UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS LOGÍSTICOS
JOYCE MILANEZ ZAMPIROLI

**ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM
TERMINAL PORTUÁRIO DE MINÉRIO DE FERRO**

SÃO PAULO
2016

JOYCE MILANEZ ZAMPIROLI

**ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM
TERMINAL PORTUÁRIO DE MINÉRIO DE FERRO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Área de Concentração:

Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador:

Prof. Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo
2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, ____ de ____ de ____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Zampirolli, Joyce Milanez

ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM
TERMINAL PORTUÁRIO DE MINÉRIO DE FERRO / J. M. Zampirolli -- versão
corr. -- São Paulo, 2016.
103 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Simulação computacional I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

DEDICATÓRIA

*Aos meus amados pais José e Joelza,
com todo meu amor.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, minha inspiração e força durante toda minha caminhada, sem Ele nada disso seria possível.

Ao Prof. Dr. Rui Carlos Botter pela dedicação e orientação desde o início de minha trajetória no mestrado.

Aos meus pais, José e Joelza por acreditarem em mim e serem minha base e apoio em todos os momentos que resultaram na realização de mais esse sonho. A minha irmã Joana, por sempre me ouvir e apoiar.

Aos meus companheiros de trabalho e amigos, Tiago Novaes, João Netto, Rodolfo Silva e Suelen Ferrari pelas experiências, trocas de ideias, apoio e muitas risadas.

Aos amigos Daniel Mota, Afonso Celso Medina e Newton Narciso Pereira, pela colaboração intelectual, pela coorientação e por auxiliarem no meu crescimento profissional.

Aos eternos amigos: Bruna, Adelson, Franklin, Heloisa e Gustavo por torcerem incondicionalmente por mim e sempre estarem dispostos a me ouvir.

Ao Pedro Scrivano por todo o carinho e apoio incondicional e por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis e desafiadores dessa trajetória.

À Arlete, Cíntia e Ana Paula que me acolheram em São Paulo e se tornaram parte da minha família.

Ao Professor Rafael Buback Teixeira, grande incentivador e amigo.

A todos do Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária da USP, pelo suporte em todas as horas.

A todos da minha família, que sempre estiveram ao meu lado durante todos os momentos.

Ao Thiago Bispo Martins por acreditar na minha capacidade e pelo incentivo.

*“Mesmo as noites totalmente sem estrelas
podem anunciar a aurora de uma grande realização”*

Martin Luther King

RESUMO

O crescimento da demanda por minério de ferro e a necessidade de melhoria nos terminais portuários, forçaram os portos a pensar e criar alternativas que refletissem em aumento de capacidade. Assim como os portos, as cidades ao redor dos terminais cresceram e avançaram sobre o território portuário, dificultando e até mesmo impedindo expansões físicas. Pensar e recriar conceitos que envolvam melhorias em todo o sistema produtivo é ter um olhar inovador para o processo e oferecer soluções que permitam aumento de capacidade, utilizando os recursos já existentes.

No âmbito de se avaliar tais alternativas, foi utilizado um modelo de simulação de eventos discretos que possibilitou testar cenários de aumento de capacidade sem que para isso houvesse a necessidade de interferência na estrutura física, mas sim no tipo de produto movimentado e em mudanças nas atuais variáveis do sistema.

Palavras-chave: Terminal Portuário. Simulação. Aumento de capacidade. Portos saturados.

ABSTRACT

The iron ore demand and the need for improvement at the terminals forced the ports think and create alternatives that reflected in the incensement of capacity. In addition with this growth, the cities around the terminals have grown and start to break into the port territory, making physical expansions hard to implement. To think and recreate concepts involving improvements throughout the production system is to have an innovative look at the process and offer solutions to increase capacity, using the existing resources. In the context of evaluating such alternatives, it was used a discrete events simulation model that enabled testing scenarios of capacity increase without interference in the physical structure, but in the quantity of different products types in the terminal and also changings in the system variables.

Key-words: Port terminal. Simulation. Increased capacity. Saturated ports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Método de tomada de decisão	29
Figura 2: Evolução dos sistemas de simulação.....	34
Figura 3: Maneiras de se estudar um sistema	35
Figura 4: Metodologia de Simulação	37
Figura 5: Processo de Seleção do tipo de modelo.....	39
Figura 6: Etapas da modelagem de um problema	40
Figura 7: Descrição do tipo de navio versus sua capacidade de embarque.	45
Figura 8: Complexo Portuário de Tubarão	46
Figura 9: Píeres P1S, P1N e P2.....	47
Figura 10: Layout Pátio de Tubarão	48
Figura 11: Cadeia de Suprimentos do minério de ferro no Sistema Sudeste.....	48
Figura 12: Modelo conceitual.....	52
Figura 13: Desenho do Modelo conceitual	53
Figura 14: Representação da cadeia de minério de ferro da Vale	53
Figura 15: <i>Layout</i> do modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido em Arena®.....	59
Figura 16: Aba início da planilha eletrônica em Excel®	60
Figura 17: Layout do terminal de Tubarão dividido em áreas	66
Figura 18: Pátios e equipamentos – Áreas I e II.....	67
Figura 19: Pátios e equipamentos – Áreas III, IV e V.....	67
Figura 20: Pátios e equipamentos – Áreas VI e VII.....	68
Figura 21: Comportamento da média acumulada dos valores após 150 lançamentos de um dado não viciado.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aba Demanda.....	61
Tabela 2: Prioridade de atracação versus berço de atracação.....	62
Tabela 3: Classificação dos Navios	62
Tabela 4: Aba pátios	63
Tabela 5: Aba Operacional – configuração dos viradores versus pátios alocados	64
Tabela 6: Aba Operacional – configuração das empilhadeiras nos pátios correspondentes	65
Tabela 7: Equipamentos de pátio	68
Tabela 8: Capacidade dos pátios.....	68
Tabela 9: Aba Operacional - configuração do módulo Pelotização.....	70
Tabela 10: Aba Operacional – Módulo transferência entre pátios.....	71
Tabela 11: Aba Demanda Trens	72
Tabela 12: Aba Parâmetros Arena	73
Tabela 13: Aba Bloqueios – Módulo Rotas	74
Tabela 14: Aba Bloqueios - Módulo quebras	75
Tabela 15: Aba Bloqueios – Módulo Prioridade de rotas	76
Tabela 16: Tabela de validação do modelo de simulação – Dados de demanda.....	78
Tabela 17: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos navios.....	79
Tabela 18: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos píers e CN's	79
Tabela 19: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos viradores.....	80
Tabela 20: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos lotes.....	81
Tabela 21: Tabela de validação do modelo de simulação – dados das empilhadeiras e recuperadoras	82
Tabela 22: Tabela de validação do modelo de simulação – Giro de partição	84
Tabela 23: Tabela de validação do modelo de simulação – Giro de partição (continuação).....	85
Tabela 24: Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário A.....	87
Tabela 25: Perfil de frota	87
Tabela 26: Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário B.....	88
Tabela 27: Tabela de Resultados dos cenários A e B.....	90
Tabela 28: Resultados dos navios dos cenários A e B	91

Tabela 29: Resultados dos viradores de vagão dos cenários A e B	92
Tabela 30: Resultado dos equipamentos de pátio dos cenários A e B	93
Tabela 31: Resultado do giro de pátio dos cenários A e B.....	94
Tabela 32: Resultado do giro de pátio dos cenários A e B - continuação	95
Tabela 33: Descrição dos cenários de sensibilidade.....	96
Tabela 34: Resultados dos cenários de sensibilidade.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Granulometria do minério de ferro	20
Quadro 2: Desempenho das Exportações (em milhões de dólares).....	22
Quadro 3: Principais produtos exportados pelo Brasil.....	22
Quadro 4: Estimativa de produção de minério de ferro.....	23
Quadro 5: História do uso da simulação computacional.....	33

LISTA DE ABREVIações

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MIT - Massachusetts Institute of Technology

BPR – Business Process Reengineering

CN – Carregador de Navio

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO DE MINÉRIO DE FERRO	20
2.1	O MINÉRIO DE FERRO	20
2.2	O SETOR MINERALEIRO BRASILEIRO	21
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1	UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO EM SISTEMAS PRODUTIVOS.....	24
3.2	A SIMULAÇÃO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DO MINÉRIO DE FERRO	26
3.3	UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO	27
3.4	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	28
4.	CONCEITOS DE SIMULAÇÃO	31
4.1	HISTÓRIA DA SIMULAÇÃO	31
4.2	EVOLUÇÃO DA SIMULAÇÃO.....	32
4.3	CONCEITOS DE SIMULAÇÃO	34
4.4	MODELOS DE SIMULAÇÃO DISCRETOS E CONTÍNUOS	38
4.5	PROCESSO DE SELEÇÃO DO TIPO DE MODELO	38
4.6	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO	41
4.7	COMPARATIVOS DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO	42
4.8	O SOFTWARE ARENA®	43
4.9	ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE DADOS	43
5.	CONCEITUAÇÃO DO PORTO EM ESTUDO	45
6.	METODOLOGIA.....	50
6.1	MODELAGEM DO PROBLEMA.....	50

6.2	MODELO CONCEITUAL	51
6.3	MODELO CONCEITUAL MINA.....	54
6.4	MODELO CONCEITUAL FERROVIA	54
6.5	MODELO CONCEITUAL DESCARGA	55
6.6	MODELO CONCEITUAL PORTO.....	55
6.7	PRINCIPAIS SAÍDAS DO MODELO	58
7.	MODELAGEM COMPUTACIONAL	59
7.1	INTERFACE DE ENTRADA DE DADOS.....	60
7.2	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA	76
7.3	CENÁRIOS	86
7.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
7.5	CENÁRIOS ALTERNATIVOS.....	96
8.	CONCLUSÃO	98
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	100

1. INTRODUÇÃO

O surgimento das primeiras instalações portuárias brasileiras ocorreu na era colonial, quando as cidades-porto eram utilizadas como porta de entrada de colonos e produtos oriundos de Portugal, além de trazer escravos da África e embarcar produtos agrícolas. Essa prática do capitalismo mercantil inseriu o Brasil na rede de trocas da economia-mundo ocidental e foi representativa na formação do território nacional (MONIÉ, 2011).

Sabe-se que, atualmente, o crescimento da economia mundial está diretamente relacionado ao crescimento do setor portuário, visto que grande parte das mercadorias que circulam pelo mundo é transportada por navios e movimentada por portos (JULIÁ, 2010). No Brasil, cerca de 90% das mercadorias são exportadas através do sistema portuário, tornando a modernização e expansão desse setor algo de grande relevância para a economia brasileira (JULIÁ, 2010).

Com a desaceleração da economia Chinesa e a consequente diminuição das importações de minério de ferro por ela, o mundo vive hoje uma recessão quando se fala em exportação dessa commodity (ABCEM, 2014). O Brasil exporta cerca de 45% de todo o minério de ferro produzido em seu território para a China, segundo dados do IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2014), não sendo isento dos impactos advindos da desaceleração da economia no âmbito global. Apesar do cenário de recessão e queda do preço do minério de ferro, as grandes empresas globais investem fortemente no aumento da capacidade instalada de seus complexos produtores, reduzindo drasticamente os custos de produção para financiar tais investimentos (ABCEM, 2014).

As cidades que abrigam complexos portuários, ou seja, as cidades-porto, beneficiaram-se, e muito, do crescimento e desenvolvimento da economia advindos das instalações dessas empresas. Esse crescimento fez com que tais cidades avançassem sobre os portos, tornando suas expansões territoriais uma restrição irremediável.

Além disso, a zona portuária tornou-se uma área nobre, cara e com limitações de espaço e restrições de movimentação de carga. Assim, há o surgimento dos termos

Zona Primária e Zona Secundária como alternativa logística para a expansão dos portos.

Segundo a IBS Solution (2013), a Zona Primária corresponde a áreas terrestres ou aquáticas dos pontos de fronteira alfandegária (importação e exportação de mercadorias). Apesar de essa área possuir seus custos com valores competitivos e mais rapidez na liberação alfandegária no desembaraço de cargas, é nessa área que se encontram maiores custos de armazenagem e interferência de fatores externos como greves e fiscalização, entre outras desvantagens.

A Zona Secundária possui inúmeras outras vantagens como custo de armazenagem baixo, menor tempo de processamento das mercadorias, melhor visualização dos custos, diminuição de riscos, entre outros. No entanto, esta é uma zona geralmente afastada do porto, o que leva a desvantagens como custos de movimentação de carga e liberação alfandegária, conforme dados da IBS Solution (2013).

Além das discussões já apresentadas, existem outras características de igual relevância que devem ser levadas em consideração quando se fala em interferências em zonas portuárias.

A instalação ou mesmo a ampliação de um porto requer a autorização e legalização por parte de órgãos competentes, avaliando e determinando os procedimentos e ônus para a empresa solicitante. O Manual de Licenciamento ambiental instituído pela Lei Federal nº 6.938/1 define o licenciamento ambiental como sendo um:

“procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentadoras e as normas técnicas aplicáveis ao caso;”

Segundo Abreu e Oliveira (2015), o impacto produzido por um porto acarreta em um passivo ambiental significativo, visto que um porto necessita de uma extensa área de instalação que permita abrigar os berços de atracação, o chamado retroporto, áreas de transporte e logística, armazéns, entre outros. Além desse impacto, os autores ainda alegam a existência do impacto de profundidade, que é definido por eles como sendo a não coexistência de uma vegetação original natural em ambiente portuário.

O empreendedor também deve ser responsabilizado por todo e qualquer custo advindo das etapas do licenciamento ou custos incorridos ao órgão licenciador, conforme instituído pelo Manual de Licenciamento Ambiental, disponibilizado pela ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2015).

Com isso, os investidores de hoje buscam apenas a modernização dos equipamentos e instalações de seus ativos, mas sim o maior retorno sobre seu investimento, o ROI. Para isso, é necessário estudar e criar alternativas que maximizem a utilização de todo equipamento e infraestrutura existentes.

Diante da relevância dos fatos acima apresentados, e levando em consideração o cenário de recessão econômica mundial no âmbito da exportação do minério de ferro, no qual os investimentos devem ser rigorosamente planejados, é proposto neste trabalho pesquisar alternativas que permitam aumentar a capacidade de um porto com alta taxa de ocupação, sem que para isso haja a necessidade de intervenção em ampliação do porto ou em sua atual infraestrutura.

Por meio da utilização de técnicas de simulação de eventos discretos, será estudado, ao longo desse trabalho, o impacto, em termos de volume embarcado, sobre a alteração do mix de produtos praticados atualmente em um terminal portuário por um único produto. Também é proposta deste estudo analisar modificações nos equipamentos de pátio como repotenciamento de máquinas, troca por equipamentos mais eficientes, realocação de material nos pátios de destino e um estudo de quebras dos equipamentos, com a finalidade de ampliar as oportunidades de ganhos de capacidade em um terminal com alta taxa de ocupação.

Esta pesquisa visa utilizar um modelo bem detalhado de simulação de eventos discretos, o qual permita realizar modificações nas variáveis que irão compor este sistema e estudar o impacto das mesmas em termos de capacidade.

O objetivo geral deste estudo é pesquisar e analisar cenários previamente estruturados e verificar se a utilização de um 'produto único' é suficiente para aumentar a capacidade de embarque de minério de ferro em um terminal portuário específico, situado no estado do Espírito Santo. Como objetivos específicos, apresentam-se: pesquisar e estudar o funcionamento de um sistema portuário real; utilizar a metodologia de simulação para testar diferentes cenários, a fim de se entender o comportamento dos recursos e avaliar os impactos de modificações no

sistema em estudo; e, por fim, visualizar o comportamento dos recursos limitantes e instigar possíveis soluções.

O presente trabalho visa estudar e pesquisar o sistema portuário, não sendo alvo deste os demais sistemas que integram a Cadeia de Suprimentos do minério de ferro.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO DE MINÉRIO DE FERRO

Este capítulo tem por objetivo fornecer ao leitor respaldo para entender a relevância e complexidade do minério de ferro, bem como o panorama do mercado interno e externo que justifique a necessidade de estudos referentes ao seu sistema produtivo.

2.1 O MINÉRIO DE FERRO

A expansão e o crescimento mundial, liderados principalmente por países asiáticos, levaram a exploração e a produção do minério de ferro a um crescimento acentuado, dado que esse minério é um dos principais componentes do material mais utilizado no mundo: o aço (IBRAM, 2012).

As siderúrgicas utilizam como matéria-prima básica em seus processos industriais o minério de ferro granulado. Tem-se aqui o conceito de granulometria, que é uma medida da aglomeração de minério de ferro que possui faixas de tamanhos e nomes específicos para cada faixa, conforme apresentado no Quadro 1. Quanto mais aglomerado é o minério, maior é seu valor econômico. Essa característica é determinante para indicar a qualidade das reservas e jazimentos de exploração desse minério (ABM, 2008).

Quadro 1: Granulometria do minério de ferro

PRODUTO	FAIXA DE TAMANHO (mm)	APLICAÇÃO BÁSICA
"Lump" ou Granulado	6,3 a 31,7	Alto-Forno e Redução Direta
"Sinter Feed"	0,15 a 6,3	Agglomeração por Sinterização
"Pellet Feed"	< 0,15	Agglomeração por Pelotização

Fonte: ABM (2008)

A fim de se obter as características adequadas para comercialização, o minério de ferro pode passar por um processo de beneficiamento para adequar sua granulometria à faixa ideal de exportação. Porém, tal processo requer grandes montantes de investimentos e causa impactos ambientais significativos. A grande vantagem desse processo é que, assim, é possível adequar às características físico-químicas desejadas, agregando maior valor ao produto final (ABM, 2008).

2.2O SETOR MINERALEIRO BRASILEIRO

Sabe-se que o, de ferro é um elemento abundante na crosta terrestre, porém as jazidas deste mineral são concentradas apenas em alguns países (BNDES). O Brasil é considerado um dos três maiores produtores de minério de ferro do mundo, competindo com a China e a Austrália (IBRAM, 2012).

Assim, o Brasil encontra-se como o segundo maior exportador de minério de ferro do mundo, ficando atrás da Austrália (GENENA et al., 2015).

