selecionado para atender um navio existe um processo de decisão na fila de chegada dos navios, que pode atender a diversos critérios, e então o berço é atribuído ao navio e é gerada uma fila de navios que estão aguardando por um determinado berço, ou seja, cada berço terá uma fila de espera.

Para receber o primeiro navio da fila, o berço passa por uma preparação de acordo com a carga designada a ele, por isso deve-se armazenar este tempo, que será contado na taxa de ocupação do berço, além disso, quando a preparação é iniciada o estado do berço passa a ser ocupado, pois já está designado a um navio, não podendo outro navio da fila ser direcionado ao berço.

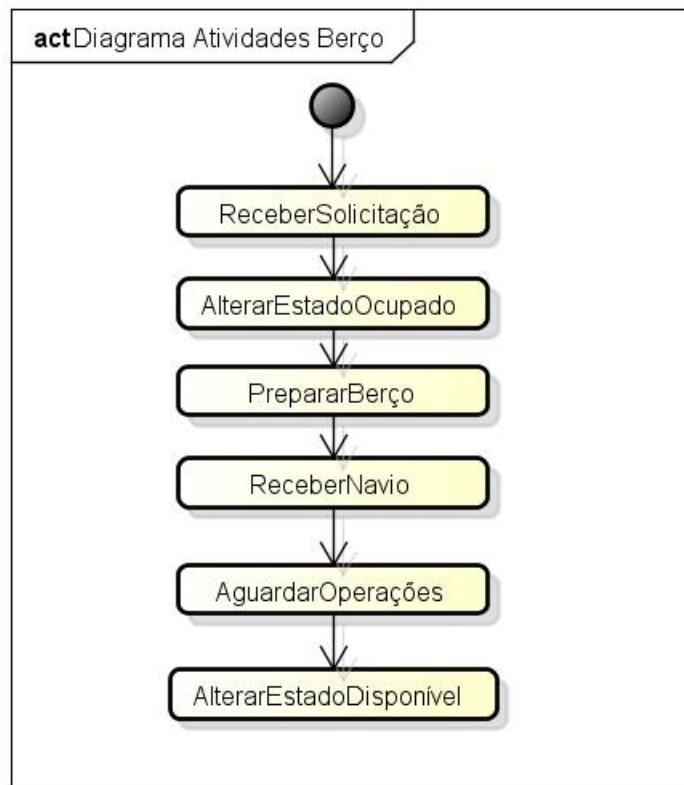


Figura 3.8: Diagrama de Atividades Berço

Ao finalizar a preparação, o berço é liberado para receber o navio, que atraca e tem a data de atracação e hora de atracação registradas. Após este procedimento o navio realiza todas as operações de movimentações de carga, mas o berço não sofre alterações em seus atributos até que o navio finalize suas operações e libere o berço.

Após este procedimento, o berço tem seu estado alterado para disponível e é enviado um sinal para a fila de navios para realizar a preparação do berço para o próximo navio.

### Atributos

Identificador, data e hora de início da preparação, data e hora do fim da preparação, estado, data e hora da atracação do navio, data e hora da liberação do berço, tempo



de preparação, taxa de ocupação, estado, liberado para atracar, fila de navios a serem atendidos.

### Eventos

Preparar berço, ocupar berço, liberar berço.

### 3.3.8 Estações de Armazenamento de Carga

As estações de armazenamento são responsáveis por manter as cargas, independente do tipo que seja no pátio enquanto aguardam pelo transporte que necessitam.

As estações de containers são formadas por pilhas de containers, as estações de granéis sólidos são compostas por silos e as estações de granéis líquidos são formadas por tanques. Todas elas possuem uma capacidade máxima que deve ser respeitada, sendo assim, ao chegar um caminhão externo, caminhão de pátio ou navio para descarregar em uma estação, deve verificar se a capacidade máxima somada à carga que o transportador necessita descarregar ultrapassará este limite, e caso ultrapasse deve-se aguardar que uma movimentação de carga que reduza a quantidade de carga da estação seja realizada, caso contrário, a movimentação ocorre normalmente.

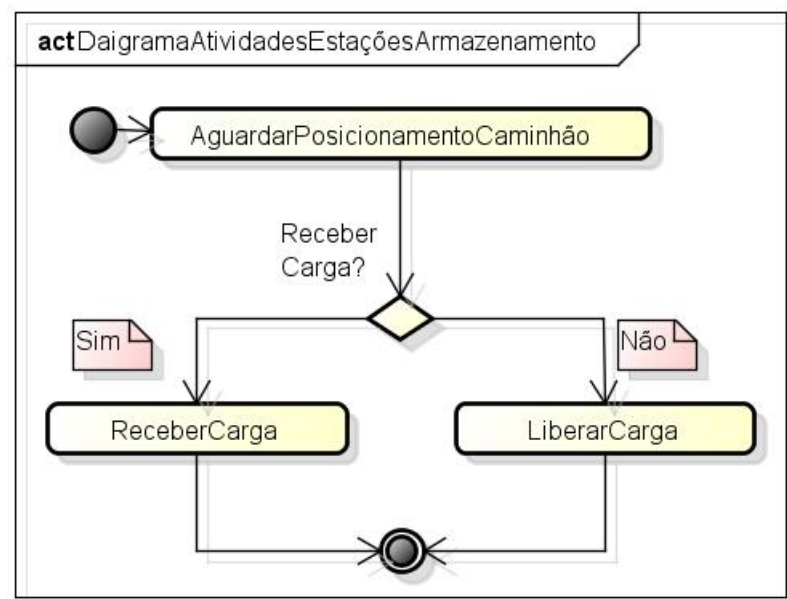


Figura 3.9: Diagrama de Atividades Estação de Armazenamento

As estações de armazenamento devem possuir movimentadores de cargas, que

podem ser transtainers ou empilhadeiras de grande porte para o caso de movimentações de containers, dutos ou mangotes para grânéis líquidos e moegas ou rampas de inclinação para grânéis sólidos.

Para que sejam realizadas as movimentações, as estações de armazenamento devem possuir posições de carga e descarga de caminhões, que possibilitem que os movimentadores de carga, sejam eles de qualquer tipo, alcancem os caminhões.

As estações de armazenamento terão somente dois eventos, receber carga e liberar carga.

### **Atributos**

Identificador, capacidade total de carga, quantidade de carga, movimentadores de carga.

### **Eventos**

Receber carga e liberar carga.

#### **3.3.9 Filas**

As filas são partes importantes em toda simulação, pois através delas torna-se possível descobrir gargalos, devido ao fato de demonstrarem onde estão os maiores problemas do sistema como um todo. No caso da simulação portuária, caso um navio ou caminhão espere em uma fila por muito tempo, algum problema nas entidades, sejam elas berços posições de carga e descarga de caminhões, movimentadores de carga ou estações de armazenamento que receberão as cargas do navio ou caminhão que o atenderão existe, e assim deve-se verificar com maior critério cada entidade a fim de encontrar onde está o problema.

Ao chegar a um porto, o navio passará por algumas análises, visando buscar qual o melhor berço do porto para atendê-lo. A primeira análise leva em consideração o tipo de carga que o navio está transportando, o comprimento e o calado (profundidade submersa). Após a primeira análise haverá uma lista de berços capazes de atender o navio e então se inicia uma segunda análise, para decidir qual será o melhor em termos de menor espera dentre os berços capazes de atender o navio e então direcionar o navio para o berço.

Esta segunda análise levará em conta o tempo que o navio permanecerá em espera na fila para que seja atendido, com base nos demais navios que se encontram na fila. Para essa decisão utiliza-se um critério definido pelo usuário no momento da confecção do modelo de simulação, que pode ser a ordem de chegada, custo do navio parado, quantidade de carga a movimentar entre outros. Sendo assim, o navio será ?encaixado? na posição da fila em que deve aguardar para ocupar o berço.

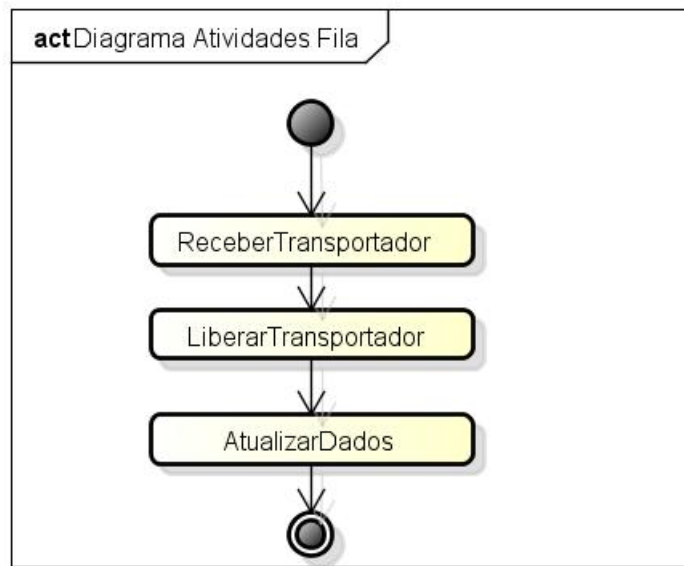


Figura 3.10: Diagrama de Atividades Fila

Após a decisão do berço e a espera até ser o primeiro da fila, navio deve aguardar por condições ideais de atracação, sendo estas, disponibilidade de um prático para realizar a movimentação do navio até o berço, disponibilidade das rotas que ligam o local onde o navio está aguardando até o berço e a disponibilidade do berço. Ao serem satisfeitas todas as condições o navio segue para o berço e a fila deve atualizar as posições dos navios que estão aguardando, além do tempo médio de espera com base nos dados de chegada do navio e do momento em que o mesmo foi liberado para a movimentação até o berço.

O processo dos caminhões é semelhante, porém normalmente os caminhões tem uma estação de armazenamento definida antes de chegarem ao porto e não pode ser alterado. Por esta razão o processo de decisões torna-se mais simples, devendo verificar apenas a ordem na fila segundo o critério definido pelo usuário, e então o caminhão externo deve aguardar pelas rotas e verificar as condições da estação de armazenamento que o receberá.

### Atributos

Identificador, Fila de Navio ou Caminhão, Berço ou estação que atende, quantidade de navios ou caminhões em espera, tempo médio de espera, lista de navios ou caminhões da fila.