Quando o teor de minério de ferro é levado em consideração, o Brasil assume lugar de destaque por possuir minérios com concentração superior, se comparados aos demais países produtores. Pode-se encontrar aqui a Hematita (Pará), que possui 60% de ferro em sua composição, e o Itabirito (Minas Gerais) que possui 50% de ferro. Tais constituições tornam o minério brasileiro competitivo por possuir características favoráveis tanto em termos de volume quanto de qualidade (IBRAM, 2014).

Diante desta configuração geológica, a exportação do minério de ferro brasileiro está inserida na classificação de produtos considerados básicos ou primários, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Desempenho das Exportações (em milhões de dólares)

Desempenho das Exportações <i>Desempeño de las Exportaciones / Exports Development</i> US\$ Milhões / US\$ Millones / US\$ Million – 2014			
	Valor Value	Δ% 2014/13	Part % % Share
Exportação Total <i>Exportaciones Totales / Total Export</i>	225.101	-7,0	100,0
Básicos <i>Productos Primarios / Basics</i>	109.556	-3,1	48,7
Manufaturados <i>Manufacturas / Manufactured</i>	80.211	-13,7	35,6
Semimanufaturados <i>Semimanufacturas / Semimanufactured</i>	29.065	-4,8	12,9

Fonte: MDIC (2014)

O Quadro 2 aponta a representatividade de produtos primários nas estatísticas de exportações governamentais. O Quadro 3 apresenta a relevância das exportações de minério para a economia brasileira.

Quadro 3: Principais produtos exportados pelo Brasil

Principais Produtos Exportados <i>Principales Productos Exportados / Main Products Exported</i> US\$ Milhões / US\$ Millones / US\$ Million – 2014			
	Valor Value	Δ % 2014/13	Part % % Share
1 – Complexo soja / <i>Soja y derivados / Soybeans & prods</i>	31.408	1,4	14,0
2 – Minérios / <i>Minerios / Ores</i>	28.402	-19,0	12,6
3 – Petróleo e combustíveis / <i>Petroleo y combustibles / Oil and fuel</i>	25.175	12,4	11,2
4 – Material de transporte / <i>Transport material</i>	20.374	-35,5	9,1
5 – Carnes / <i>Meats</i>	16.891	3,8	7,5
6 – Químicos / <i>Chemicals</i>	15.051	2,8	6,7
7 – Produtos metalúrgicos / <i>Productos metalúrgicos / Metallurgic products</i>	14.423	8,8	6,4
8 – Açúcar e etanol / <i>Azúcar y etanol / Sugar & ethanol</i>	10.357	-24,5	4,6
9 – Máqs. e equipamentos / <i>Máqs. y aparatos / Machines & equipments</i>	8.671	-3,4	3,9
10 – Papel e celulose / <i>Papel y celulosa / Paper & pulp</i>	7.218	0,9	3,2
11 – Café / <i>Coffee</i>	6.616	26,1	2,9
12 – Calçados e couro / <i>Calzados y cuero / Footwear & leather</i>	4.287	10,8	1,9
13 – Equipamentos elétricos / <i>Aparatos eléctricos / Electrical equipment</i>	3.965	-7,5	1,8
14 – Metais e Pedras Preciosas / <i>Metales preciosos y piedras / Precious metals and stones</i>	2.817	-12,1	1,3
15 – Têxteis / <i>Textiles</i>	2.536	7,1	1,1

Fonte: MDIC (2014)

É possível observar, no Quadro 3, que os minérios representam 12,6% do total exportado pelo Brasil, o que torna a indústria e comercialização dessa *commodity* essencial para a economia brasileira.

Inserido no termo ‘minérios’ encontra-se o minério de ferro, que compõe cerca de 80% dessa estatística, conforme dados obtidos pelo IBRAM (2012).

Para suprir a demanda mundial, o Brasil conta com uma gama de empresas siderúrgicas que atendem o mercado interno e externo, tanto com a exportação do minério de ferro ‘in natura’ quanto beneficiado em pelotas. A Vale é a líder do mercado transoceânico na exportação dessa *commodity* brasileira com projeção de crescimento de suas exportações, conforme Quadro 4. A China é a maior cliente desse mercado (IBRAM 2012).

Quadro 4: Estimativa de produção de minério de ferro

Ranking	Empresa / Ano	2011	2012	2015	2016
1	Vale	311.800	360.000	425.000	425.000
2	CSN	20.100	30.000	89.000	89.000
3	Samarco	23.223	24.000	30.500	30.500
4	Ferrous Resources	-	3.000	23.000	40.000
5	Outros	-	-	15.000	20.000
6	MMX	7.500	13.000	42.500	42.500
7	Usiminas	6.300	12.000	29.000	29.000
8	Namisa	-	8.000	-	-
9	Anglo American	-	5.500	35.000	35.000
10	Mineração Corumbaense	-	5.000	10.000	10.000
11	V&M	-	5.000	5.000	5.000
12	Arcelor Mittal	-	4.300	15.000	15.000
13	Mhag	-	1.000	12.000	12.000
14	Bahia Mineração	-	-	20.000	20.000
15	Bemisa	-	-	2.000	5.000
16	Manabi	-	-	-	31.000
TOTAL		368.923	470.800	751.000	809.000

Fonte: IBRAM (2012)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é a etapa do projeto em que se fundamenta teoricamente o problema e como o autor irá tratá-lo. Por meio da análise da literatura existente, o autor da pesquisa deve fazer a estruturação conceitual que dará sustentação ao desenvolvimento do trabalho (SILVA; MENEZES, 2001).

O uso da técnica de simulação é bem difundido em trabalhos e artigos acadêmicos quando se trata do estudo da Cadeia de Suprimentos do minério de ferro, ou mesmo de parte dela.

Assim, Silva e Menezes (2001) afirmam que a revisão literária permitirá um mapeamento dos trabalhos já publicados sobre o tema e/ou problema em estudo.

Por isso, foi realizada uma busca na literatura existente com o objetivo de estudar e identificar técnicas para solução de problemas de aumento de capacidade em terminais portuários.

3.1 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Em todo o mundo podem ser encontradas diversas pesquisas e trabalhos voltados à utilização de simulação de eventos discretos ou o uso de software de simulação, como, por exemplo, o Arena®, como ferramentas de análise e apoio à decisão.

Duarte (2003) apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma proposta de modelo de simulação de uma célula de manufatura em lotes com o objetivo de estudar e solucionar problemas de demanda futura, além de determinar o melhor layout dessa célula, determinar a influência dos layouts estudados no lead time, contrapor os resultados simulados com os reais e, por fim, utilizar a ferramenta em apoio à tomada de decisões,

Franzese et al (2005) busca avaliar, por meio de de simulação, o impacto sofrido pelas linhas ou pontos de carregamento/descarregamento em terminais ferroviários dada uma mudança na infraestrutura. São apresentadas as ferramentas de simulação, bem como a descrição do experimento feita em uma rede ferroviária real. O autor conclui

seu trabalho afirmando que a ferramenta utilizada pode atender à maior parte das redes ferroviárias de cargas, mesmo com os aspectos individuais de cada empresa.

Fiorini (2007) desenvolve, em sua dissertação de mestrado, algoritmos e avalia técnicas que permitam modelar detalhadamente malhas ferroviárias com trens em ciclo fechado. Para isso, o autor desenvolveu um modelo de simulação que fosse capaz de representar a complexidade existente nas malhas ferroviárias brasileiras, levando em consideração aspectos de infraestrutura física e interação dos trens durante a circulação na malha. Assim, foi possível que o autor pudesse estudar especificamente tais interferências nos trens de ciclo fechado.

Betiatto (2013), baseado na metodologia de Chwif e Medina (2007), propõe, em seu artigo, a modelagem e simulação em um setor crítico de virabrequins em uma empresa nacional de componentes automotivos, utilizando um modelo de simulação de eventos discretos. O modelo foi capaz de analisar os pontos críticos e testar soluções para os recursos envolvidos, aumentando sua capacidade. O autor concluiu que o modelo de simulação demonstrou que é possível o ganho na produtividade com o aumento na vida útil de apenas uma ferramenta.

Cruz et al. (2011) desenvolveram um modelo de simulação utilizando o software Arena® com o objetivo de representar a taxa de desembarque de carvão no porto de Praia Mole, este pertencente à Vale, no município de Vitória, Espírito Santo. O modelo se mostrou uma ferramenta importante capaz de gerar informações relevantes sobre a operação. Foi possível verificar, com as rodadas de simulação, os impactos operacionais da aquisição de mais um equipamento ou sua parada e a variação do tamanho da fila dadas as modificações nos dados de distribuição da chegada de navios.

Botter et al. (2015) utiliza um modelo de simulação de eventos discretos para analisar a capacidade de exportação de minério de ferro do Terminal Portuário de Ponta da Madeira. Para isso, ele usa a metodologia de simulação de eventos discretos associada ao nível de serviço para testar cenários de aumento da capacidade deste terminal, sendo limitado pelo gargalo de ocupação dos berços.

3.2A SIMULAÇÃO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DO MINÉRIO DE FERRO

A simulação se tornou um método muito eficiente para o planejamento, projeção e controle de qualquer sistema. Hoje, já não é considerado mais o “último recurso” a ser utilizado como metodologia de solução de problemas de engenheiros, projetistas ou administradores, mas sim uma importante ferramenta.

Castro Neto (2006) apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma proposta de modelagem e simulação da cadeia produtiva de minério de ferro, utilizando como base dados de uma empresa mineradora brasileira (Samarco S/A). O autor buscou desenvolver um modelo de simulação que representasse o sistema produtivo de minério de ferro, que utiliza o modal aquático para distribuição de seus produtos, avaliando o comportamento de variáveis como a sequência da programação de produção, nível de estoque de segurança do sistema e mudanças na operação. O Objetivo ao final do estudo era obter a menor somatória de custos operacionais tais como os custos de manutenção de estoques, multas por sobreestadia e perdas de vendas.

Carneiro (2008) desenvolveu sua monografia de pós-graduação no circuito de minério TFPM no terminal portuário de Ponta da Madeira, o qual é de concessão da mineradora Vale. Por meio de simulação computacional, a autora buscou avaliar os gargalos e a ociosidade desse sistema, considerando, para isso, características operacionais e a infraestrutura atual, além das modificações sugeridas nos cenários de estudo. Para a autora, a simulação desses cenários é de suma importância, pois permite avaliar, otimizar e planejar as melhorias antes mesmo de implementá-las.

Juliá (2010) apresentou, em sua dissertação de mestrado, os resultados do desenvolvimento de um modelo de simulação baseados nas características de uma empresa de mineração situada no Espírito Santo, a Samarco S/A. A autora descreve como problema central em seu trabalho o aumento de capacidade de produção da empresa para 34 milhões de toneladas, sendo necessário, para isso, investimento em pátios de estocagem e área portuária. A análise foi realizada de forma integrada, visto que as operações no pátio de estocagem são complexas devido à possibilidade de alocação de múltiplos equipamentos como empilhadeiras, recuperadoras, *stack-reclaimer*, correias transportadoras e *shiploader*, além de variações das taxas de

embarque e estoques físicos. Estes podem sofrer influência de fatores como disponibilidade de equipamentos, variação de produção, conflitos operacionais, atrasos na chegada de navios e na operação. Para isso, o autor sugeriu uma combinação de modificações nos fatores de influência no pátio e no porto, utilizando a análise geral das principais variáveis de saída desse modelo para apresentar suas conclusões e resultados.

Meireles (2010) utiliza o método de simulação de Monte Carlos, no software Arena®, na modelagem da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) com o objetivo claro de responder perguntas do tipo *What If?* (o que ocorre se?) que métodos analíticos não são capazes de responder, tais como: O que ocorre quando se modifica o tamanho dos trens de minério, seu peso médio, a inclusão de ponto de carregamento intermediário na malha, limita-se o horário de funcionamento de um ponto de carregamento?, entre outros.

Ignacio e Lima (2013) desenvolveram um modelo de simulação de um porto genérico utilizando o software Simul8, no qual foi possível estudar o comportamento do estoque de minério de ferro e a utilização dos equipamentos neste processo. Os autores citam que as taxas de ocupação são medidas utilizadas por especialistas portuários para estabelecer metas operacionais. Assim, os autores se utilizaram de tais taxas para mensurar as estatísticas de análise de capacidade portuária do modelo.

3.3 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO-OTIMIZAÇÃO

Segundo Morito et al. (1999) existem problemas complexos, com certo grau de importância, que necessitam ser projetados, levando-se em conta a otimização de algumas metas.

De acordo com Ceciliano (2007), a combinação desses métodos de otimização e simulação se faz importante, pois, quando isolados, a complexidade da otimização não permite o direcionamento de soluções ótimas e eficientes para o problema. Assim, combinando um método da pesquisa operacional com ciências da computação, é possível integrar o método de simulação com métodos de otimização, o que satisfaz o problema em estudo.

Ceciliano (2007) ainda traz como proposta, em sua pesquisa, o uso da simulação-otimização com a finalidade de expandir a capacidade produtiva e melhorar a operação na cadeia de suprimentos do minério de ferro de uma empresa mineraleira, a Samarco S/A, por meio do auxílio à tomada de decisões de onde deve se concentrar os investimentos num horizonte de 5 anos. Para isso, foi criado um simulador com o objetivo de analisar cenários específicos de produção de aglomerado de minério de ferro da Samarco Mineração S/A.

Já o otimizador será utilizado para análise econômico-financeira dos cenários em estudo, como forma de apoio à tomada de decisões e investimentos por parte da empresa em estudo. Neste estudo, o Ceciliano (2007) utilizou de técnicas como modelagem matemática conceitual do negócio e de suas respectivas operações de produção do aglomerado de ferro, a simulação probabilística de eventos discretos e a programação linear, lançando mão de recursos como Microsoft Excel® (2003), Arena® e o Lingo.

3.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Quando se trata de solução de problemas complexos, o primeiro questionamento de um analista frente ao problema é: como resolve-lo? Qual o melhor método para chegar a solução?

Assim, a literatura propõe diversas alternativas para a solução desse tipo de problema, sendo estas por meio de soluções analíticas ou de simulação.

A Figura 1 (Harrington et al., 1991) propõe como deve-se escolher um método de solução de problemas dada certas orientações como: nível, análises e o método em si. Como o problema proposto por este trabalho é de caráter exato e a análise de modificações e seus consequentes ganhos operacionais são fundamentais para alcançar os objetivos propostos, a metodologia mais adequada a este estudo será a simulação, esta podendo ser de caráter estático ou dinâmico.

A simulação é uma metodologia que permite ao analista maior detalhamento do sistema modelado computacionalmente. Permite que as modificações nas

configurações dos dados de entrada possam ser vistas e rastreadas ao longo do sistema, o que não seria tão evidente no uso de soluções analíticas.

Figura 1: Método de tomada de decisão
Fonte: Adaptado de Harrington et al. (1992)

Assim, quando se fala em sistemas complexos com alto grau de detalhamento como o proposto por esse trabalho, a metodologia de simulação se faz uma ferramenta adequada para tal proposta.

A modelagem de um sistema é fundamental para a compreensão de todas as complexas relações existentes em qualquer processo empresarial. A modelagem deve ser desenvolvida desde o planejamento global do problema até a programação final, buscando a compreensão plena de todos os sistemas envolvidos no estudo.

Portanto, a modelagem de um problema real nada mais é que a quantificação de restrições de capacidades, financeiras, do mercado, de suprimentos, transporte, entre outras, com um único objetivo – como, por exemplo: aumentar lucro, diminuir custos, aumentar a capacidade produtiva, entre outros –, mas sempre buscando a melhor solução para a demanda em estudo.

Assim, a modelagem matemática tem a preocupação de descrever um sistema real, levando em consideração distribuições estatísticas que representem o sistema em estudo. Como a simulação concede ao usuário a percepção temporal dos eventos

modelados, isso permite que os modelos possuam um grau de complexidade que aproxime os resultados simulados de situações reais.

Portanto, é possível observar o emprego da utilização dessa técnica cada vez mais em níveis estratégicos e táticos do que operacionais, auxiliando os gestores em suas tomadas de decisão.

A revisão de trabalhos correlatos descritos neste capítulo teve por objetivo analisar a literatura existente, buscando como os autores empregaram o uso de técnicas de simulação em sistemas produtivos.

Pode-se perceber que grande parte dos trabalhos descritos neste capítulo tem objetivos gerenciais, ou seja, eles avaliam o impacto de modificação em um sistema real em ambiente computacional, analisando e quantificando os impactos advindos dessas mudanças, seja em termos de custos, ociosidade ou aumento de capacidade.

No âmbito da cadeia de suprimentos de minério de ferro, foi possível verificar diversas aplicabilidades de técnicas de simulação, ora para quantificar ganhos ou perdas, ora para apontar gargalos e ociosidades no sistema.

Assim, este trabalho busca, com auxílio das técnicas já desenvolvidas, pesquisar alternativas para ganho de capacidade em terminais com alta taxa de ocupação sem que para isso sejam necessárias grandes mudanças físicas e/ou estruturais.

4. CONCEITOS DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo, serão abordados conceitos de simulação que darão suporte teórico para o desenvolvimento do trabalho e modelagem computacional.

4.1 HISTÓRIA DA SIMULAÇÃO

A Simulação vem sendo usada desde o Império Romano, em 500 a.C., com a simulação de batalhas entre os exércitos vermelho e azul. Entre 1200 e 1600 d.C., na Renascença, foi utilizado por nomes como Leonardo Da Vinci em projetos e modelos físicos de ferramentas, tanques de guerra e artefatos voadores. Em 1400 d.C., no sul da Europa, utilizou-se o jogo de Xadrez para simular uma batalha entre dois exércitos (FREITAS FILHO, 2008).

Jonh Clerk, utilizando objetos sobre uma mesa, no ano de 1780, cria um simulador de táticas de guerra naval. No século XIX, o exército da antiga Prússia (atual Alemanha) utiliza os “War Games” empregando tabelas de cálculos, regras e mesa com objetos em seus treinamentos e simulações (FREITAS FILHO, 2008).

Em 1929, Edward Link cria o primeiro simulador de vôo nos Estados Unidos, o chamado “Link Flight Simulator” (FREITAS FILHO, 2008).

Já na Segunda Guerra Mundial, há o surgimento de simuladores numéricos envolvidos na construção da bomba atômica no Projeto Manhattan, no qual foram utilizados princípios do Método de Monte Carlo (FREITAS FILHO, 2008).

Já em 1972, surgem as primeiras linguagens de simulação tais como IBM, GPSS e Fortran. Evolui de 1982 a 1984 com os primeiros ambientes para a simulação em microcomputadores. E, de 1980 a 2008, com ambientes de simulação para praticamente todos os cenários, com a facilidade de modelar, analisar e avaliar (STRACK, 1984).

Em contrapartida, apenas a partir da década de 50 há o surgimento dos computadores, o que possibilitou que a modelagem de filas fosse analisada pelo

ângulo da simulação. Assim, não mais se utilizavam apenas fórmulas matemáticas, mas tentava-se, a partir deste ponto, imitar um sistema real (PRADO, 2004).

Ainda nessa época (pós-guerra), foi realizado um experimento onde se simulou os primeiros combates em computadores digitais, envolvendo um maior número de combatentes e mecanismos de defesa aérea. No MIT (Massachusetts Institute of Technology) surgem experimentos com simuladores conectados.

Em 1953, o MIT utiliza a simulação para operar radares e controlar armas com a veracidade de uma operação real.

4.2 EVOLUÇÃO DA SIMULAÇÃO

A técnica da simulação vem sendo utilizada desde os primórdios dos tempos onde os primeiros seres humanos, por meio das pinturas rupestres, simulavam suas caças e rituais com o uso de desenhos. (GAVIRA, 2003)

Naylor et al. (1971 apud GAVIRA, 2003) afirmam que a palavra simulação apareceu na documentação científica para descrever a antiga arte da construção de modelos, mas esta vem sendo utilizada, desde sempre, em suas mais diversas formas: das pinturas e esculturas renascentistas a modelos analíticos de processos mentais utilizados por cientistas.

A partir dos anos 50, com o surgimento dos primeiros computadores, “a ideia do Método de Monte Carlo foi estendida para solução de problemas probabilísticos de caráter mais geral, como é o caso das filas de espera. Nascia, assim, a simulação de Monte Carlo” (SALIBY, 1989 apud GAVIRA, 2003).

Gavira (2003) afirma que o desenvolvimento de computadores cada vez mais rápidos e baratos e o surgimento de problemas cada vez mais complexos, levam ao surgimento das primeiras linguagens computacionais de propósito geral, como podem ser vistas no Quadro 5:

Quadro 5: História do uso da simulação computacional

Anos	Ferramenta	Características do estudo de simulação	Exemplos
50 e 60	Linguagens de propósito geral	Aplicação em Grandes corporações; Grupos de desenvolvimento de modelos com 6 a 12 pessoas; Geram programas a serem executados em grandes computadores; Grandes investimentos em capital; Aplicáveis a qualquer contexto; Exigem conhecimento profundo da linguagem; Exigem muito tempo de desenvolvimento; Não são totalmente reutilizáveis.	FORTRA N,PASCA L e C.
70 e início dos 80	Linguagens de simulação	Utilização em um maior número de corporações; Desenvolvimento e uso dos pacotes de linguagens; Surgem linguagens de simulação baseadas em System Dynamics; Comandos projetados para tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns; Mais amigáveis, mas ainda requerem programador especializado.	SIMSCRI PT, GPSS, GASP IV, DYNAMO, SIMAN e SLAM
80 e início dos 90	Simuladores de alto nível	Introdução do PC e da animação; Presença de guias, menus e caixas de diálogos; Simulação realizada antes do início da produção; Facilidade de uso; Menos flexível que as linguagens de propósito geral e de simulação; Projetados para permitir modelagem rápida; Dispõem de elementos específicos para representar filas, transportadores etc.; Restringem-se a sistemas de certos tipos.	Simfactor y e Xcell
Após 90	Pacotes flexíveis de programas de simulação	Melhor animação e facilidade de uso; Fácil integração com outras linguagens de programação; Usada na fase de projeto; Grande uso em serviços; Uso para controle de sistemas reais; Grande integração com outros pacotes (base de dados e processadores de texto); Aprimoramento dos simuladores, o que permite modelagem rápida; Integram a flexibilidade das linguagens de simulação, com a facilidade de uso dos pacotes de simulação.	Witness, Extend, Stella, ProModel for Windows

Fonte: KELTON et al. (1998)

Os programas resultantes do uso de linguagem computacional de propósito geral mostraram características em comum que foram utilizadas no desenvolvimento de linguagens de simulação mais poderosas e eficientes (GAVIRA, 2003).

Chiwf e Medina (2015), no entanto, afirmam que os simuladores atuais possuem a capacidade de programação em alguma linguagem específica e que, embora esses simuladores tendam a minimizar a necessidade de programação, é necessária a introdução de alguma lógica mais específica (a não ser que o modelo em questão seja bem simples).

Figura 2: Evolução dos sistemas de simulação
Fonte: Chwif e Medina (2015)

4.3 CONCEITOS DE SIMULAÇÃO

A literatura apresenta diversas maneiras de conceituar as técnicas de simulação existentes. Mesmo assim, todos os autores convergem para o fato de que essa técnica é muito útil quando se fala em solucionar problemas complexos dentro das organizações.

Law e Kelton (1991) apresentam, na Figura 3: Maneiras de se estudar um sistema, uma maneira mais fácil para se compreender onde se insere o uso da simulação.

Figura 3: Maneiras de se estudar um sistema
 Fonte: Law e Kelton (1991)

Strack (1984) afirma que, ao se estudar um sistema, objeto ou fenômeno, o homem se depara com diversos obstáculos quando realiza esta análise em sua forma natural. Por isso, a representação por modelos é essencial, pois permite manipular e compreender as entidades estudadas por aspectos qualitativos e quantitativos.

O autor ainda afirma que “um modelo é a representação de um objeto, sistema, ou ideia em alguma outra forma que não da entidade em si.” (STRACK, 1984).

Prado (2004) define o conceito como: “Simulação é uma técnica de solução de problemas pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.”.

Para Chwif e Medina (2010), simulação é mais do que uma ferramenta de análise de problemas, ela proporciona maior compreensão sobre os sistemas, servindo para a comunicação das partes envolvidas na operação, tais como gerentes e analistas.

Por sistema entende-se “um conjunto de partes inter-relacionadas, as quais, quando ligadas, atuam de acordo com padrões estabelecidos sobre inputs (entradas) no sentido de produzir outputs (saídas)” (HARDING, 1972).

Prado (2004) afirma que dentre as técnicas disponíveis para a Modelagem de sistemas, destacam-se a Teoria de Filas e a Simulação. O autor define a Teoria de Filas como sendo um método analítico para resolução de problemas por meio de

fórmulas matemáticas. Já a Simulação (mais utilizada) é uma técnica que procura montar e representar um sistema a ser estudado em ambiente digital.

Chwif e Medina (2010) alegam que o campo de aplicação da simulação é muito amplo. Sua aplicação pode ser dividida em dois grandes setores: manufatura e serviços. Em serviços, pode-se observar a aplicação de técnicas de simulação em aeroportos e portos, bancos, cadeias logísticas, *call centers* ou centrais de atendimentos, escritórios ou BPR, hospitais, parque de diversões, restaurantes e cadeias de *fast-food* e supermercados.

Os autores ainda apontam que depois da área militar, a área de manufatura é a que mais emprega o uso de técnicas de simulação em seguimentos como: sistemas de movimentação e armazenagem, linhas de montagem, células automatizadas, problemas de programação de produção e análise de estoques.

Para a melhor compreensão da utilidade das técnicas de simulação, primeiro se faz necessária a compreensão dos tipos de modelos do mundo real.

Chwif e Medina (2010) dividem os modelos em 3 tipos: Modelos simbólicos, Matemáticos ou de Simulação.

Os modelos simbólicos (icônicos ou diagramáticos) representam um sistema estático, como uma foto, um ícone ou mesmo um fluxograma. São muito utilizados em documentação de projetos ou ferramenta de comunicação.

Os modelos matemáticos (ou analíticos) podem ser representados por um conjunto de fórmulas matemáticas nas quais se pode citar os modelos de Pesquisa Operacional ou Teoria de Filas. Esses modelos não possuem alto grau de complexidade, necessitando o desenvolvimento de hipóteses simplificadoras.

Já os modelos de simulação possuem maior complexidade dada sua característica dinâmica e sua natureza aleatória, podendo representar com mais fidelidade o comportamento dos sistemas reais em um ambiente digital.

Swaminathan et al. (1998) afirmam que a utilização de técnicas de simulação somente é viável para problemas onde a análise detalhada das alternativas para a solução se faz necessária, visto que uma interação complexa entre a cadeia de suprimentos e as entidades envolvidas não permitem o uso de soluções analíticas.

Este trabalho contemplará a metodologia de simulação abordada por Chwif e Medina (2010). Para os autores, o desenvolvimento de um modelo de simulação deve conter três grandes etapas, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Metodologia de Simulação
Fonte: Chwif e Medina (2010)

Na Figura 4 pode-se perceber a divisão em etapas da metodologia de simulação adotada pelos autores.

Segundo Chwif e Medina (2010), na etapa de concepção ou formulação do modelo, o analista deve, junto com especialistas, entender o cenário a ser estudado e decidir, com o escopo do modelo, as hipóteses e o nível de detalhamento. Feita a concepção, o analista deve representar o modelo desenvolvido em sua mente (modelo abstrato), por meio de alguma ferramenta de simulação em um modelo que outras pessoas envolvidas no projeto possam entender (modelo conceitual). Também é nesta etapa que os dados de entrada são coletados, lembrando que é de grande importância ter dados adequados alimentando o modelo.

Na próxima etapa, implementação do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo conceitual deve ser convertido em modelo computacional por meio da

utilização de alguma linguagem de programação. Para este estudo será utilizado o Arena® como sistema de simulação computacional.

Chwif e Medina (2010) ainda afirmam que se faz necessária a comparação entre os modelos conceitual e computacional com o intuito de verificar o atendimento ao que foi estabelecido na fase de concepção. De acordo com Chwif e Medina (2010) “[...] para a validação computacional, alguns resultados devem ser gerados, verificando se o modelo é uma representação precisa da realidade (dentro dos objetivos já estipulados)”.

Já na terceira etapa, a de análise dos resultados do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo computacional está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nessa etapa são realizadas várias “rodadas” do modelo e os resultados são analisados e documentados. A partir dos resultados podem ser feitas conclusões e recomendações. Caso o resultado obtido não seja satisfatório, o modelo é modificado e se reinicia o ciclo.

4.4 MODELOS DE SIMULAÇÃO DISCRETOS E CONTÍNUOS

Os autores Santos (1999) e Schriber et al. (2015) convergem ao abordarem sobre a simulação de eventos discretos, descrevendo-a como sendo a ocorrência de eventos ao longo do tempo, ou seja, as variáveis se modificam em pontos específicos ao longo da simulação.

Já na simulação por eventos contínuos, o sistema se altera em cada fração de tempo, ou seja, as variáveis se modificam continuamente ao longo do tempo simulado.

4.5 PROCESSO DE SELEÇÃO DO TIPO DE MODELO

Strack (1984) aponta uma metodologia de escolha de um modelo a ser utilizado em um dado estudo. O autor afirma que, uma vez constatada a real necessidade de se utilizar um modelo, deve-se primeiramente verificar se existe algum modelo-padrão

para ser utilizado ou adaptado ao problema em estudo. Caso não haja um modelo-padrão que satisfaça o problema, cabe ao profissional responsável pelo estudo decidir pela criação de um modelo analítico, de simulação, analógico ou físico. (Figura 5)

Figura 5: Processo de Seleção do tipo de modelo
Fonte: STRACK (1984).

O autor ainda afirma que a modelagem do sistema ocorre apenas se não existir um modelo de simulação já definido e implementado que seja adequado à solução do problema, conforme apontado pela Figura 6.

Figura 6: Etapas da modelagem de um problema
Fonte: STRACK (1984)

4.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO

As vantagens do uso da simulação foram citadas por autores como Saliby (1996), Banks (2000), Pegden et al. (1995) Law e Kelton (1991) como sendo:

- Modelos mais realistas;
- Processo de modelagem evolutivo;
- Perguntas do tipo “*What if?*”;
- Aplicação a problemas mal estruturados;
- Facilidade de comunicação;
- Soluções rápidas;
- Grande Flexibilidade;
- Aquisição de visão sistêmica;
- Escolha correta;
- Compressão e expansão do tempo;
- Exploração de possibilidades;
- Diagnóstico de problemas;
- Desenvolvimento de entendimento;
- Visualização de planos;
- Construção de consenso;
- Preparação para mudanças e análise de investimentos prudentes;
- Treinamento de equipes.

Já Freitas Filho (2008) cita em seu trabalho a reusabilidade, a facilidade de sua aplicação comparada a métodos analíticos e a fácil identificação de gargalos (essencial no gerenciamento operacional) como vantagens da utilização da simulação.

Um dos maiores problemas em um modelo de simulação, segundo Lima et al. (2015), está associado ao tempo e esforço envolvidos no desenvolvimento de um modelo específico com fidelidade ao sistema real e ao limitado reuso dos modelos de simulação já desenvolvidos.

Freitas Filho (2008) cita como outra desvantagem do uso da simulação a necessidade de um treinamento especial para a construção dos modelos, a dificuldade de

interpretação dos resultados e o alto dispêndio de tempo para a modelagem e a experimentação dos modelos de simulação.

4.7 COMPARATIVOS DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Silva (2006) afirma que diversos são os Softwares de simulação encontrados no mercado, uma vez que é crescente a popularidade de sua utilização em modelagem e análise de problemas em diversas áreas.

O autor ainda afirma que a seleção de um software é uma tarefa complexa, pois se deve levar em consideração alguns critérios como custos, familiaridade, funcionalidade, entre outros.

Para isso, Silva (2006) lança mão, em sua dissertação de mestrado, de diversas comparações de critérios para seleção do software realizado por alguns autores de relevância como, por exemplo, Banks, Daves e Williams e Hlupic e Mann.

O autor utilizou 3 softwares extensivamente aplicados em pesquisas na Escola Politécnica de São Paulo na área de simulação de eventos discretos com a finalidade de apresentar uma aplicação prática de seu estudo. São eles: o Arena, o ProModel e o @Risk (este desconsiderado ao longo da pesquisa por não contemplar todas as características consideradas como pré-requisitos pelo autor).

O Arena® foi citado pelo autor como sendo um software de eventos discretos que permite a “modelagem de diferentes sistemas, desenvolvimento de animações, análise estatística e de resultados”.

Já o ProModel é citado por Silva (2006) como sendo um software que permite “modelar diferentes tipos de sistemas, através de uma interface gráfica intuitiva e orientada a objetos, reduzindo, assim, a necessidade de programação”. O autor ainda afirma que tal ferramenta foi adotada mais notadamente nas áreas de saúde e serviços.

4.8 O SOFTWARE ARENA®

Lançado em 1993 pela empresa americana Systems Modeling, o Arena® veio para substituir outros dois produtos da mesma empresa até então utilizados no mercado – o SIMAN, lançado em 1982, e o CINEMA, lançado em 1984 (PRADO, 2004).

“O software Arena® representa a dinâmica do processo em um fluxograma hierárquico e armazena as informações do sistema em planilhas de dados” (BANKS et al., 2004).

Segundo Prado (2004), o Arena® utiliza na descrição do modelo real um conjunto de blocos (ou módulos) que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Dessa forma, simplifica-se o processo de construção do modelo, dispensando o uso do teclado e utilizando apenas o mouse como ferramenta de trabalho.

O presente trabalho utilizará a metodologia dos autores Chwift e Medina (2010) para a modelagem computacional do problema em estudo, utilizando para isso o software Arena.

4.9 ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE DADOS

Após a determinação das variáveis a serem pesquisadas, dar-se-á início à coleta dos dados necessários a sua descrição. (CRESPO, 2000)

Segundo Chwif e Medina (2010), “uma das etapas mais importantes na construção de um estudo de simulação diz respeito à modelagem dos dados de entrada”. Ainda afirmam que modelos probabilísticos tais como Normal, Beta, Erlang, Exponencial, Gama, Lognormal, Poisson, Triangular, Uniforme e Weibull podem aproximar a distribuição das variáveis aleatórias através de testes de aderência. (CHWIF; MEDINA, 2010). A partir da escolha das variáveis de entrada do sistema a ser simulado é que se dá início à coleta de dados (CHWIF; MEDINA, 2010).

Disposto dos dados a serem utilizados no sistema, é necessário que estes recebam um tratamento adequado de forma que se possa extrair as informações desejadas. Segundo Crespo (2000), os dados devem ser cuidadosamente criticados, à procura

de possíveis falhas e imperfeições, a fim de não incorrer em erros grosseiros ou de certo vulto, que possam influir sensivelmente nos resultados.

“Esta é a fase que extraímos as medidas de posição (média, mediana, moda, etc.) e de dispersão (variância, amplitude, coeficiente de variação e etc.) da variável aleatória em estudo” (CHWIF; MEDINA, 2010).

O teste de aderência tem por objetivo a verificação da qualidade na escolha da distribuição que se acredita melhor representar os dados da população. Uma vez que se tenha levantado uma hipótese sobre qual/quais distribuições teóricas são candidatas a representar os dados coletados; se tenha calculado a média e o desvio padrão da amostra e realizado as estimativas sobre os parâmetros da(s) distribuição(ões), passa-se à última das etapas referentes à análise e ao tratamento dos dados com vistas à modelagem e à simulação de sistemas.

5. CONCEITUAÇÃO DO PORTO EM ESTUDO

Em 1962, foi dado início à construção do Terminal Portuário de minério de ferro de Tubarão pela chamada Companhia Vale do Rio Doce (atual Vale). Através de seu idealizador, Eliezer Batista, tal projeto pioneiro acarretou em uma grande contribuição para um novo processo logístico de granéis sólidos e líquidos no mercado transoceânico mundial (VALE, 2015).