### Eventos

Receber transportador, liberar transportador, atualizar dados.

## 3.4 Arquitetura

Nesta seção será apresentado o conceito inicial da arquitetura do sistema.

### 3.4.1 Modelo de Arquitetura

A arquitetura é descrita pelo modelo demonstrado na figura 3.11. Os retângulos na imagem representam projetos e as setas indicam a referência de um projeto no outro e a comunicação entre eles.

A camada UI Interface Usuário, será a tela, onde será projetado o modelo do sistema pelo usuário, através de uma paleta de itens. Esta camada deve se comunicar com as entidades, pois neste momento serão setados os valores necessários à simulação para elas e estas servirão como repositório para todo o sistema. Para que isso seja possível serão utilizadas as classes descritas nos diagramas de classe. Estas entidades podem ter variações dependendo do modelo gerado, por isso serão utilizadas interfaces que terão seus métodos implementadas pela camada simulador de portos.

Uma destas variações consiste nas operações de movimentação de carga dependendo do tipo de carga. Estas operações podem ter tratamentos muito diferentes dependendo do tipo de carga, pode-se citar a preparação do berço para receber um navio, os processos de carregamento e descarregamento do navio, o armazenamento nas estações e a transferência da carga das estações de armazenamento para os caminhões que levarão a carga para fora do porto ou o processo contrário.

Além desta, os processos de decisão nas filas são outro caso que pode ser

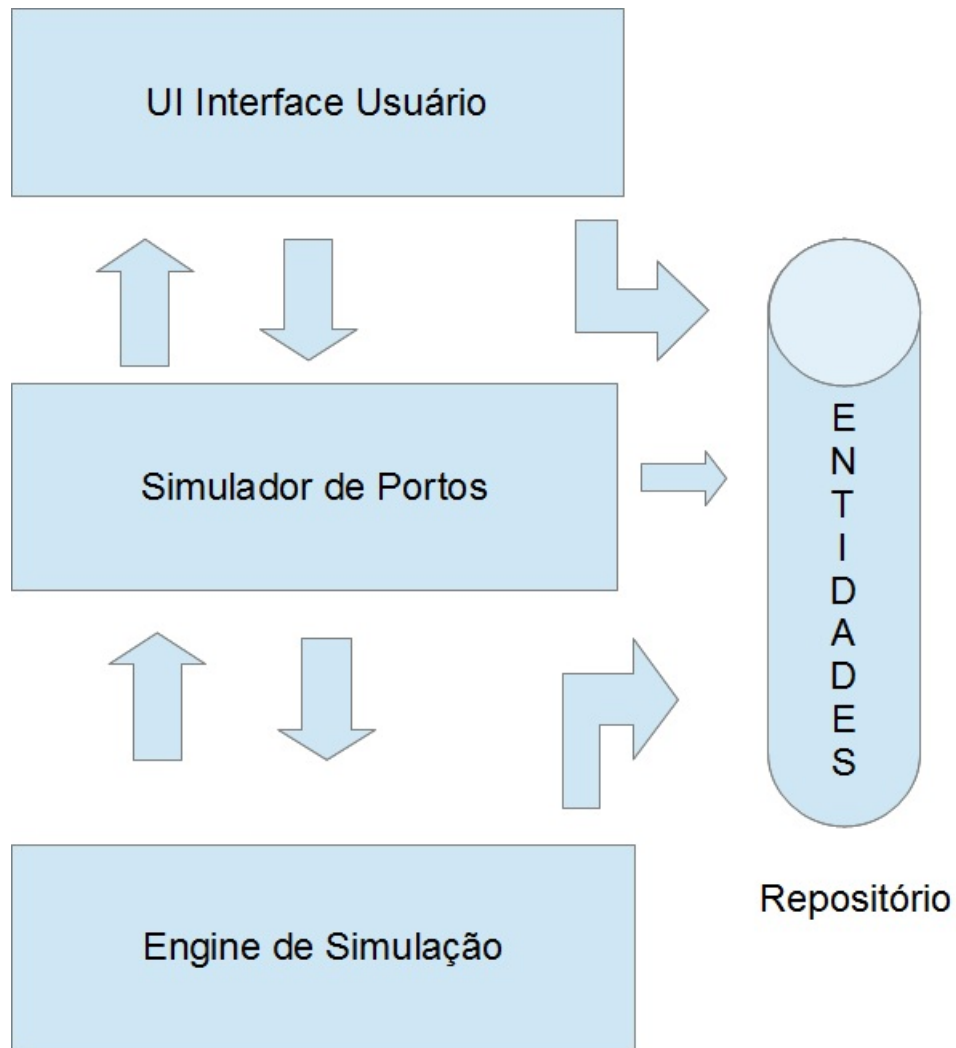


Figura 3.11: Modelo Arquitetural

definido de diversas maneiras. O usuário pode solicitar diversos métodos para ordenação nas filas. Os mais comuns são ordem de chegada e custo, porém existem diversas teses de mestrado e doutorado, com foco específico no problema de alocação de berços, pois existem diversas maneiras de tratar este problema.

A camada simulador de portos utilizará uma engine de simulação para obter os resultados necessários para demonstração dos resultados. Esta engine de simulação será definida nos próximos passos do trabalho.