Inaugurado em 1996, o complexo de Tubarão contava apenas com um virador de vagões, uma empilhadeira e um carregador de navios, além de uma única rota de embarque. A partir de 1973, o Terminal Portuário de minério de ferro de Tubarão recebeu altos investimentos para atender à demanda mundial crescente por minério de ferro, revolucionando o mercado e incentivando empresas de transporte a investirem em navios com maior capacidade de carga.

Hoje, a Vale é a maior exportadora de minério de ferro no mercado transoceânico mundial, sendo o complexo de Tubarão capaz de receber navios de até 400.000 toneladas.

Sua frota de navios é bem variada em termos de porte, podendo ser compostas por navios do tipo Panamax, Capesize, Vloc, Valemax, entre outros que possuem as seguintes características de capacidade:

Denominação	Capacidade de Carga	Tipo
Handysize	10.000 - 40.000 tdw	Graneleiro
Handymax	40.000 - 60.000 tdw	Graneleiro
Panamax	60.000 - 80.000 tdw	Graneleiro / Tanque
Capesize	80.000 - 200.000 tdw	Graneleiro
Aframax	80.000 - 120.000 tdw	Tanque
Suezmax	120.000 - 200.000 tdw	Tanque
VLOC - Very Large Ore Carrier	> 200.000 tdw	Graneleiro
VLCC - Very Large Crude Carrier	200.000 - 320.000 tdw	Tanque
ULCC - Ultra Large Crude Carrier	> 320.000 tdw	Tanque

Figura 7: Descrição do tipo de navio versus sua capacidade de embarque.

Fonte: Pereira et al., 2013

Para o estudo e desenvolvimento deste projeto, foi escolhido um terminal portuário do Complexo de Tubarão localizado na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo. Os Terminais Portuários do Complexo de Tubarão são separados fisicamente pela rodovia São Geraldo. Estes terminais são compostos pelo Terminal de Praia Mole (TPM) e o Terminal de Tubarão (TU, TPD e TGL) conforme demonstra a Figura 8 a seguir.

Figura 8: Complexo Portuário de Tubarão
Fonte: Vale (2015)

O Complexo Portuário de Tubarão abriga equipamentos de grande porte que auxiliam no escoamento e movimentação de cargas a granel como, por exemplo, o minério de ferro, pelotas, calcário, manganês, carvão, coque, soja, farelo de milho, milho, dentre outros.

Este projeto contemplará, exclusivamente, o Terminal Portuário de Tubarão, TU, que abriga os píeres P1S (píer 1 Sul), P1N (píer 1 Norte) e P2 (píer 2), conforme Figura 9, responsáveis pela exportação do minério de ferro, Pelotas e Manganês.

Figura 9: Píeres P1S, P1N e P2
Fonte: Vale (2015)

O complexo de Tubarão, em estudo, é composto por oito usinas de pelotização, pátios de estocagem dos minérios provenientes das minas, pátios para os insumos que serão utilizados no processo de pelotização, área de descarga do minério (viradores) além dos píeres de atracação de navios e equipamentos associados a esses processos (empilhadeiras, recuperadoras, empilhadeiras/recuperadoras, descarregadores de navios, carregadores de navios, entre outros).

A Figura 10 apresenta o esquema do pátio do Complexo Portuário de Tubarão com os pátios existentes, usinas, píeres e rotas de correias transportadoras de minério de ferro.

As características de operação, bem como as interferências e demais variações no sistema, serão explanadas nos capítulos seguintes.

Figura 10: Layout Pátio de Tubarão
Fonte: Adaptado de Vale (2015)

Assim, tem-se o porto como parte fundamental da cadeia de suprimentos do minério de ferro, responsável pelo escoamento do produto que sai das minas e é exportado no mercado transoceânico. A Figura 11 contempla os principais elementos dessa cadeia de suprimentos.

Figura 11: Cadeia de Suprimentos do minério de ferro no Sistema Sudeste
Fonte: Meireles (2010)

A instalação (1) representa a mineração, passando pelas etapas de extração do minério de ferro, movimentação, beneficiamento, estocagem e expedição para a ferrovia. A partir de onze pontos de carregamento de minério de ferro, a mina é conectada com a EFVM – Estrada de Ferro Vitória Minas para o transporte do minério de ferro.

Já a instalação (2) representa o terminal de carregamento do minério de ferro, sendo aqui o local onde os vagões são carregados por meio de silos ou pás mecânicas, dependendo do porte do terminal.

A instalação de número (3) apresenta a EFVM, a qual é responsável pelo transporte do minério de ferro dos pontos de carregamento (2) até os mercados interno e externo. Ela também é responsável pelo transporte de vagões vazios para novo carregamento, ou no transporte de carvão para as siderúrgicas USIMINAS e AÇOMINAS, sendo assim nomeada carga de retorno. Os vagões utilizados neste transporte de carvão retornam para o carregamento de minério de ferro assim que estiverem vazios.

6. METODOLOGIA

A metodologia é a parte do trabalho na qual se deve estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. É aqui que o autor, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa para coletar e processar informações que tendem ao encaminhamento da solução. Assim, a metodologia em um trabalho acadêmico possui o propósito de comprovar sua validade e utilidade das técnicas utilizadas na construção do conhecimento (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Botter (2004) utiliza técnicas de simulação para tratar problemas grandes e complexos, em que há interação entre atividades que dificultam a modelagem analítica.

Assim, será apresentada nesse capítulo a metodologia utilizada para a elaboração conceitual e computacional do modelo de simulação de eventos discretos, alvo do presente estudo.

6.1 MODELAGEM DO PROBLEMA

Nesta etapa, será desenvolvido o modelo conceitual a fim de representar o sistema em estudo. Primeiro, deve-se construir o modelo abstrato, que está fortemente relacionado aos objetivos da simulação. Conforme Chwif e Medina (2010), abstrair significa identificar o que realmente é importante no sistema e trazer para o modelo.

Esta é a etapa da criação do modelo conceitual propriamente dito. Segundo Law (1991), citado por Chwif e Medina (2010), “a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação”. Nesta etapa, é importante investir tempo e esforço para criar um modelo rico de informações que possam traduzir da melhor forma possível o sistema real. É interessante que o modelo conceitual seja desenvolvido antes do computacional, pois, assim, aumentam-se as chances de sucesso do modelo, ou seja, o conceitual mostra “a capacidade do modelo de representar adequadamente a realidade do sistema” (CHWIF; MEDINA, 2010).

É importante que esse documento seja expresso em linguagem natural (nesse caso, português) e seja rico em informações como: Objetivos, Conteúdo, Entradas, Saídas, Hipóteses e Definições de rodadas. Esse conjunto de informações traz diversas vantagens, segundo Chwif e Medina (2010), como:

- Facilidade na correção do modelo conceitual, visto que mudanças no texto são mais fáceis do que mudanças nas lógicas ou elementos computacionais;
- Permite a subcontratação de quem desenvolverá o modelo, visto que está especificado de forma adequada;
- Torna-se um documento resgatável posteriormente;
- Resguarda a relação cliente/analista envolvidos na elaboração do modelo.

Na última etapa, tem-se o modelo computacional. Para traduzir o modelo conceitual em computacional, utiliza-se blocos correspondentes no Arena® ao que foi proposto no modelo conceitual. Para um melhor entendimento desse modelo, é necessário ter alguns conceitos bem sólidos antes de sua construção computacional (CHWIF e MEDINA, 2010).

6.2 MODELO CONCEITUAL

Como já relatado anteriormente pelos autores Chwif e Medina (2010), o modelo conceitual é uma etapa importante na modelagem de um sistema. Assim, a Figura 12 apresenta a proposta da autora como modelo conceitual do sistema produtivo em estudo.

Figura 12: Modelo conceitual

Fonte: A autora

A Figura 12 propõe a esquematização do modelo conceitual. Sua descrição será realizada ao longo deste capítulo. Tal modelo conceitual servirá de base para a modelagem computacional, sendo esta parte do trabalho indispensável para a concepção do projeto.

É aqui que será detalhado como cada componente do modelo deve funcionar e o que deverá gerar de estatística ao final das rodadas de simulação para validação e análise dos resultados obtidos.

A Figura 13 tem o objetivo de ajudar o leitor a visualizar, no âmbito real de um porto, o modelo conceitual proposto.

Figura 13: Desenho do Modelo conceitual
Fonte: A autora

Por se tratar de um terminal portuário complexo, cabe aqui evidenciar a delimitação deste estudo.

A Figura 14 apresenta toda a cadeia produtiva de minério de ferro da Vale. Nesta figura, são apresentadas, de forma simplificada, todas as etapas percorridas por esta *commodity*, desde sua extração nas minas até o cliente final.

Figura 14: Representação da cadeia de minério de ferro da Vale
Fonte: A autora

Dispostos dos modelos esquemáticos que compõem o Modelo Conceitual deste estudo, será apresentado, a seguir, o detalhamento de cada uma das etapas desse sistema.

6.3 MODELO CONCEITUAL MINA

Para a modelagem dos produtos das minas, será considerada a geração diária de cada produto de acordo com sua produção mensal. A massa total que deve ser gerada do produto será um dado imputado no modelo.

O modelo conceitual das minas utiliza as seguintes variáveis de entrada:

- Demanda anual de produção da mina que pode ser fracionada mês a mês;
- Curva de variabilidade dos produtos na mina;
- Índice de sazonalidade dos produtos durante o ano;
- Tipos de produtos despachados pela mina;
- Capacidade dos pátios da mina;
- Tempo de retenção dos produtos na mina;

6.4 MODELO CONCEITUAL FERROVIA

Já a modelagem da ferrovia é constituída por uma quantidade de lotes predefinidos, pelo usuário, que circulam de acordo com tempos de ciclo distribuídos aleatoriamente e informados pelo usuário na interface do modelo de simulação.

Os lotes ferroviários serão agrupados segundo número fornecido na interface e viajarão até o porto, sendo posicionados nos pátios de espera.

Os produtos terão o processo de geração de lotes iniciado pela data de chegada da embarcação, de modo que, todo o lote necessário para se carregar o navio esteja disponível nos pátios portuários até dois dias antes da chegada da embarcação. Note-se que esta é uma regra de geração de lotes, mas que o atendimento da embarcação, em até dois dias da sua chegada, só será possível se o sistema não apresentar filas substanciais.

O modelo conceitual utiliza os seguintes parâmetros de entrada para a ferrovia:

- Número de lotes disponíveis no sistema para cada ponto de embarque;
- Tempo de ciclo da ferrovia;
- Taxa de carregamento dos trens;

- Número de pontos de carregamento de trens;
- Capacidade dos lotes;
- Tempo de carregamento dos lotes;
- Número de pátios de espera;
- Número de agrupamento de lotes por trem;
- Tempo de antecedência de chegada dos produtos no pátio do porto.

6.5 MODELO CONCEITUAL DESCARGA

Na descarga, os produtos serão destinados aos pátios indicados pelo usuário, sempre procurando completar uma pilha antes de partir para uma nova.

Quando for iniciar uma pilha vazia, a regra procura distribuir o giro no pátio de modo sempre a preferir áreas menos utilizadas.

O modelo deverá considerar a capacidade estática de pátio disponível no porto e identificada para cada tipo de produto. O usuário do modelo deverá configurar cada tipo de pátio em função de sua capacidade estática (posição das balizas), bem como do tipo de produto recebido, associando-o a um conjunto de equipamentos de empilhamento disponível.

6.6 MODELO CONCEITUAL PORTO

Para o porto, o usuário deve fornecer uma demanda mensal e o modelo construirá a chegada mensal de navios, respeitando os limites fornecidos (note-se que isso não garante exatidão nem na carga mensal, nem na anual).

Cada navio gerado terá como atributos:

- Hora de chegada na barra;
- Produto;
- Carga(s) por produto(s);
- Número de porções por produto.

Todas as rotas possíveis entre os viradores e pátios, assim como entre pátios e carregadores de navios, serão modeladas como recursos com capacidade máxima fornecida na interface.

A cada rota também deverão ser fornecidos: a eficiência, disponibilidade intrínseca e as distribuições de paradas por quebras.

Ao chegar, o navio entra na fila de acesso ao berço de atracação. Contudo, em sua vez, o navio só é autorizado a atracar caso exista no pátio a sua carga pronta (em quantidade e no produto).

Se existe berço livre e a carga está disponível (em quantidade), o navio verifica, na ordem de preferência de berços, a disponibilidade de berço de atracação.

Se nenhum berço estiver disponível, ele aguarda na fila de navios. Caso contrário, ele é atribuído ao berço livre (mas ainda não é autorizado a manobrar em direção ao berço).

Satisfeitas as condições de acesso, ele navega até o berço atribuído, respeitando o respectivo tempo de navegação e atracação.

Vale a pena ressaltar aqui que a carga disponível para atracar é um critério de massa disponível, apenas, e não considera a disponibilidade de equipamentos, ou seja, essa condição não verifica se existem recuperadoras ou ER's (empilhadeiras/recuperadoras) disponíveis para operação.

Apenas quando o navio inicia a navegação rumo ao berço é que o seu tempo de espera em fila para de ser computado (adicionalmente, é computado também o tempo de espera em fila por acesso).

Quando um berço de atracação é liberado, ele verifica nas filas de navios se existe algum navio em espera para aquele berço. Em caso afirmativo, o navio é transferido para o respectivo berço, passando por todo o processo de acesso.

Quando o navio atraca no berço, ele aguarda um tempo de pré-operação daquele berço, fornecido na interface.

Em seguida, o CN do berço procura distribuir o giro do pátio, de modo sempre a preferir as pilhas menos utilizadas até o momento.

Os parâmetros de entrada para o porto são:

- Recepção:
 - Número de viradores;
 - Taxa nominal dos viradores;
 - Disponibilidade dos viradores;
 - Índices de manutenção dos viradores;
 - Taxa comercial dos viradores;
 - Número máximo de lotes por dia recebido no porto;
 - Tipos de produtos por lote;
 - Número de empilhadeiras;
- Armazenagem:
 - Capacidade estática dos pátios;
 - Posicionamento dos pátios versus equipamentos (empilhadeira e recuperadora);
- Recuperação:
 - Número de recuperadoras;
 - Disponibilidade das recuperadoras;
 - Índice de manutenção das recuperadoras;
 - Taxa nominal de recuperação;
 - Taxa comercial de recuperação;
 - Indicador de eficiência de embarque relativo ao tamanho da pilha;
- Embarque:
 - Intervalo de chegada dos navios;
 - Número de porões dos navios;
 - Carga demandada por navio;
 - Porte do navio;
 - Número de berços;
 - Número de CN's;
 - Taxas nominal e comercial do CN;
 - Tempos de pré e pós-operação;
 - Tempos de manobra dos navios, bem como atracação e desatracação;
 - Disponibilidade do CN;
 - Índice de manutenção do CN;

6.7 PRINCIPAIS SAÍDAS DO MODELO

As saídas do modelo servirão para a autora entender o comportamento do sistema e gargalos e realizar suas conclusões finais do estudo. Além disso, em caráter imediato, serão indispensáveis na validação do modelo em estudo.

As principais saídas para o modelo proposto são:

- Demanda anual atendida;
- Demanda anual descarregada nos viradores;
- Número de navios atendidos;
- Capacidade do sistema e níveis de serviço (taxas de ocupação de berço, taxa bruta do CN, taxa de ocupação dos equipamentos (porto e mina), *commitment*;
- Fila média dos navios;
- Número médio de navios em fila;
- Número de trens em fila;
- Tempo médio em fila dos trens;
- Tempos parados durante a hora calendário disponível;
- Taxas efetivas resultante das operações;
- Carga total resultante dos equipamentos;
- Giro dos pátios;

7. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Neste capítulo serão apresentados o modelo de simulação a ser utilizado, a verificação e validação dos dados de entrada que alimentarão este modelo.

A modelagem computacional nada mais é do que a tradução do modelo conceitual em alguma linguagem de simulação (CHWIF e MEDINA, 2010).

A Figura 15 apresenta o modelo de simulação de eventos discretos genérico já desenvolvido em Arena® (Botter et al, 2015), bem como todas as lógicas associadas.

Figura 15: Layout do modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido em Arena®

Fonte: Botter et al, 2015.

7.1 INTERFACE DE ENTRADA DE DADOS

Para que os cenários sejam construídos de uma forma rápida e fácil, foi utilizada uma interface de entrada de dados como apoio para o modelo de simulação.

Esta interface foi desenvolvida em ambiente de planilha eletrônica do Microsoft Excel® e sua utilização é simples e intuitiva, permitindo a construção e análise de diferentes cenários.

O modelo de simulação utilizado é um modelo genérico, possuindo flexibilidade para se modelar diferentes tipos de terminais portuários, modificando os dados de entrada na planilha eletrônica associada. Este modelo possui um tamanho de aproximadamente 11 MB e sua velocidade de processamento gira em torno de 2 a 3 minutos por replicação.

Para facilitar o uso, foi desenvolvida uma aba inicial com o nome do porto, localização, número de replicações, *warm-up* do sistema, duração da simulação em anos, entre outros, conforme Figura 16.

MODELO PORTO TUBARÃO

Parâmetros do Arena:	
Número de replicações:	3
Tempo de warm-up (dias):	365
Duração da simulação (anos):	10
Diretório dos arquivos de resultados:	Resultados
Animação (mais lento):	0 (=1, sim e =0, não)
Processa estoques diários:	0 (=1, sim e =0, não)
Embarque direto:	0 (=1, sim e =0, não)
% de embarques diretos realizados:	0
Utiliza arquivo de frota 2007:	0
Liga troca de modalidade?	0
Peneiramento?	1 (=1, sim e =0, não)
Pelotização?	1 (=1, sim e =0, não)
Roda automaticamente demandas?	0 (=1, sim e =0, não)

Detalhamento da simulação:	
Terminal:	Terminal de Tubarão
Local:	Vitória-ES
Cenário:	
Período simulado:	
Descrição:	

Figura 16: Aba início da planilha eletrônica em Excel®
Fonte: A autora

A próxima aba a ser alterada para configuração dos cenários em estudo é a aba Demanda, na qual são configurados os tamanhos dos navios e a demanda de cada produto movimentado no pátio em estudo, conforme apresentado na Figura 16.