Após o procedimento o simulador de portos deve retornar por meio de um arquivo XML, os resultados para a UI Interface Usuário, que demonstra os resultados na tela para análise do usuário.

## 3.5 Classes

Nesta seção serão apresentadas as classes principais que estarão envolvidas no software. Para melhor apresentação primeiramente serão demonstradas uma a uma e por fim um diagrama com visão das classes compactadas para demonstração dos relacionamentos. Estas classes serão as entidades do sistema, e por existirem variações, serão tratadas como interfaces que terão seus métodos implementados por outras classes, conforme necessidade.

### 3.5.1 Diagramas de Classe

Os transportadores de carga são os navios, caminhões de pátio e caminhões externos. Estes têm algumas características em comum, por isso será utilizada uma classe denominada TransporteBase, que contém Id, capacidade total de carga, tipo de carga que transporta e quantidade de carga a movimentar que terá a unidade definida dependendo do tipo de carga. A TransporteBase terá três classes filhas, ou seja, as classes filhas herdam suas propriedades. As classes filhas representarão cada tipo de transportador, são eles navio, caminhão de pátio e caminhões externos, e cada uma destas terá suas próprias propriedades e métodos conforme demonstra a figura 3.12.

Todas as classes filhas terão relacionamento com a classe rota, podendo ter mais de uma rota atribuída a ela, portanto se faz necessária uma lista de rotas conforme apresentado na figura 3.18.

Os movimentadores de carga são os transtainers e portainers. Estes têm algumas características em comum, por isso será utilizada uma classe denominada MovimentadoresBase, que contém Id, data e hora do início de atendimento, data e hora do fim de atendimento e taxa de ocupação. A MovimentadoresBase terá duas classes filhas que herdarão suas propriedades. As classes filhas serão portainer e transtainer, e cada uma destas terá suas propriedades e métodos conforme apresentado na figura 3.13.

Os portainers se relacionam com caminhões de pátio, navios e berços, por isso se faz necessário o armazenamento de listas de cada uma destas entidades na classe de portainer.

Os transtainers se relacionam com uma estação de armazenamento, portanto é necessário uma propriedade de tipo EstacaoArmazenamento, e com caminhões externos e caminhões de pátio necessitando uma lista para cada um destes tipos.