Tabela 1: Aba Demanda

	Produto 2	Produto 3	Produto 5	Produto 10	Produto 11	Produto 12	Produto 13	Produto 17	Produto 18	Produto 20	DWT Min	40.000	60.001	80.001	100.000	150.000	180.000	290.000
											DWT Max	60.000	80.000	100.000	150.000	220.000	290.000	345.000
Total	Pelota 1	Pelota 2	Gran Limpo	SAFA	SFHT	SFOT	SSFT	Pellet Feed	Pellet Feed	Sinter Feed		HandyMax	Panamax	Small Cape	Cape	Large Cape	Very Large Cape	Chinamax
103.736.859	16.189.132	8.870.002	2.543.825	0	4.699.252	2.339.187	0	8.417.677	2.546.774	58.131.010								
5.057.591	5.057.591	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
980.465	980.465										100%		100%					
221.466	221.466										100%		100%					
221.947	221.947										100%			100%				
504.720	504.720										100%				100%			
2.213.490	2.213.490										100%					100%		
915.503	915.503										100%						100%	
25.068.831	10442245	0	0	0	0	113201	0	0	0	14.513.385								
584.031	584.031										100%							100%
168.150	54.949					113.201					100%					100%		
652.966	290.649									362.317	100%				100%			
9.848.749	4.165.452									5.683.297	100%					100%		
8.232.391	2.906.849									5.325.542	100%						100%	
5.582.544	2.440.315									3.142.229	100%							100%
7.950.878	449258	7064939	0	0	0	0	0	0	436681	0								
375.656	205.470								170.186		100%					100%		
510.283	243.788								266.495		100%						100%	
3.042.879		3.042.879									100%		100%					
788.223		788.223									100%		100%					
762.343		762.343									100%				100%			
2.471.494		2.471.494									100%					100%		
5.586.765	0	1805063	1011847	0	0	0	0	0	0	2769855								
690.660		385.447								305.213	100%	100%						
2.700.649		792.453								1.908.196	100%		100%					
1.183.609		627.163								556.446	100%			100%				
296.497			296.497								100%	100%						
71.993			71.993								100%		100%					
643.357			643.357								100%			100%				
3.667.400	0	0	1422608	0	0	751667	0	0	0	1493125								
324.857			324.857								100%				100%			
348.286			165.479			182.807					100%					100%		
1.639.078			681.039							958.039	100%					100%		
786.319			251.233							535.086	100%						100%	
50.600						50.600					100%	100%						
518.260						518.260					100%					100%		
5.011.240	0	0	0	0	0	1142091	0	0	0	3869149								
177.547						177.547					100%						100%	
529.051						247.066				281.985	100%					100%		
1.514.851						717.478				797.373	100%						100%	
780.678										780.678	100%		100%					
773.094										773.094	100%		100%					
1.236.019										1.236.019	100%			100%				

Fonte: A autora

Em seguida, deve-se indicar, na interface de entrada de dados, a prioridade de atracação dos navios nos berços, uma vez que esses berços de atracação podem receber navios de diferentes tamanhos. Assim, há a necessidade de indicar, dada uma condição de compartilhamento deste recurso, qual entidade tem prioridade caso haja um critério de empate (exemplo: chegada simultânea de 2 navios de portes diferentes que podem ser atendidos pelo mesmo berço de atracação), apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Prioridade de atracação versus berço de atracação

	Classe Navios 1	Classe Navios 2	Classe Navios 3	Classe Navios 4	Classe Navios 5	Classe Navios 6
	45.748	76.263	119.503	168.968	198.000	400.000
Pier 1S	1	1	2	0	0	0
Pier 1N	0	0	1	1	1	0
Pier 2	0	0	0	0	2	1

Fonte: A autora

O preenchimento é feito a partir dos píeres (linhas) em relação aos tamanhos dos navios (colunas), sendo o número 1 referente ao tamanho de navio com prioridade máxima no atendimento, 2 para uma prioridade menor e assim sucessivamente. As classes de navios possuem uma correspondência no tamanho, ou seja, a Classe Navio 1, apresentada na Tabela 2, é representada por navios de até 45.748 toneladas e possui apenas 1 píer que comporta atracação desse tamanho de navio – o píer 1S. Já a Classe Navios 3 possui 2 píeres que aceitam o mesmo tamanho de embarcação, porém, para este caso, a prioridade para esse range de navio é do píer 1N. Caso este esteja já ocupado com outra embarcação, esta deve seguir para o píer com a próxima sequência de prioridade (neste caso o píer 1S).

A Tabela 3 apresenta a variação no tamanho dos navios (em toneladas) para cada classe de navio atendida pelo porto em estudo.

Tabela 3: Classificação dos Navios

Classe	HandyMax	Panamax	Small Cape	Cape	Large Cape	Very Large Cape	Chinamax
DWT Min	40.000	60.001	80.001	100.001	150.001	220.001	290.001
DWT Max	60.000	80.000	100.000	150.000	220.000	290.000	400.000

Fonte: A autora

A próxima aba de preenchimento é a de disposição dos pátios de armazenamento do material movimentado. Para tornar o modelo mais detalhado, os pátios de

armazenamento foram subdivididos em balizas, ou seja, partições representadas por uma pilha de material, de forma a tornar o modelo mais realístico, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Aba pátios

Código da Partição	Pátio a que pertence	Capacidade Máxima (t)	Estoque Inicial (t)	Agrupamento de pátio	% considerado vazio	Produto Alocado	Status Inicial
A1	1	60.000	0	1	0	3	1
A2	1	60.000	0	1	0	3	1
A3	1	50.000	0	1	0	3	0
A4	1	50.000	0	1	0	3	0
A5	1	16.000	0	1	0	3	0
A6	1	16.000	0	1	0	3	0
A7	1	16.000	0	1	0	3	0
A8	1	16.000	0	1	0	3	0
A9	1	16.000	0	1	0	3	0
A10	1	60.000	0	1	0	5	1
B1	2	50.000	0	1	0	17	1
B2	2	50.000	0	1	0	20	1
B3	2	50.000	0	1	0	18	1
B4	2	17.500	0	1	0	17	0
B5	2	17.500	0	1	0	17	0
B6	2	17.500	0	1	0	17	0
B7	2	17.500	0	1	0	18	0
B8	2	17.500	0	1	0	18	0
B9	2	17.500	0	1	0	17	0
B10	2	17.500	0	1	0	17	0
C1	3	60.000	0	1	0	5	1
C2	3	50.000	0	1	0	17	1
C3	3	50.000	0	1	0	18	1
C4	3	17.500	0	1	0	5	0
C5	3	17.500	0	1	0	5	0
C6	3	17.500	0	1	0	17	0
C7	3	17.500	0	1	0	17	0
C8	3	17.500	0	1	0	18	0
C9	3	17.500	0	1	0	12	0
C10	3	17.500	0	1	0	17	0
D1	4	50.000	0	1	0	5	1
D2	4	70.000	0	1	0	3	1
D3	4	50.000	0	1	0	17	1
D4	4	40.000	0	1	0	3	1
D5	4	19.500	0	1	0	17	0
D6	4	19.500	0	1	0	5	0
D7	4	19.500	0	1	0	18	0
D8	4	19.500	0	1	0	17	0
D9	4	19.500	0	1	0	3	0
D10	4	19.500	0	1	0	3	0

Fonte: A autora

A primeira coluna é representada pelo Código da Partição, onde cada pátio (representados pelos algarismos 1, 2, 3, etc.) é subdividido em partições ou balizas que correspondem ao pátio associado (no caso das balizas A1 a A10, estas correspondem ao pátio 1).

A segunda coluna, Pátio a que pertence, representa o pátio correspondente do sistema em estudo. A coluna seguinte traz a Capacidade Máxima (em toneladas) de cada baliza do sistema. A quarta coluna é de Estoque Inicial (caso exista). A coluna subsequente, Agrupamento de Pátio, diz quando se pode utilizar 2 produtos diferentes no mesmo pátio. A coluna % (porcentagem) Considerado Vazio é, por sua vez, a fração na qual o modelo já considera o pátio como vazio.

A coluna de Produto Alocado traz o número correspondente ao produto alocado na aba Demanda, por exemplo, o produto de número 20 corresponde – conforme a aba Demanda – ao *Sinter Feed*.

Por fim se tem a coluna Status Inicial, configurada pelos status binário 0: pátio desligado; e 1: pátio ligado.

Na aba Operacional são inseridos todos os dados correspondentes aos dados operacionais de pátio e equipamentos. Nesta aba serão configurados os pátios e os viradores de vagão associados a cada pátio, bem como as empilhadeiras, recuperadoras, carregadores de navios e suas respectivas taxas nominais (Tabela 5).

Tabela 5: Aba Operacional – configuração dos viradores versus pátios alocados

DADOS OPERACIONAIS DOS PÁTIOS E EQUIPAMENTOS						
A) Pátio						
Ligação com virador (1 =						
Pátio	Status	Virador 1	Virador 2	Virador 3	Virador 4	Virador 5
A	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	1	1
D	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	1	1
F	1	1	1	1	1	1
G	1	1	1	1	1	1
H	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
J	1	1	1	1	1	1
P	1	1	1	1	1	1
UsinaVALE1 (pelota)	1	0	0	0	0	0
UsinaVALE2 (pelota)	1	0	0	0	0	0
Itabrasco (pelota)	1	0	0	0	0	0
Hispanobras (pelota)	1	0	0	0	0	0
Insumo UsinaVALE1	1	1	1	1	1	1
Insumo UsinaVALE2	1	1	1	1	1	1
Insumo Itabrasco	1	1	1	1	1	1
Insumo Hispanobras	1	1	1	1	1	1
Nibrasco V/VI (pelota)	1	0	0	0	0	0
Kobrasco (pelota)	1	0	0	0	0	0
Insumo NibrascoV/VI	1	1	1	1	1	1
Insumo Kobrasco	1	1	1	1	1	1
K (pelota)	1	0	0	0	0	0
L	1	1	1	1	1	1
M	1	1	1	1	1	1
FCTU	1	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Fonte: A autora

Na parte de equipamentos (Empilhadeira, Recuperadora e Carregadores de Navios) é realizada a associação de cada equipamento com o pátio em que atua e seu tipo (aqui se refere à taxa nominal associada a este tipo de equipamento).

Logo em anexo às linhas de configuração dos equipamentos, encontram-se as configurações das taxas nominais a serem utilizadas pelo tipo do equipamento associado (Tabela 6).

Tabela 6: Aba Operacional – configuração das empilhadeiras nos pátios correspondentes

B) Empilhadeira																																	
			Pátio 1	Pátio 2	Pátio 3	Pátio 4	Pátio 5	Pátio 6	Pátio 7	Pátio 8	Pátio 9	Pátio 10	Pátio 11	Pátio 12	Pátio 13	Pátio 14	Pátio 15	Pátio 16	Pátio 17	Pátio 18	Pátio 19	Pátio 20	Pátio 21	Pátio 22	Pátio 23	Pátio 24	Pátio 25	Pátio 26	Pátio 27	Pátio 28	Pátio 29	Pátio 30	
Prioridades por																																	
	Status	Tipo	A1 a A2	B1 a B12	C1 a C13	D1 a D9	E1 a E4	G5 a G7	G1 a G4	H1 a H3	H4 a H6	A3 a A6	D10 a D13	E5 a E8	E9 a E10	Pátio 15	Pátio 16	Pátio 17	Pátio 18	Pátio 19	Pátio 20	Pátio 21	Pátio 22	Pátio 23	Pátio 24	Pátio 25	Pátio 26	Pátio 27	Pátio 28	Pátio 29	Pátio 30		
Empilhadeira (EP04-6000 →8000)	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC01-6000→8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP01-6000→8000)	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC03-8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP02-6000→8000)	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC02-6000→8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira Recup (ER02-8000)	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira Recup (ER01-8000)	1	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC04-8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP03-16000)	1	3	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC05-8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira Recup (ER03-8000)	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC07-6000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC09-6000→8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP04-6000→8000)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP04-6000)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP10-6000)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP09-7200)	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC08-8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ponteira (FCTU)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
Retro Escavadeira (FCTU)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Empilhadeira (EP US04A-7200)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Recuperadora (RC US04A-8000)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Taxa (h/h)																																	
Tipo	Produto 1	Produto 2	Produto 6	Produto 7	Produto 8	Produto 9	Produto 10	Produto 11	Produto 12	Produto 13	Produto 14	Produto 15	Produto 16	Produto 17	Produto 18	Produto 19	Produto 20																
1	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000																
2	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000																
2	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000																

Fonte: A autora

A Figura 17 apresenta o *layout* do pátio de Tubarão dividido em áreas. É importante ressaltar que esta figura já apresenta as rotas de embarque (abordadas, a seguir, neste texto), bem como os pátios de materiais e os píeres utilizados no modelo proposto.

Figura 17: Layout do terminal de Tubarão dividido em áreas
Fonte: A Autora

As Figuras 18, 19 e 20, seguintes, apresentam os pátios simulados do terminal portuário em estudo, bem como os equipamentos alocados em cada pátio (e seus respectivos compartimentos) e também os viradores e as interligações entre equipamentos e pátio.

Figura 18: Pátios e equipamentos – Áreas I e II
Fonte: A autora

Figura 19: Pátios e equipamentos – Áreas III, IV e V
Fonte: A autora

Figura 20: Pátios e equipamentos – Áreas VI e VII
Fonte: A autora

A Tabela 7 apresenta o código de referência de cada equipamento de pátio (empilhadeiras, recuperadoras e ER), sua respectiva descrição (se o equipamento opera apenas empilhando, recuperando ou em ambas as funções) e a taxa nominal (em toneladas por hora) associada.

Tabela 7: Equipamentos de pátio

Equipamento	Descrição	Taxa Nominal (tph)
EP04	Empilhadeira	8.000
RC01	Recuperadora	6.000
EP01	Empilhadeira	8.000
RC03	Recuperadora	8.000
EP02	Empilhadeira	8.000
RC02	Recuperadora	6.000
ER02	Empilhadeira/Recuperadora	8.000
ER01	Empilhadeira/Recuperadora	8.000
RC04	Recuperadora	8.000
EP03	Empilhadeira	16.000
RC05	Recuperadora	8.000
ER03	Empilhadeira/Recuperadora	8.000
RCP7	Recuperadora	6.000
RCP3	Recuperadora	8.000
EPA2	Empilhadeira	8.000
EPA4	Empilhadeira	6.000
EP10	Empilhadeira	6.000
EP09	Empilhadeira	7.200
RCP8	Recuperadora	8.000
EE01	Empilhadeira Escrava	16.000
EE02	Empilhadeira Escrava	16.000

Fonte: A autora

Tabela 8: Capacidade dos pátios

Pátio	Capacidade
A	204.000
B	175.000
C	175.000
D	195.000
E	386.000
F	375.000
G	385.000
H	385.000
I	400.000
J	330.000
P	330.000
M	147.000
L	147.000
AA	150.000
AB	150.000
AC	75.000
AD	75.000
AE	110.000
AF	110.000
AH	300.000
AG	150.000
K	100.000
AI	210.000
AJ	105.000
Tamanho total	5.169.000

Fonte: A autora

A Tabela 8 apresenta a capacidade, em toneladas, de cada um dos pátios de estocagem (representado pelas letras da coluna esquerda). Cada um desses pátios é subdividido em balizas e o número de balizas pode variar dependendo do tamanho do pátio ou o tipo de produto alocado, somando, ao final, uma capacidade de 5 milhões de toneladas.

Tabela 9: Aba Operacional - configuração do módulo Pelotização

J) Pelotização												
	Pelotização ativada? (1=sim, 0=não) Pasta Início		1									
	Pelotizadora no.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Produtividade da Pelota I (t/h)		600	600	700	700	700	700	700			
2	Produtividade da Pelota II (t/h)		600	600	700	700	700	700	700			
	Coefficiente de variação da pelotização		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10			
4	Distribuição estatística da pelotização		5	5	5	5	5	5	5			
5	Matéria Prima da Pelota I		0	0	4	4	4	4	4			
6	Matéria Prima da Pelota II		6	6	0	0	0	0	0			
7	1 tonelada de MP para pelota I produz		0,926	0,926	0,926	0,926	0,926	0,926	0,926			
8	1 tonelada de MP para pelota II produz		0,926	0,926	0,926	0,926	0,926	0,926	0,926			
9	Produto referente a Pelota I		0	0	2	2	2	2	2			
10	Produto referente a Pelota II		3	3	0	0	0	0	0			
11	Quantidade de calcário utilizada na pelotização da Pelota I (%)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
12	Quantidade de calcário utilizada na pelotização da Pelota II (%)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
13	Ligada?		1	1	1	1	1	1	1			
	Número do produto relativo ao calcário	14	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0

Fonte: A autora

Outro módulo importante a ser ressaltado na aba Operacional, e representado pela Tabela 9, é a parte de pelotização. O terminal em estudo possui usinas de pelotização e um dos subprodutos de embarque para o consumidor final são as pelotas de minério de ferro. Aqui, a configuração se baseia em produtividade (em toneladas por hora), coeficiente de variação (adotado 0,10), distribuição estatística associada ao processo de pelotização (o número 5 corresponde a uma distribuição triangular), matérias-primas bases das duas pelotas a serem produzidas pelas usinas, perda de matéria sofrida pelo processo de pelotização, e qual o produto da aba Demanda representa o calcário (matéria-prima no processo de pelotização).

A Tabela 10 apresenta outro módulo da aba Operacional. Aqui são configuradas as transferências de cargas entre os pátios de produto no terminal portuário.

Tabela 10: Aba Operacional – Módulo transferência entre pátios

O) Transferência entre pátios										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ligada?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Pátio de Origem	12	13	14	15	1	1	20	4	21	29
Pátio de Destino	1	1	1	4	11	5	10	5	11	10
Média (tph)	3337	3337	3337	3337	3337	3337	4.632	4.632	4.632	3.337
Coeficiente de variação	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Tipo de distribuição	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fator de transferência Origem (%)	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Fator de transferência Destino (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Produto	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2

Fonte: A autora

Os dados da aba Demanda Trens, apresentados pela Tabela 10, são referentes aos dados de ferrovia que alimentam o pátio portuário. Nesta aba, são configurados parâmetros como capacidade (em toneladas) dos vagões, tamanho do lote (em número de vagões), capacidade da descarga (em milhões de toneladas/ano), se são lotes cheios (1: sim; 2: não), número máximo de trens por dia e o tempo (em horas) da manobra ferroviária correspondente a cada virador de vagões.