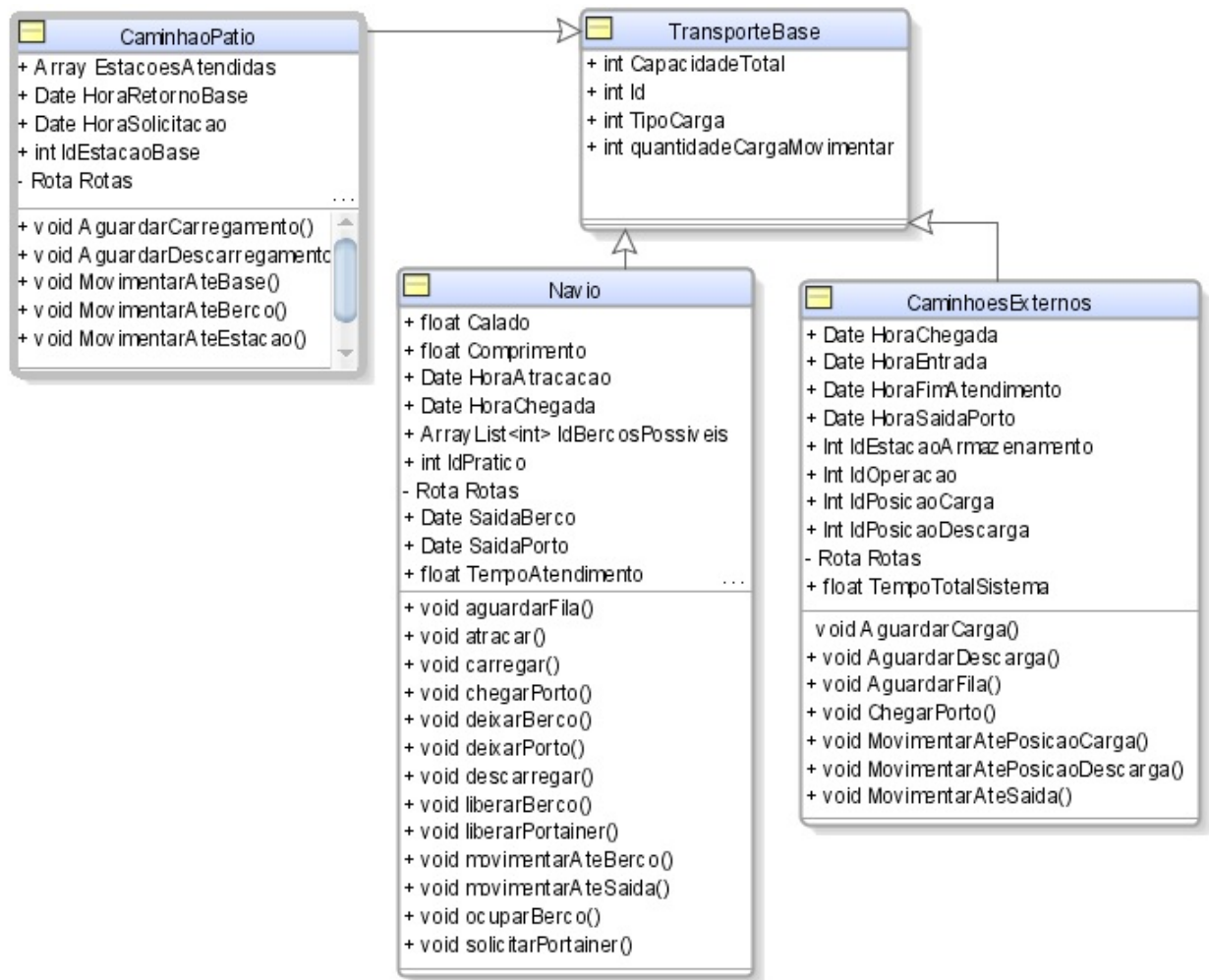


Figura 3.12: Diagrama de Classes de Transportes

As classes de filas, assim como as citadas anteriormente, terão heranças de uma classe pai denominada Fila, que terá as propriedades comuns às suas filhas, Identificador, quantidade de transportadores (caminhões ou navios) aguardando e tempo médio de espera. Além disso contém o método atualizar dados, que será utilizado tanto para fila de navios quanto para fila de caminhões. As classes filhas são FilaNavios e FilaCaminhoes que terão suas propriedades e métodos como mostra a figura 3.14.

A classe FilaCaminhoes terá relacionamento com caminhões externos, tendo portanto uma lista de entidades de CaminhosExternos e relação com uma estação de armazenamento, contendo então uma propriedade deste tipo.

A classe FilaNavios terá relacionamento com Navios, portanto terá uma lista de navios como atributo, além de uma propriedade com o Berço que ela atenderá.

A classe rota inicialmente será feita de forma genérica, porém havendo necessidade será especificada com classes filhas. Figura 3.15.

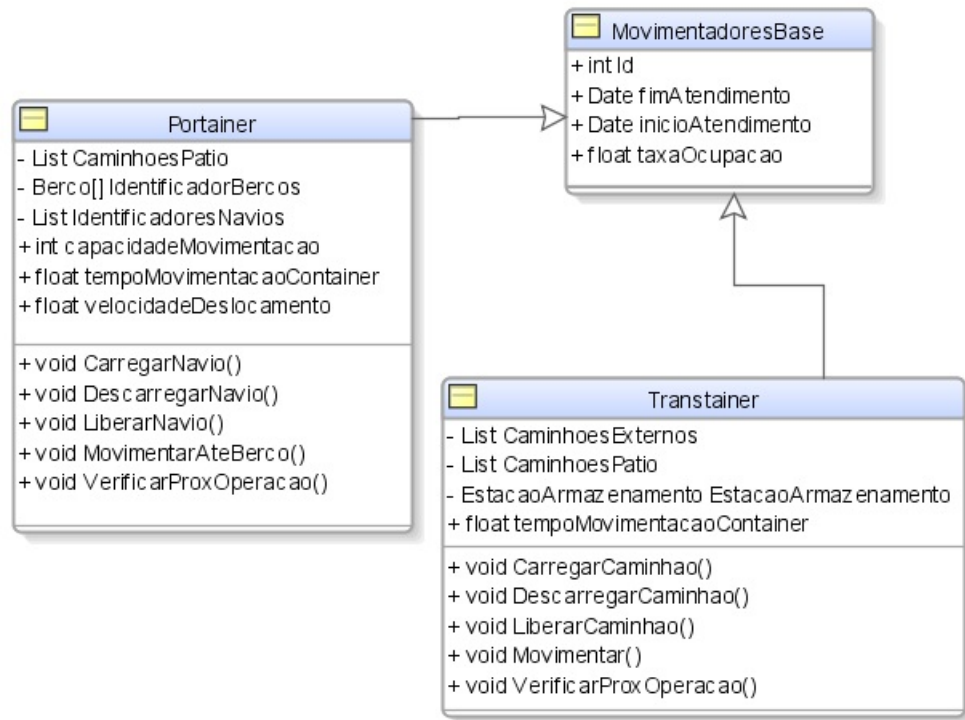


Figura 3.13: Diagrama de Classes de Movimentadores de Carga

A classe berço como descrito nos comportamentos levará em conta os tempos de preparação de berço e os tempos que os navios ficarão atracados. A classe está demonstrada na figura 3.16.

A classe berço se relacionará com a classe navio, portanto deve conter uma propriedade do tipo navio.

As estações de armazenamento estarão representadas por uma classe com métodos para liberar e receber carga, porém para realizar essas tarefas, terá relacionamentos com CaminhosExternos e CaminhosPatio, portanto terá uma lista de cada um destes tipos. Figura 3.17.

As relações foram explicadas para cada classe e o diagrama da figura 3.18 demonstra visualmente as relações e heranças.