Tabela 11: Aba Demanda Trens

DEMANDA DOS TRENS																						
Dados Iniciais		Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	Produto 5	Produto 6	Produto 7	Produto 8	Produto 9	Produto 10	Produto 11	Produto 12	Produto 13	Produto 14	Produto 15	Produto 16	Produto 17	Produto 18	Produto 19	Produto 20	
		Sinter (Peneirado)	Pelota 1	Pelota 2	Pellet (Pelota)	Gran Limpo	0	0	Gran Sujo	0	SAFA	SFHT	SFOT	SSFT	Calcário	Min Manganês	Gran (não Peneirado)	Pellet Feed	Pellet Feed	0	Sinter Feed	
Capacidade média do vagão (t)	74	82,3	57,3	57,3	79,5	72,0	79,5		72,0		76,6	83,0	82,4	83,2	51,0		72,0	79,5	79,5		83,2	
Tamanho do lote (vagões)	84	51	51	56	56	56	56	51	51	51	63	63	63	63	51	51	51	65	65	62	63	
Número de lotes por trem (lotes/trem)	1																					
Número máximo de trens por dia (trens/dia)	100																					
Antecedência chegada trens (dias)	1	6	3																			
Capacidade máxima de descarga (Mta)	228,0	91,9	64,0	70,3	97,4	88,3	97,4	-	80,4	-	105,7	24,8	22,7	114,8	56,9	-	80,4	13,2	7,5	-	114,8	
Capacidade do lote (t)	6.247	4.195	2.923	3.209	4.450	4.030	4.450	-	3.670	-	4.826	5.229	5.191	5.242	2.599	-	3.670	5.165	5.165	-	5.242	
Perda de carga após o vv (%)		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Lote cheio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Número máximo de trens descarregados por dia (trens/dia)		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	13	12	60	60	60	60	7	4	60	60	
DISTRIBUIÇÃO TEMPO DE MANOBRAS FERROVIÁRIA (minutos)																						
	Status (pasta operacion al)	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	Produto 5	Produto 6	Produto 7	Produto 8	Produto 9	Produto 10	Produto 11	Produto 12	Produto 13	Produto 14	Produto 15	Produto 16	Produto 17	Produto 18	Produto 19	Produto 20	
Tempo (h) de manobra ferroviária do vv1	1	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	
Tempo (h) de manobra ferroviária do vv2	1	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	
Tempo (h) de manobra ferroviária do vv3	1	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	
Tempo (h) de manobra ferroviária do vv4	1	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	
Tempo (h) de manobra ferroviária do vv5	1	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	TRIA/18,25,80,33,54	IA/18,25,80,33	TRIA/18,25,80,33,54	

Fonte: A autora

Por fim, tem-se a aba Parâmetros Arena, apresentada na Tabela 12. Esta é uma aba de parâmetros gerais lidos pelo Arena®.

Tabela 12: Aba Parâmetros Arena

PARÂMETROS UTILIZADOS NO ARENA		
Parâmetro	Valor	Arena
Carga utilizada no loop de carregamento do navio (t)	15.000	carga_discreta
% de ocupação do CN a partir do qual não se pode utilizar uma segunda linha	99%	fator_ocupacao_cn
% da carga que deve estar disponível para aceitar que uma embarcação atraque	100%	fator_aceita_navio
Gera arquivo de log navios?	1	log_navio
Gera arquivo de log trens?	1	log_trem
Classe mínima para dar preferência de giro do CN	0	classe_min_seg_cn
Considera regra de limite de dwt para travessia simultânea do canal?	0	regra_canal
Limite de dwt para travessia simultânea (a 2a embarcação deve ter dwt <)	260.000	dwt_canal
% de ocupação da empilhadeira a partir da qual não se pode utilizar uma segunda linha	99%	tig
Carga discreta utilizada no fator de esvaziamento do pulmão	1.000	fator_esvaziamento_pulmao
Carga utilizada no loop de peneiramento (t)	200	fator_peneiramento
Carga utilizada no loop de pelotização (t)	5.000	fator_pelota
Gera arquivo log de demurrage?	0	log_demurrage
Fator de liberação do pátio ferroviário	99%	fator_ferrovia
Fator britagem?	0%	fator_brita2
Considera a fila de lotes na carga de pátio para navio?	0	considera_fila_lote
Liga preventiva?	0	fator_preventiva_vv
Modelo tem restrição de maré do tipo 1 (+lento)?	1	tem_mare
Dá preferência para o pier de menor índice caso CN compartilhado?	0	fator_preferencia_cn
Liga manutenção	0	fator_manutencao
Modelo tem restrição de maré do tipo 2 (+lento)?	0	fator_mare_tmpm
Usa tabela de marés no arquivo externo (=1) ou janelas da Pasta Prioridades (=0)?	0	fator_utiliza_tabua_mare
Gera arquivo de log do pier?	0	log_pier
Considera trens em trânsito para determinar a carga disponível?	0	considera_trem_transito

Fonte: A autora

A aba Bloqueios é o módulo responsável por incorporar ao modelo todas as rotas existentes para a circulação do minério de ferro, desde os viradores de vagão até o embarque nos navios pelos CN's.

Assim, esta é uma aba que requer um preenchimento mais cauteloso, pois um erro na configuração de uma rota específica pode gerar perdas em termos de volume embarcado ao final da operação. Como é uma aba um pouco mais extensa, será descrita de forma mais minuciosa a seguir.

A Tabela 13 apresenta a parte onde são inseridas todas as rotas existentes. Cada rota é subdividida em trechos de correia transportadora, que são identificadas por um código correspondente. O conjunto de trechos (descritos em cada linha) forma uma rota existente para o transporte do minério.

O Terminal Portuário de Tubarão apresenta um total de 593 rotas, sendo todas inclusas na modelagem computacional do sistema em estudo.

Tabela 13: Aba Bloqueios – Módulo Rotas

ROTAS																									
Ordem	Rota	Recurso 1	Recurso 2	Recurso 3	Recurso 4	Recurso 5	Recurso 6	Recurso 7	Recurso 8	Recurso 9	Recurso 10	Recurso 11	Recurso 12	Recurso 13	Recurso 14	Recurso 15	Recurso 16	Recurso 17	Recurso 18	Recurso 19	Recurso 20	Recurso 21	Recurso 22	Recurso 23	Recurso 24
1	581	RC04	D04	D05	D03	D12	D13	AM03	CN03																
2	582	RC04	D04	D05	D03	D12	D13	D15	AM03	CN04															
3	585	RC04	D04	D05	D09	D12	D13	AM03	CN03																
4	586	RC04	D04	D05	D09	D12	D13	D15	AM03	CN04															
5	591	RC05	D08	D10	D03	D12	D13	AM03	CN03																
6	592	RC05	D08	D10	D03	D12	D13	D15	AM03	CN04															
7	595	RC05	D08	D10	D07	D12	D13	AM03	CN03																
8	596	RC05	D08	D10	D07	D12	D13	D15	AM03	CN04															
9	636	VV01	G01	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	HIS																
10	637	VV01	G01	A01	A02	EP01																			
11	638	VV01	G01	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	ITB																
12	639	VV01	G01	C01	B03C	B03B	B03A	EP02																	
13	641	VV01	G01	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	USI																
14	647	VV02	G02	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	HIS																
15	648	VV02	G02	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	ITB																
16	651	VV02	G02	C01	B03C	1PA0	3PA1	EPA2	USI																
17	654	VV02	G02	F01	F03	F04	D01	EP03																	
18	657	VV02	G02	F01	F03	F04	D03	D12	D13	AM03	CN03														
19	658	VV02	G02	F01	F03	F04	D03	D12	D13	D15	AM03	CN04													
20	659	VV02	G02	F01	F03	F04	D01	EP03	EE01																
21	660	VV02	G02	F02	F06	3PA1	EPA2	HIS																	
22	661	VV02	G02	F02	F06	F03	F04	D01	EP03																
23	662	VV02	G02	F02	F06	3PA1	EPA2	ITB																	
24	665	VV02	G02	F02	F06	F03	F04	D03	D12	D13	AM03	CN03													
25	666	VV02	G02	F02	F06	F03	F04	D03	D12	D13	D15	AM03	CN04												

Fonte: A autora

Também se faz necessária a configuração das paradas corretivas e operacionais dessas rotas. Esta configuração é feita através de uma distribuição estatística associada ao tempo de duração da parada (chamada aqui de "quebra"), em horas, e o intervalo dessa parada, tanto para as quebras corretivas como operacionais, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Aba Bloqueios - Módulo quebras

CodRec	Recurso	Taxa nominal (tph)	CORRETIVAS	CORRETIVAS	OPERACIONAIS	OPERACIONAIS
			Duração (h)	Intervalo (h)	Duração (h)	Intervalo (h)
1	1PA0	6.000	0.0889+EXPO(0.2647)	EXPO(165.130666666667)		
2	3PA1	6.000	0.0551+LOGN(0.5898,1.1287)	EXPO(106.148571428571)		
3	3PP8	6.000	-0.2268+LOGN(0.8734,0.6180)	EXPO(135.886933333333)		
4	3PP9	6.000	0.3095+LOGN(1.0833,1.3037)	EXPO(103.20380952381)		
5	5PA1	8.000	NORM(0.2301,0.0863)	EXPO(1154.57523809524)		
6	5PA2	8.000	0.0187+LOGN(0.8292,1.2111)	EXPO(299.334320987654)		
7	5PA3	8.000	0.0794+LOGN(0.8257,1.7752)	EXPO(168.375555555556)		
8	6P10	8.000	0.0707+LOGN(1.0141,1.1106)	EXPO(74.0466666666666)		
9	6P16	8.000		EXPO(175200)		
10	6P17	8.000		EXPO(175200)		
11	6P9	8.000		EXPO(175200)		
12	A01	6.000	0.4597	EXPO(73.2388118811882)		
13	A02	8.000	0.0148+LOGN(0.8249,1.1613)	EXPO(102.96325203252)		
14	A04A	13.350	-0.0094+LOGN(0.9208,1.0382)	EXPO(128.445360824742)		
15	A2A	8.000	0.2000+EXPO(0.3740)	EXPO(516.095238095238)		
16	A2B	8.000	0.0750+LOGN(0.9791,1.5665)	EXPO(451.583333333334)		
17	A3C	16.000	0.7410	EXPO(289.866666666666)		
18	A3D	16.000	0.2333+EXPO(0.8595)	EXPO(424.158279569892)		
19	A3E	16.000	0.1367+LOGN(0.8794,1.2170)	EXPO(355.375855855856)		
20	A3F	16.000	0.0833+EXPO(0.5732)	EXPO(175200)		
21	AM01	13.350	0.0220+LOGN(0.3976,1.5200)	EXPO(462.978461538462)		
22	AM02	13.350	0.0119+LOGN(0.3472,1.4467)	EXPO(175200)		
23	AM03	20.000	-0.0002+LOGN(0.5500,1.2708)	EXPO(2449.86980392156)		
24	B01	8.000	0.0272+LOGN(0.6058,0.9916)	EXPO(146.054054054054)		
25	B03A	8.000	-0.0022+LOGN(0.8113,1.1486)	EXPO(85.392183908046)		
26	B03B	6.000	NORM(0.6988,0.4702)	EXPO(378.208)		
27	B03C	6.000	0.0037+LOGN(0.7423,1.0353)	EXPO(93.2201481481482)		
28	B03G	8.000	0.0502+LOGN(0.6688,1.1804)	EXPO(228.845432098766)		
29	B04	6.000		EXPO(175200)		
30	B05A	6.000	NORM(2.1667,1.1667)	EXPO(82.0266666666666)		
31	B06	6.000	0.0589+EXPO(0.8148)	EXPO(64.1576811594202)		
32	B14A	1.795		EXPO(175200)		
33	C01	3.800	0.0608+EXPO(0.7099)	EXPO(160.097610062893)		
34	C04A	13.350	-0.0388+LOGN(0.8906,0.9493)	EXPO(175200)		
35	C05	8.000	0.0833+EXPO(0.7943)	EXPO(62.4761904761904)		
36	C05A	8.000	-85.0970+LOGN(0.5333,0.0023)	EXPO(18.4213333333333)		
37	C06	8.000	NORM(0.8619,0.7462)	EXPO(174.270476190476)		
38	C2A	6.000	0.1248+LOGN(0.6992,1.4811)	EXPO(284.421052631578)		
39	C3C	16.000	0.1081+EXPO(0.4512)	EXPO(302.952888888888)		
40	C3D	16.000	NORM(0.7004,0.4798)	EXPO(407.028686868686)		
41	C3E	16.000	0.0342+EXPO(0.3694)	EXPO(706.944561403508)		
42	C3F	16.000	-0.0263+LOGN(0.7019,0.9381)	EXPO(175200)		
43	CN01A	13.350	0.0374+LOGN(0.7650,1.2935)	EXPO(136.631794871795)		EXPO(1)
44	CN02A	13.350		EXPO(175200)	NORM(0.5,0.1)	EXPO(1)

Fonte: A autora

Por fim, tem-se a parte onde é inserida a prioridade de cada rota associada, sendo configurada pela origem da rota, destino, número da rota à qual pertence (deve ser compatível com o código da coluna rota, apresentada na Tabela 13), carga suportada por esta rota e, caso haja mais de uma rota com mesma origem e destino, qual é a prioritária (Tabela 15).

Tabela 15: Aba Bloqueios – Módulo Prioridade de rotas

PRIORIDADE NAS ROTAS				
Origem	Destino	Rota	Carga	Ordem
ER01	CN03	782	2.466.723	1
ER01	CN03	786	1.176.525	2
ER01	CN04	783	2.536.869	1
ER01	CN04	787	1.365.316	2
ER01	CN01A	8618	517.350	1
ER01	CN01A	7455	473.297	2
ER01	CN01A	7457	348.199	3
ER01	CN01A	8620	214.364	4
ER01	CN02A	8619	742.705	1
ER01	CN02A	7456	596.016	2
ER01	CN02A	7458	398.227	3
ER01	CN02A	8621	343.250	4
ER02	CN03	2364	1.448.327	1
ER02	CN03	2366	23.779	2
ER02	CN03	2365	3.400	3
ER02	CN04	2367	1.674.199	1
ER02	CN04	2369	10.900	2
ER02	CN04	2368	2.998	3
ER02	CN01A	8800	654.318	1
ER02	CN01A	7637	627.036	2
ER02	CN02A	7638	1.072.019	1
ER02	CN02A	8801	934.289	2
ER03	CN03	5053	1.307.777	1
ER03	CN03	5065	545.852	2
ER03	CN03	5061	514.612	3
ER03	CN03	5057	450.631	4
ER03	CN04	5054	1.636.093	1
ER03	CN04	5066	646.126	2
ER03	CN04	5062	579.615	3
ER03	CN04	5058	523.586	4
ER03	CN01A	9152	342.776	1
ER03	CN01A	7989	333.919	2
ER03	CN01A	7991	146.975	3
ER03	CN01A	7993	138.454	4
ER03	CN01A	7995	135.631	5

Fonte: A autora

7.2 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

A etapa de verificação e validação de um modelo de simulação é importante por se tratar da averiguação da competência do modelo computacional em imitar virtualmente o cenário real. Assim, a verificação e validação do modelo serão responsáveis por responder se o modelo desenvolvido está correto e se seu desenvolvimento corresponde à realidade (CHWIF e MEDINA, 2010).

Sargente et al. (2015) afirmam que a validação do modelo é realizada através da comparação entre os resultados reais e os valores correspondentes às saídas do modelo (*outputs*). Os autores ainda afirmam que tal diferença deve obedecer a uma variação, de acordo com condições específicas já estabelecidas.

Segundo Chwif e Medina (2010), "(...) a validação está relacionada com o que será modelado, enquanto a verificação está relacionada com o modo como o modelo está sendo implementado".

Assim, a partir do modelo genérico, apresentado anteriormente, bem como da interface eletrônica dos dados de entrada, realizou-se a validação do modelo computacional para o Terminal Portuário de Tubarão através da coleta de dados públicos e algumas entrevistas parcialmente estruturadas.

Essa validação foi realizada através da comparação dos dados de *input* colhidos e na comparação dos valores reais com os valores gerados pelo modelo de simulação, conforme Tabela 10.

Note que a tabela é composta pela coluna Simulado, que traz os *outputs* do modelo de simulação; pelo intervalo de confiança, que é dado analiticamente considerando um erro de 5%; pela coluna Interface Vale, que são os dados reais do terminal em estudo; e pela diferença percentual entre os dados reais e os dados simulados.

O intervalo de confiança $100(1-\alpha)\%$ para a média da população é dado pela equação (Devore, 2000):

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad \text{ou} \quad \bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Onde:

$\bar{x}$ é a média da amostra;

$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do tamanho do intervalo de confiança (precisão);

$t_{n-1, \alpha/2}$ é o $(1 - \alpha / 2)$ percentil da distribuição de t de Student com $n - 1$ graus de liberdade;

s é o desvio padrão da amostra;

n é o número de dados da amostra.

Portanto, serão apresentadas, nas páginas seguintes, as tabelas contendo a comparação entre os dados reais do terminal portuário em estudo e a saída do modelo computacional em Arena®.

A Tabela 16 apresenta os dados referentes à demanda do Terminal Portuário de Tubarão. Tem-se aqui a demanda prevista de embarque, a demanda do que de fato foi carregado nos navios, a demanda prevista de embarque por produto e a demanda descarregada dos produtos provenientes das minas nos pátios do terminal.

Tabela 16: Tabela de validação do modelo de simulação – Dados de demanda

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Demanda				
Demanda total prevista no embarque (t)	104.072.039	170.149	104.067.805	0,004%
Demanda total embarcada nos navios (t)	104.006.084	556.455	104.038.323	0,031%
Demanda total prevista na descarga nos VVs (t)	108.069.140	306.773	107.990.147	0,073%
Demanda total descarregada nos VVs (t)	107.583.263	430.600	107.637.449	0,050%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 2	16.192.297	34.951	16.150.420	0,259%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 3	8.859.627	25.577	8.870.001	0,117%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 5	2.610.784	10.476	2.596.390	0,554%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 11	4.693.708	36.014	4.706.836	0,279%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 12	2.444.766	36.872	2.452.480	0,315%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 17	8.444.169	65.770	8.414.046	0,358%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 18	2.600.750	39.139	2.616.615	0,606%
Demanda (t) total prevista de embarque produto 20	58.225.938	22.181	58.261.016	0,060%
Demanda (t) total descarregada produto 4	19.070.557	84.851	19.067.756	0,015%
Demanda (t) total descarregada produto 6	9.575.411	27.106	9.547.228	0,295%
Demanda (t) total descarregada produto 8	3.269.970	37.726	3.234.086	1,110%
Demanda (t) total descarregada produto 11	4.701.646	16.728	4.706.681	0,107%
Demanda (t) total descarregada produto 12	2.442.846	43.702	2.452.459	0,392%
Demanda (t) total descarregada produto 17	8.428.324	16.213	8.413.785	0,173%
Demanda (t) total descarregada produto 18	2.589.769	28.560	2.616.359	1,016%
Demanda (t) total descarregada produto 20	57.504.740	343.223	57.599.096	0,164%

Fonte: A autora

A Tabela 16 apresenta os dados referentes à demanda do Terminal Portuário de Tubarão. Tem-se aqui a demanda prevista de embarque, a demanda do que de fato foi carregado nos navios, a demanda prevista de embarque por produto e a demanda descarregada dos produtos provenientes das minas nos pátios do terminal.

A Tabela 17 apresenta dados como: número de navios gerados, navios em fila, número de navios atendidos por classe, tempo médio e máximo em fila dos navios, e seus respectivos números médios de navio em fila.

Tabela 17: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos navios

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Navio				
Número de navios gerados durante a simulação	615	0	615	0,036%
Número de navios em fila ao final da simulação	11	21	7	57,143%
Número de navios atendidos da classe 1	3	1	4	22,222%
Número de navios atendidos da classe 2	134	7	132	1,406%
Número de navios atendidos da classe 3	65	8	65	0,342%
Número de navios atendidos da classe 4	62	4	63	1,421%
Número de navios atendidos da classe 5	125	9	124	0,805%
Número de navios atendidos da classe 6	226	8	227	0,603%
Tempo médio em fila dos navios (h)	124	16	84	46,754%
Tempo máximo em fila dos navios (h)	1.490	483	1.125	32,386%
Número médio de navios em fila	8,7	1	6	46,752%
Número máximo de navios em fila	37	8	24	55,556%

Fonte: A autora

Os píeres e carregadores de navios apresentam como *outputs* do modelo de simulação em estudo elementos como: taxa de ocupação de cada píer, taxa de ocupação média dos píeres, as taxas médias de carregamento (tanto dos píeres como dos CN's) e a demanda atendida por cada píer e CN, conforme indicado na Tabela 18.

Tabela 18: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos píeres e CN's

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Píeres e Carregadores de Navios				
Taxa média de ocupação dos píeres	81,7%	0,0%	78,4%	4,171%
Taxa média de ocupação dos CNs	59,4%	0,0%	55,8%	6,395%
Taxa de ocupação do Pier 1	78,9%	1,4%	77,9%	1,280%
Taxa de ocupação do Pier 2	77,4%	0,5%	75,7%	2,310%
Taxa de ocupação do Pier 3	88,9%	2,0%	81,8%	8,643%
Taxa de ocupação do CN 1	57,2%	88092,8%	56,0%	2,228%
Taxa de ocupação do CN 2	56,3%	53474,7%	56,1%	0,454%
Taxa de ocupação do CN 3	64,7%	154487,7%	55,5%	16,602%
Taxa média de carregamento no Pier 1 (tph)	1.533	21	1.577	2,8%
Taxa média de carregamento no Pier 2 (tph)	4.449	99	3.997	11,3%
Taxa média de carregamento no Pier 3 (tph)	8.120	145	9.316	12,8%
Taxa média de carregamento no CN 1 (tph)	1.901	26	1.974	3,7%
Taxa média de carregamento no CN 2 (tph)	5.503	148	4.854	13,4%
Taxa média de carregamento no CN 3 (tph)	10.042	211	12.363	18,8%
Tempo de espera pelo CN	0,0	0	0,0	0,0%
Demanda (t) atendida pelo berço 1	10.586.946	61.944	10.756.660	1,6%
Demanda (t) atendida pelo berço 2	30.176.006	513.562	26.497.368	13,9%
Demanda (t) atendida pelo berço 3	63.243.132	946.820	66.784.295	5,3%
Demanda (t) total atendida pelo CN 1	10.586.946	61.944	10.756.660	1,6%
Demanda (t) total atendida pelo CN 2	30.176.006	513.562	26.497.368	13,9%
Demanda (t) total atendida pelo CN 3	63.243.132	946.820	66.784.295	5,3%

Fonte: A autora

A Tabela 19 apresenta os dados relativos aos viradores de vagões. São apresentados nesta tabela, como *outputs* do modelo, saídas tais como a taxa média de ocupação dos viradores de vagão, a taxa de ocupação de cada virador utilizado no presente terminal portuário, a taxa de descarga no virador (em toneladas por hora), a quantidade descarregada no mesmo (em toneladas) e o tempo médio que o virador esperou algum equipamento ou pátio para descarga (em horas).

Tabela 19: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos viradores

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Viradores				
Taxa de ocupação média dos viradores	55,2%	0,2%	55,2%	0,2%
Taxa de ocupação do Virador 1	55,2%	0,2%	55,1%	0,2%
Taxa de ocupação do Virador 2	55,2%	0,2%	55,2%	0,1%
Taxa de ocupação do Virador 3	55,2%	0,2%	55,2%	0,1%
Taxa de ocupação do Virador 4	55,2%	0,2%	55,1%	0,2%
Taxa de ocupação do Virador 5	55,3%	0,2%	55,1%	0,2%
Taxa de descarga no Virador 1 (tph)	4.451	3,69	4.459	0,2%
Taxa de descarga no Virador 2 (tph)	4.445	12,49	4.453	0,2%
Taxa de descarga no Virador 3 (tph)	4.446	12,76	4.455	0,2%
Taxa de descarga no Virador 4 (tph)	4.446	6,29	4.460	0,3%
Taxa de descarga no Virador 5 (tph)	4.445	16,54	4.451	0,1%
Carga descarregada no Virador 1 (t)	21.525.696	0,00	21.533.897	0,0%
Carga descarregada no Virador 2 (t)	21.514.467	0,00	21.524.810	0,0%
Carga descarregada no Virador 3 (t)	21.514.733	0,00	21.537.367	0,1%
Carga descarregada no Virador 4 (t)	21.513.466	0,00	21.539.202	0,1%
Carga descarregada no Virador 5 (t)	21.514.902	0,00	21.502.173	0,1%
Tempo médio que um vv esperou por pátio ou máquina (h)	0,0	21,37	0,0	0,0%

Fonte: A autora

Os dados de saída do modelo, referentes aos lotes de produto que alimentam o terminal portuário, são apresentados na Tabela 20, na qual se encontram o número de lotes gerados, o número de lotes ao final da simulação, o tempo médio e máximo de espera no pátio, o tempo médio de retenção e descarga (em horas), e a média de trens na mina e no porto.

Tabela 20: Tabela de validação do modelo de simulação – dados dos lotes

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Lotes				
Número de lotes gerados na simulação	21.908	63	21.888	0,1%
Número de lotes em fila no pátio ao final da simulação	1.115	983	0	0,0%
Tempo médio de espera no pátio (h)	0	0	0	0,0%
Tempo máximo de espera no pátio (h)	0	0	0	0,0%
Número médio de lotes em fila no pátio	582	6	528	10,1%
Número máximo de lotes em fila no pátio	8	0	8	0,0%
Tempo médio de manobra ferroviária (h)	0	0	0	0,0%
Tempo médio de retenção (h)	2	0	2	0,1%
Tempo médio de descarga (h)	1	0	1	0,2%
média de trens na mina	1.411	11	1.464	3,6%
média de trens no porto	586	6	532	10,1%

Fonte: A autora

A Tabela 21 apresenta as saídas do modelo referentes às empilhadeiras e recuperadoras. Aqui têm-se valores correspondentes à ocupação média (em porcentagem), taxa média em toneladas por hora, carga total (em toneladas) das empilhadeiras e recuperadoras utilizadas nesse sistema.

Tabela 21: Tabela de validação do modelo de simulação – dados das empilhadeiras e recuperadoras

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Empilhadeiras e Recuperadoras				
Ocupação média da empilhadeira 1	19,90%	0,00%	22%	7,5%
Ocupação média da empilhadeira 3	13,71%	0,00%	14%	0,4%
Ocupação média da empilhadeira 5	6,49%	0,00%	6%	6,7%
Ocupação média da empilhadeira 7	21,95%	0,00%	21%	4,5%
Ocupação média da empilhadeira 8	26,97%	0,00%	30%	10,6%
Ocupação média da empilhadeira 10	53,26%	0,00%	52%	3,3%
Ocupação média da empilhadeira 12	29,33%	0,00%	31%	4,1%
Ocupação média da empilhadeira 15	21,25%	0,00%	21%	2,1%
Ocupação média da empilhadeira 16	34,41%	0,00%	35%	1,1%
Ocupação média da empilhadeira 17	19,43%	0,00%	19%	0,1%
Ocupação média da empilhadeira 20	8,57%	0,00%	8%	1,2%
Ocupação média da recuperadora 2	37,88%	0,00%	40%	6,3%
Ocupação média da recuperadora 4	22,52%	0,00%	17%	31,3%
Ocupação média da recuperadora 6	5,27%	0,00%	5%	13,1%
Ocupação média da recuperadora 7	28,70%	0,00%	22%	29,6%
Ocupação média da recuperadora 8	31,25%	0,00%	24%	29,6%
Ocupação média da recuperadora 9	58,08%	0,00%	49%	17,8%
Ocupação média da recuperadora 11	50,06%	0,00%	42%	20,2%
Ocupação média da recuperadora 12	34,33%	0,00%	27%	27,2%
Ocupação média da recuperadora 13	20,51%	0,00%	20%	2,7%
Ocupação média da recuperadora 14	37,92%	0,00%	37%	3,6%
Ocupação média da recuperadora 19	28,52%	0,00%	29%	0,4%
Taxa (tph) média de empilhagem 3	4.527,7	0,0	4.514	0,3%
Taxa (tph) média de empilhagem 5	4.650,3	0,0	4.649	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 7	3.048,2	0,0	3.102	1,7%
Taxa (tph) média de empilhagem 8	4.649,4	0,0	4.651	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 10	4.643,0	0,0	4.641	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 12	3.141,5	0,0	3.222	2,5%
Taxa (tph) média de empilhagem 15	4.354,9	0,0	4.354	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 16	4.354,9	0,0	4.354	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 17	4.354,2	0,0	4.354	0,0%
Taxa (tph) média de empilhagem 20	4.353,8	0,0	4.357	0,1%
Taxa (tph) média de recuperação 2	2.092,5	0,0	2.069	1,1%
Taxa (tph) média de recuperação 4	3.378,6	0,0	4.519	25,2%
Taxa (tph) média de recuperação 6	3.999,0	0,0	4.067	1,7%
Taxa (tph) média de recuperação 7	3.755,1	0,0	4.693	20,0%
Taxa (tph) média de recuperação 8	4.171,5	0,0	5.289	21,1%
Taxa (tph) média de recuperação 9	4.994,7	0,0	5.677	12,0%
Taxa (tph) média de recuperação 11	4.220,5	0,0	5.716	26,2%
Taxa (tph) média de recuperação 12	3.829,4	0,0	4.509	15,1%
Taxa (tph) média de recuperação 13	3.062,1	0,0	3.062	0,0%
Taxa (tph) média de recuperação 14	882,5	0,0	748	17,9%
Taxa (tph) média de recuperação 19	1.523,9	0,0	1.677	9,1%
Carga (t) total empilhadeira 3	5.438.255,6	4,0	5.401.378	0,7%
Carga (t) total empilhadeira 5	2.645.627,8	2,3	2.479.774	6,7%
Carga (t) total empilhadeira 7	5.856.925,7	6,2	5.708.787	2,6%
Carga (t) total empilhadeira 8	10.985.786,3	5,7	12.289.760	10,6%
Carga (t) total empilhadeira 10	43.321.069,5	14,1	41.920.552	3,3%
Carga (t) total empilhadeira 12	8.072.807,9	5,4	8.635.685	6,5%
Carga (t) total empilhadeira 15	8.106.251,9	5,6	7.940.778	2,1%
Carga (t) total empilhadeira 16	13.127.170,4	5,6	13.270.889	1,1%
Carga (t) total empilhadeira 17	7.412.546,3	0,4	7.403.317	0,1%
Carga (t) total empilhadeira 20	3.269.970,0	0,4	3.234.086	1,1%
Carga (t) total recuperadora 2	6.943.052,6	1,1	7.324.605	5,2%
Carga (t) total recuperadora 4	6.662.269,1	2,4	6.786.210	1,8%
Carga (t) total recuperadora 6	1.847.234,8	2,0	1.661.282	11,2%
Carga (t) total recuperadora 7	9.442.583,5	15,0	9.102.320	3,7%
Carga (t) total recuperadora 8	11.423.757,4	21,5	11.170.286	2,3%
Carga (t) total recuperadora 9	25.412.778,1	13,0	24.523.447	3,6%
Carga (t) total recuperadora 11	18.521.467,1	41,6	20.850.123	11,2%
Carga (t) total recuperadora 12	11.515.660,2	5,9	10.656.471	8,1%
Carga (t) total recuperadora 13	5.500.944,2	5,5	5.355.919	2,7%
Carga (t) total recuperadora 14	2.931.610,8	1,0	2.399.083	22,2%
Carga (t) total recuperadora 19	3.804.727,1	4,2	4.208.577	9,6%

Fonte: A autora

Por fim, tem-se as saídas referentes ao giro das partições. O giro das partições é caracterizado pelo número de vezes que cada partição ou baliza no pátio carregou e descarregou. A este ciclo carga-descarga é dada a referência 'giro'. Nota-se que nas Tabela 22 e Tabela 23, seguintes, há várias partições vazias. Por se tratar de um modelo genérico, a planilha de entrada de dados comporta um número de linhas suficiente para um porto com grande número de partições, o que não foi integralmente utilizado no terminal em estudo.

Tabela 22: Tabela de validação do modelo de simulação – Giro de partição

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença	Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Partições									
Giro da partição 1	2,0	120.000,0	1,0	100,0%	Giro da partição 51				
Giro da partição 2	49,1	2.945.892,1	50,8	3,4%	Giro da partição 52	61,1	4.276.361,3	61,3	0,4%
Giro da partição 3	49,8	2.489.110,9	56,2	11,3%	Giro da partição 53	60,1	4.205.425,1	60,9	1,4%
Giro da partição 4					Giro da partição 54	60,3	4.220.366,1	57,6	4,7%
Giro da partição 5					Giro da partição 55	10,4	730.559,5	10,7	2,3%
Giro da partição 6					Giro da partição 56	8,1	565.241,4	8,8	7,9%
Giro da partição 7					Giro da partição 57	7,6	530.655,2	9,2	18,0%
Giro da partição 8					Giro da partição 58	13,4	934.827,7	14,2	6,0%
Giro da partição 9					Giro da partição 59	7,7	574.849,4	8,1	5,3%
Giro da partição 10					Giro da partição 60				
Giro da partição 11	8,1	404.333,7	8,6	6,3%	Giro da partição 61				
Giro da partição 12	23,3	1.163.079,2	22,5	3,3%	Giro da partição 62	61,0	4.267.026,1	58,1	4,9%
Giro da partição 13	74,3	3.713.712,1	75,1	1,1%	Giro da partição 63	60,2	4.216.136,7	56,1	7,4%
Giro da partição 14	11,2	196.508,7	10,4	8,0%	Giro da partição 64	5,5	383.943,6	4,8	14,9%
Giro da partição 15					Giro da partição 65	4,7	331.839,0	3,8	23,2%
Giro da partição 16					Giro da partição 66	16,9	1.185.652,7	17,3	1,9%
Giro da partição 17					Giro da partição 67	60,5	4.231.626,8	58,9	2,7%
Giro da partição 18					Giro da partição 68	60,2	2.318.792,4	56,5	6,6%
Giro da partição 19					Giro da partição 69				
Giro da partição 20					Giro da partição 70				
Giro da partição 21					Giro da partição 71				
Giro da partição 22	8,8	439.674,3	9,0	1,9%	Giro da partição 72	60,5	4.235.351,4	61,5	1,5%
Giro da partição 23	20,9	1.044.667,0	19,0	9,7%	Giro da partição 73	30,3	2.123.355,9	31,6	4,1%
Giro da partição 24	11,2	195.370,5	10,9	2,2%	Giro da partição 74	4,4	308.191,1	4,0	10,2%
Giro da partição 25					Giro da partição 75	10,7	747.358,6	9,9	7,5%
Giro da partição 26					Giro da partição 76	17,8	1.249.163,0	18,6	4,2%
Giro da partição 27					Giro da partição 77	39,5	2.766.415,1	60,3	34,5%
Giro da partição 28					Giro da partição 78	5,5	210.951,7	4,6	17,9%
Giro da partição 29					Giro da partição 79				
Giro da partição 30					Giro da partição 80				
Giro da partição 31					Giro da partição 81				
Giro da partição 32	8,6	603.770,9	7,9	9,7%	Giro da partição 82	62,3	4.360.369,3	61,1	2,0%
Giro da partição 33					Giro da partição 83	62,1	4.350.178,7	59,7	4,2%
Giro da partição 34	20,9	834.203,2	19,6	6,3%	Giro da partição 84	7,6	535.487,6	7,9	3,7%
Giro da partição 35					Giro da partição 85	9,1	639.645,6	9,6	4,8%
Giro da partição 36					Giro da partição 86	18,3	915.624,8	19,2	4,8%
Giro da partição 37					Giro da partição 87	5,7	283.309,3	5,8	1,7%
Giro da partição 38					Giro da partição 88	5,5	272.596,7	5,8	5,8%
Giro da partição 39					Giro da partição 89				
Giro da partição 40					Giro da partição 90				
Giro da partição 41					Giro da partição 91				
Giro da partição 42	16,9	1.180.590,3	17,7	4,6%	Giro da partição 92	13,7	821.805,3	15,5	11,6%
Giro da partição 43	69,3	4.852.136,2	63,3	9,5%	Giro da partição 93	18,8	1.125.755,6	16,2	15,9%
Giro da partição 44	4,5	272.302,0	4,1	11,0%	Giro da partição 94	18,6	612.466,1	15,5	19,9%
Giro da partição 45	10,0	597.925,3	10,3	3,2%	Giro da partição 95				
Giro da partição 46					Giro da partição 96				
Giro da partição 47					Giro da partição 97				
Giro da partição 48					Giro da partição 98				
Giro da partição 49					Giro da partição 99				
Giro da partição 50					Giro da partição 100				