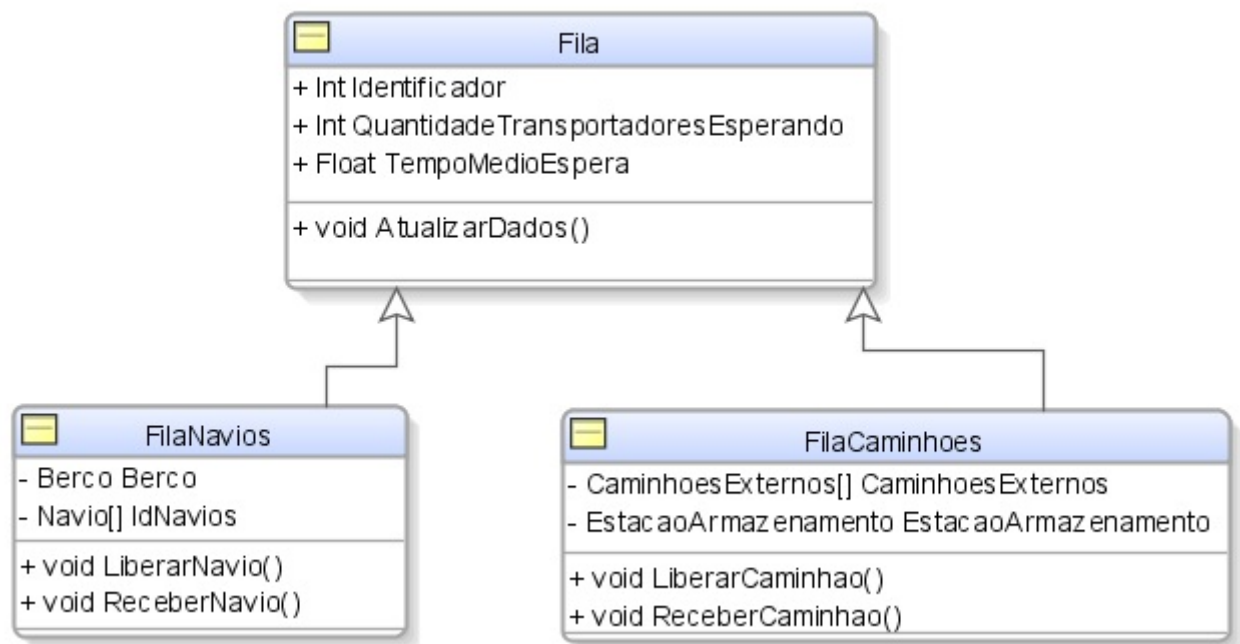


Figura 3.14: Diagrama de Classes de Filas

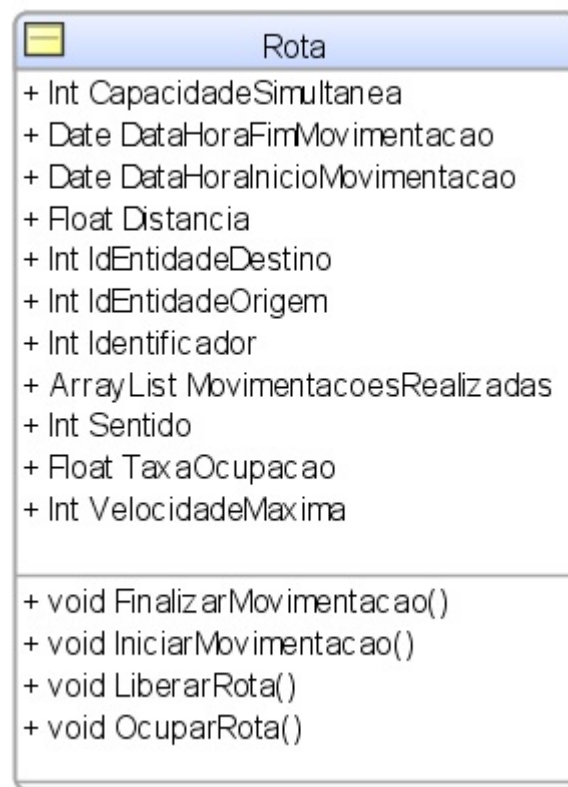


Figura 3.15: Diagrama de Classes de Rotas

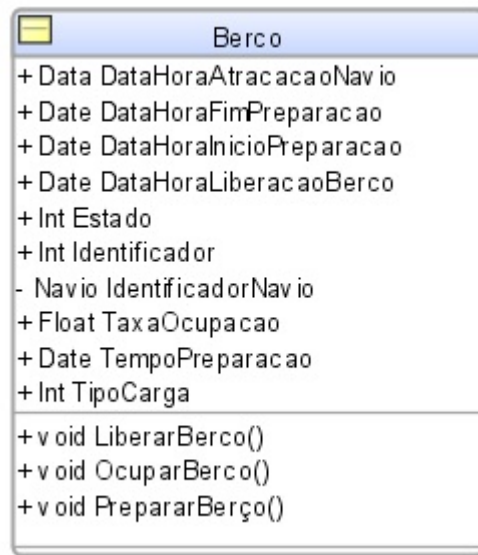


Figura 3.16: Diagrama de Classes de Berço

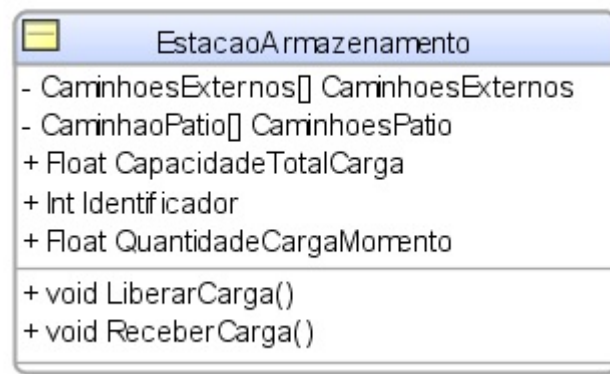


Figura 3.17: Diagrama de Classes de Estações de Armazenamento de Cargas

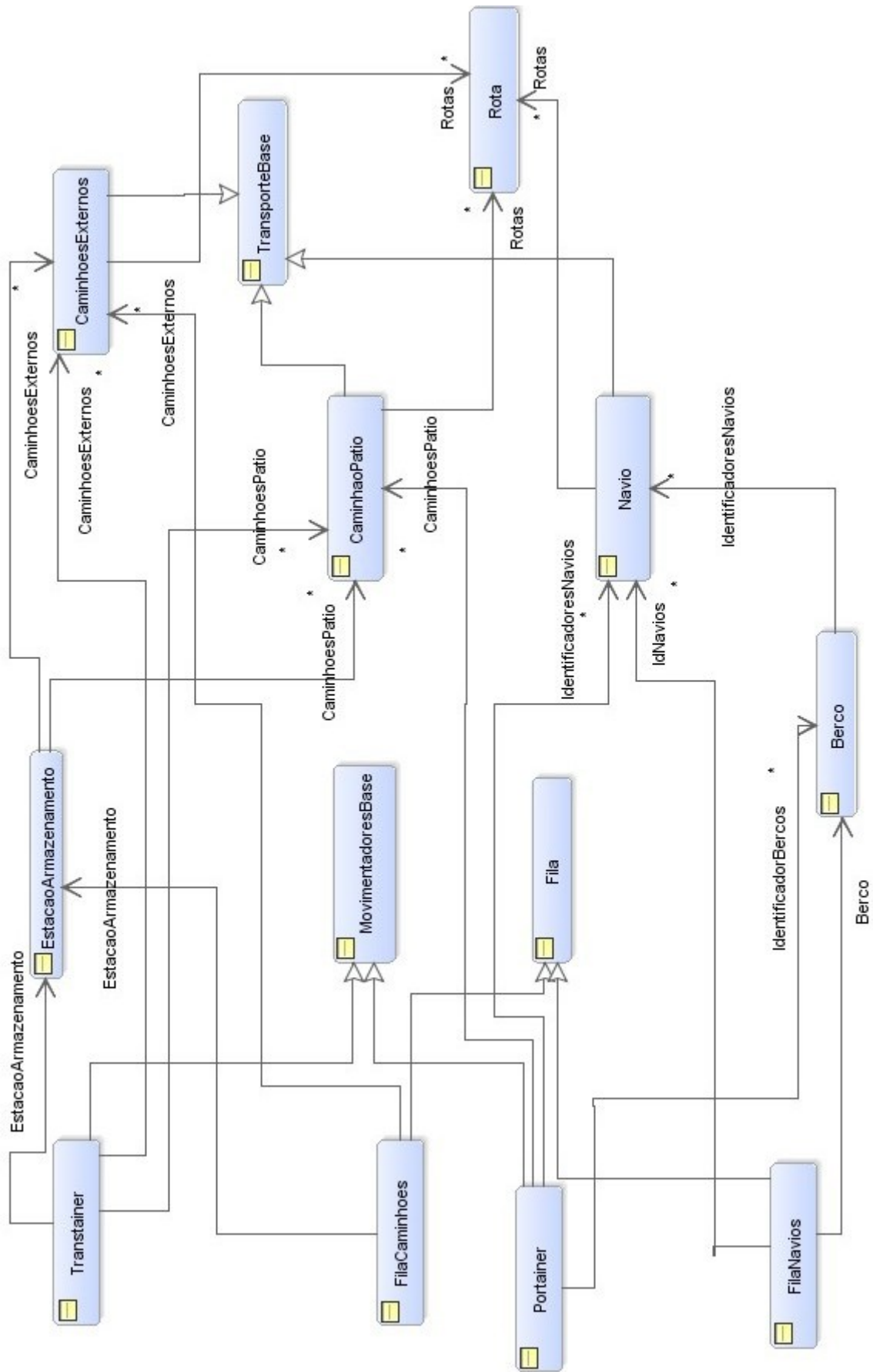


Figura 3.18: Diagrama de Classes

## 4 Considerações Finais

Este trabalho abordou os conceitos fundamentais para a compreensão da logística portuária e modelagem e simulação discreta.

Buscou-se compreender quais são os pontos importantes para que um porto funcione. Após o estudo se percebeu que, por este tipo de sistema depender de muitas variáveis, tornando-o complexo, pelos equipamentos envolvidos nas operações portuárias terem alto custo e pelo alto volume financeiro envolvido a simulação se torna uma alternativa viável afim de melhorar o fluxo de transportadores de cargas e prever resultados de alterações na estrutura portuária.

Foram modelados um diagrama de casos de uso, diagramas de classe, comportamento e arquitetura. Os portos possuem diversas variações, o que exige que o simulador trate os dados de maneiras diferentes de acordo com os critérios determinados pelo usuário na modelagem. Por essa razão será necessária a implementação de interfaces que serão implementadas por diferentes classes conforme necessidade.

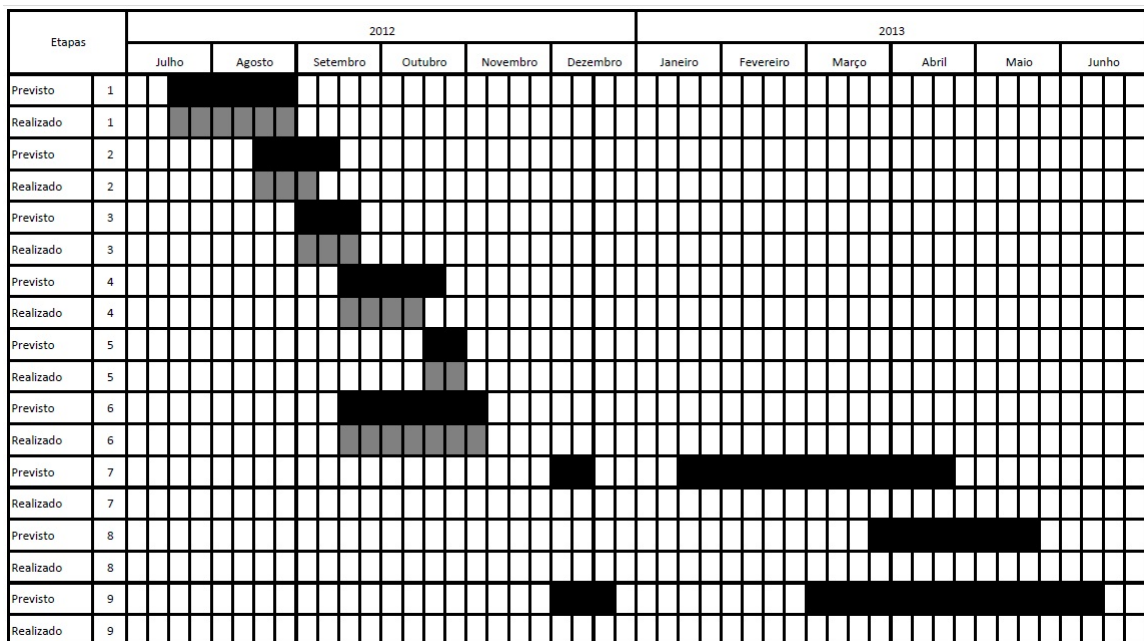


Figura 4.1: Cronograma

Os objetivos de estudo sobre portos, análise de requisitos para o desenvolvimento de um simulador de porto, especificação de diagramas de casos de uso, diagramas

de atividades e diagramas de classe do sistema foram alcançados e descritos nesta etapa do trabalho. Arquitetura de software para o simulador e estudo sobre simulação foram parcialmente alcançados e serão continuados na próxima etapa, além da implementação da camada de simulador de portos descrita na arquitetura e a realização de testes para validação do trabalho, conforme demonstrado no cronograma da figura 4.1. As etapas demonstradas no cronograma foram descritas no capítulo 1.

O Brasil é um país que depende muito dos portos, principalmente para importação e exportação, e pela carência de sistemas de simulação com este foco, o trabalho tende a colaborar com futuros desenvolvimentos para permitir a utilização do software em portos reais.

## Referências

- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. *Obras e Gestão de Portos e Costas*. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- ANDRADE, L. E. C. d. *Um Estudo Sobre Terminais Intermodais para Granéis Sólidos*. 247 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ANTAQ. *Análise da Movimentação de Cargas nos Portos Organizados e Terminais de Uso Privativo*. [S.l.], 2010.
- ANTAQ. *Boletim Portuário Segundo Trimestre de 2011*. [S.l.], 2011.
- ANTAQ. *Evolução na movimentação de cargas, por natureza e total 1999-2011*. [S.l.], 2012.
- BRITO, T. B. Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres. In: *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Salvador, BA, Brasil: ENEGEP2009, 2009. p. 13.
- DEMIRCI, E. Simulation modelling and analysis of a port investment. *Sage*, v. 79, n. 2, p. 94–105, 2003.
- FILHO, P. J. d. F. *Introdução à Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas*. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.
- NORDGREN, W. Flexsim simulation environment. In: . Orem, UT, USA: Winter Simulation Conference, 2003. p. 4.
- PARK, C.; NOH, Y. An interactive port capacity expansion simulation model. *Elsevier Science Publishers*, p. 109–124, 1987.
- PAROLA, F.; SCIOMACHEN, A. Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation models. *Int. J. Production Economics*, v. 97, p. 75–88, 2005.
- SCHWAB, K. *The Global Competitiveness Report 2011 2012*. [S.l.], 2012.

---

SILVA, A. K. *Método para Avaliação e Seleção de Softwares de Simulação de Eventos Discretos Aplicados à Análise de Sistemas Logísticos*. 191 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.