Fonte: A autora

Tabela 23: Tabela de validação do modelo de simulação – Giro de partição (continuação)

Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença	Índices	Simulado	IC	Interface Vale	Diferença
Partições									
Giro da partição 101					Giro da partição 151	11,3	337.930,2	11,9	5,1%
Giro da partição 102	11,6	384.382,0	11,2	4,3%	Giro da partição 152	11,4	340.736,7	12,5	8,8%
Giro da partição 103	11,7	385.775,0	11,6	0,8%	Giro da partição 153	11,0	331.145,9	11,9	7,0%
Giro da partição 104	11,6	381.929,1	11,3	2,9%	Giro da partição 154	11,2	337.376,2	12,2	7,7%
Giro da partição 105	11,6	383.399,8	12,0	3,2%	Giro da partição 155	11,5	345.584,0	11,7	1,1%
Giro da partição 106	11,8	388.488,1	11,7	0,4%	Giro da partição 156	11,4	340.692,6	11,7	3,2%
Giro da partição 107	11,7	384.726,0	11,9	1,9%	Giro da partição 157	11,6	348.589,4	12,1	3,8%
Giro da partição 108	11,8	388.654,7	12,1	2,6%	Giro da partição 158	118,1	3.543.915,4	116,7	1,2%
Giro da partição 109	11,7	385.864,6	11,0	6,4%	Giro da partição 159	20,8	624.073,9	21,0	0,9%
Giro da partição 110	11,5	378.773,6	11,0	4,6%	Giro da partição 160	20,5	615.757,3	21,7	5,6%
Giro da partição 111	11,8	176.256,7	11,6	1,2%	Giro da partição 161	20,9	627.758,3	21,4	2,0%
Giro da partição 112	61,7	925.266,3	61,5	0,4%	Giro da partição 162	20,6	413.286,8	20,9	1,5%
Giro da partição 113	60,3	904.562,3	59,8	0,9%	Giro da partição 163	32,9	658.761,5	33,6	2,2%
Giro da partição 114	58,4	876.290,8	58,9	0,8%	Giro da partição 164	33,0	660.739,3	33,6	1,8%
Giro da partição 115	57,9	867.801,0	58,6	1,2%	Giro da partição 165	33,4	669.144,8	34,3	2,7%
Giro da partição 116	57,1	856.243,1	57,2	0,2%	Giro da partição 166	33,2	665.518,9	33,9	2,0%
Giro da partição 117	61,5	922.927,3	59,8	2,9%	Giro da partição 167	33,1	661.955,8	34,4	3,8%
Giro da partição 118	59,9	898.023,0	59,5	0,7%	Giro da partição 168	32,4	648.950,5	32,8	1,2%
Giro da partição 119	59,1	886.482,0	57,7	2,4%	Giro da partição 169	32,6	652.572,2	32,9	0,9%
Giro da partição 120	57,7	864.856,4	57,3	0,6%	Giro da partição 170	33,2	664.095,9	33,5	0,9%
Giro da partição 121	57,7	1.269.213,2	57,8	0,1%	Giro da partição 171	33,5	669.199,3	33,7	0,8%
Giro da partição 122	25,7	564.869,5	24,9	3,1%	Giro da partição 172	32,9	657.840,2	33,3	1,3%
Giro da partição 123	24,6	541.178,2	24,0	2,5%	Giro da partição 173	65,1	1.301.851,9	65,2	0,2%
Giro da partição 124	24,9	548.128,3	24,5	1,8%	Giro da partição 174	65,1	1.302.016,5	65,3	0,3%
Giro da partição 125	24,9	547.599,9	24,5	1,7%	Giro da partição 175	65,0	1.300.205,7	65,4	0,6%
Giro da partição 126	24,8	546.667,5	24,5	1,4%	Giro da partição 176	65,0	1.300.370,3	65,3	0,5%
Giro da partição 127	25,3	557.198,9	24,6	2,9%	Giro da partição 177	65,1	1.301.851,9	65,2	0,2%
Giro da partição 128	25,0	549.004,6	24,2	3,0%	Giro da partição 178	27,6	2.759.090,8	26,2	5,3%
Giro da partição 129	24,9	548.782,3	24,6	1,3%	Giro da partição 179	27,1	4.069.193,7	26,3	3,2%
Giro da partição 130	25,1	551.854,2	24,1	4,1%	Giro da partição 180	27,0	4.043.912,0	26,0	3,8%
Giro da partição 131	24,9	436.163,5	24,1	3,3%	Giro da partição 181	27,2	0,0	26,8	1,6%
Giro da partição 132	23,9	417.638,4	23,1	3,3%	Giro da partição 182	27,0	0,0	26,4	2,5%
Giro da partição 133	23,3	232.999,7	23,7	1,7%	Giro da partição 183	26,5	1,6	26,6	0,1%
Giro da partição 134	25,8	451.958,9	25,6	0,8%	Giro da partição 184	26,4	0,7	25,9	1,9%
Giro da partição 135	23,4	410.056,9	23,0	1,8%	Giro da partição 185	26,4	0,9	26,7	1,3%
Giro da partição 136	23,4	234.035,7	23,4	0,1%	Giro da partição 186	26,6	1,1	26,7	0,7%
Giro da partição 137	26,0	519.758,5	25,6	1,5%	Giro da partição 187	26,7	0,9	26,2	1,7%
Giro da partição 138	29,4	588.056,3	28,9	1,7%	Giro da partição 188	26,4	0,3	26,3	0,4%
Giro da partição 139	29,7	595.308,1	28,3	4,9%	Giro da partição 189	26,7	1,0	26,6	0,2%
Giro da partição 140	29,9	598.110,0	29,5	1,3%	Giro da partição 190	26,3	1,0	26,5	0,7%
Giro da partição 141	28,9	579.650,8	29,7	2,5%	Giro da partição 191	26,6	0,3	26,4	0,7%
Giro da partição 142	30,3	606.350,7	28,8	5,2%	Giro da partição 192	26,1	0,3	26,5	1,2%
Giro da partição 143	29,7	594.813,7	28,7	3,5%	Giro da partição 193	26,5	1,0	26,6	0,3%
Giro da partição 144	29,7	593.824,8	28,7	3,3%	Giro da partição 194	26,4	0,3	26,3	0,6%
Giro da partição 145	29,9	597.945,2	29,0	2,8%	Giro da partição 195	26,6	1,0	26,6	0,2%
Giro da partição 146	29,9	598.110,0	28,9	3,5%	Giro da partição 196	26,5	0,6	26,4	0,7%
Giro da partição 147	29,5	885.763,1	29,0	1,8%	Giro da partição 197	8,7	0,1	8,6	1,1%
Giro da partição 148	11,5	345.371,7	12,3	6,5%	Giro da partição 198				
Giro da partição 149	11,0	331.166,3	11,8	6,7%	Giro da partição 199				
Giro da partição 150	11,4	342.904,7	12,1	5,4%	Giro da partição 200				

Fonte: A autora

É importante ressaltar, ao final da apresentação dos dados de saída, que, apesar da coleta de dados e da utilização de contatos com responsáveis por esses setores dentro do Terminal Portuário de Tubarão, alguns dados reais utilizados como *outputs* do modelo não foram parametrizados. Assim, assume-se que o valor gerado pelo modelo de simulação corresponde a um valor razoável em termos de dados reais. Outra observação importante é o fato de se tratar de um modelo genérico, apesar de filtrada as tabelas de saídas, muitas linhas de resultado encontram-se vazias, pois a interface eletrônica foi projetada para aderir às mais diferentes configurações de portos existentes.

Após a comparação dos dados simulados com os dados reais dispostos nas tabelas de comparação, pode-se observar que os resultados provenientes do modelo de simulação são bem aderentes aos dados fornecidos pelo terminal em estudo, comprovando a validação do modelo, ou seja, o modelo computacional reflete com fidelidade o comportamento real do terminal portuário em estudo.

Assim, considerou-se o modelo verificado e validado.

7.3 CENÁRIOS

Foram definidos, como cenários para o teste do produto único no Terminal Portuário de Tubarão, dois cenários básicos, um sem e outro com o produto único. Serão utilizados os mesmos dados de entrada para ambos os cenários de forma que, ao final da simulação, seja possível uma comparação entre eles e a visualização do ganho pela troca do produto. A demanda a ser modelada é a de 123 milhões de toneladas por ano, conforme dados do PDL de 2018, fornecido pela empresa Vale em estudo. Todos os cenários foram rodados 10 replicações de 10 anos cada.

Cenário A: Cenário sem produto padrão, com input de demanda de 123 Mtpa e pátio de estocagem de 5 Mtpa.

A Tabela 24 apresenta a demanda dos produtos a serem simulados nesse cenário.

Tabela 24: Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário A

Produto 2	Produto 3	Produto 15	Produto 16	Produto 17	Produto 18	Produto 19	Produto 20
Pelota 2 (AF)	Pelota 3 (RH e RM)	Pelota AF50	Granulado sujo	Pellet Feed (Omã) PFPT	Pellet Feed PFPT	SSFT	SFHT
20.000.000	15.363.932	2.640.000	2.200.000	12.741.799	15.300.000	33.900.000	21.000.000
20.000.000	15.363.932	2.640.000	2.200.000	12.741.799	0	0	0
	615.000			12.741.799			
	14.748.932						
20.000.000			2.200.000				
		2.640.000					
0	0	0	0	0	15300000	33.900.000	21.000.000
						33.900.000	21.000.000
					15.300.000		

Fonte: A autora

A Tabela 25 apresenta o perfil de frota a ser utilizado em ambos os cenários de estudo. É importante ressaltar que para ambos a frota é composta apenas de navios Small Cape, Cape Size, uma pequena parcela de Large Cape e Valemax.

Tabela 25: Perfil de frota

	HandyMax	Panamax	Small Cape	Cape	Large Cape	Very Large Cape	Valemax
	0	1	1	1	1	1	1
100%							100%
100%			100%				
100%			84%	16%			
100%				100%			
100%				100%			
100%				100%			
100%				9%			91%
100%				9%			91%
100%					9%		91%

Fonte: A autora

Cenário B: Cenário com produto padrão, input de demanda de 123 Mtpa e pátio de estocagem de 5 Mtpa.

Como citado anteriormente, o perfil de frota permanece o mesmo para ambos os cenários, sendo apenas modificada a demanda dos produtos, conforme apresentado pela Tabela 26.

Tabela 26: Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário B

Produto 2	Produto 3	Produto 10	Produto 15	Produto 16	Produto 17
Pelota 2 (AF)	Pelota 3 (RH e RM)	Produto padrão	Pelota AF50	Granulado sujo	Pellet Feed (Omã) PFPT
20.000.000	15.363.932	70.200.000	2.640.000	2.200.000	12.741.799
20.000.000	15.363.932	0	2.640.000	2.200.000	12.741.799
					12.741.799
	615.000				
	14.748.932				
20.000.000					
				2.200.000	
			2.640.000		
0	0	70.200.000	0	0	0
		21.000.000			
		33.900.000			
		15.300.000			

Fonte: A autora

7.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados de entrada do modelo, foram simulados os cenários A e B com 10 replicações de 10 anos cada.

Kelton e Sadowski (1998) disseram que entradas aleatórias implicam em saídas aleatórias, portanto, não se pode tirar conclusões da simulação com uma única replicação. Sendo assim, é importante que se rode o modelo de simulação para um período de tempo adequado e uma quantidade de replicações que dê um resultado dentro do seu intervalo de confiança, que é um intervalo de valores que contém a média da população, com uma certa probabilidade, e quanto maior for a probabilidade, maior a confiança estatística de que a média da população esteja ali representada.

Como, por exemplo, em um lançamento de dados de seis faces não viciado, a média dos valores obtidos deveria ser 3,5, no entanto, se não for realizado um número de replicações necessárias, essa média não será representada no resultado final. A Figura 21 mostra o comportamento da média acumulada dos valores obtidos após 150 lançamentos desse dado. Como a primeira parte da figura mostra, a média dos primeiros 50 lançamentos sofre influência do comportamento inicial do sistema, que é o regime transitório; já a segunda parte da figura pertence ao regime permanente.

Figura 21: Comportamento da média acumulada dos valores após 150 lançamentos de um dado não viciado

Fonte: Chwif e Medina, 2015

Para Netto (2012), podem ser destacadas algumas vantagens em modelos de simulação de eventos discretos: a possibilidade de avaliar rapidamente a efetividade das estratégias propostas; facilidade para detalhamento de um sistema complexo (sendo possível levar em consideração um grande número de restrições e especificidades); melhor compreensão de quais variáveis têm real influência no sistema analisado; facilidade em identificar os “gargalos” do sistema; e uma representação bastante aproximada do cenário real.

Além disso, o autor afirma que em simulação de eventos discretos não é necessário fazer grandes simplificações do sistema real que, em linhas gerais, são adotadas para a resolução de modelos analíticos, que utilizam programação matemática.

O modelo de simulação de eventos discretos, desenvolvido nessa dissertação, permite avaliar os efeitos sobre os estoques quando o sistema é submetido às restrições de oferta de produto e capacidade de carregamento.

A Tabela 27 apresenta os resultados gerais da simulação dos dois cenários de estudo. A primeira linha (destacada em amarelo) é resultante da demanda atendida por cada píer, dividido por seu respectivo *commitment*, ajustado a uma taxa de 95% de ocupação. Por *commitment* se entende a soma de todos os tempos de operação do píer dividida por 8.760 horas (1 ano em horas).

Tabela 27: Tabela de Resultados dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Demanda Ajustada a 95% de ocupação (t)	t	131.489.275	139.033.492
Demanda total embarcada nos navios (t)	t	117.035.647	123.982.328
Demanda total descarregada nos VVs (t)	t	125.854.844	130.941.036
Demanda			
Demanda total embarcada nos navios (t)	t	117.035.647	123.982.328
Demanda total descarregada nos VVs (t)	t	125.854.844	130.941.036
Demanda (t) total descarregada produto 4 - Pellet para 2	t	20.863.616	22.723.896
Demanda (t) total descarregada produto 6 - Pellet para 3	t	19.672.636	20.131.552
Demanda (t) total descarregada produto 10 - Produto Padrão	t	0	70.495.948
Demanda (t) total descarregada produto 16 - Granulado sujo	t	2.250.000	1.937.500
Demanda (t) total descarregada produto 17 - Pellet Feed PFPT	t	12.282.000	12.965.100
Demanda (t) total descarregada produto 18 - Pellet Feed PFFT	t	14.917.800	0
Demanda (t) total descarregada produto 19 - Pellet Feed SSFT		32.885.400	0
Demanda (t) total descarregada produto 20 - Sinter Feed	t	20.346.112	0
Demanda (t) total embarcada produto 2 - Pelota 2 (AF e AS)	t	18.589.642	20.168.826
Demanda (t) total embarcada produto 3 - Pelota 3 (RH e RM)	t	14.913.598	15.448.340
Demanda (t) total embarcada produto 10 - Produto Padrão	t	0	70.543.253
Demanda (t) total embarcada produto 16 - Granulado sujo	t	2.011.855	2.106.275
Demanda (t) total embarcada produto 17 - Pellet Feed PFPT	t	11.863.829	12.989.066
Demanda (t) total embarcada produto 18 - Pellet Feed PFFT	t	14.458.607	0
Demanda (t) total embarcada produto 19 - Pellet Feed SSFT	t	32.675.928	0
Demanda (t) total embarcada produto 20 - Sinter Feed	t	20.045.941	0

Fonte: A autora

Pode-se notar que, no cenário do produto padrão, a demanda embarcada, apenas deste componente, representa aproximadamente 57% do total embarcado ao final da simulação, sendo que os outros 43% são divididos pelos demais produtos.

É importante observar, também, que os produtos 4 e 6 são matérias-primas para a produção das pelotas 2 e 3 nas usinas deste terminal portuário, sendo que toda essa matéria-prima é consumida no sistema.

A Tabela 28 apresenta os dados relativos aos píeres, as classes de navios utilizadas e as estatísticas dos carregadores de navios presentes nesse sistema.

Tabela 28: Resultados dos navios dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Navio			
Tamanho médio do navio atendido no P1S (t)	t	98.363	101.158
Tamanho médio do navio atendido no P1N (t)	t	153.791	152.495
Tamanho médio do navio atendido no P2 (t)	t	374.550	373.823
Número de navios gerados por classe Small Cape	navios	132	131
Número de navios gerados por classe Cape	navios	208	210
Número de navios gerados por classe Large Cape	navios	8	8
Número de navios gerados por classe Valemax	navios	201	202
Número de navios atendidos por classe Small Cape	navios	131	130
Número de navios atendidos por classe Cape	navios	195	212
Número de navios atendidos por classe Large Cape	navios	8	8
Número de navios atendidos por classe Valemax	navios	190	202
Demanda (t) atendida por classe Small Cape	t	12.872.004	13.048.519
Demanda (t) atendida por classe Cape	t	29.834.831	32.471.661
Demanda (t) atendida por classe Large Cape	t	1.484.964	1.481.712
Demanda (t) atendida por classe Valemax	t	72.468.864	77.121.269
Tempo médio em fila dos navios (dias)	dias	6,9	8,2
Número médio de navios em fila	unidades	10,6	12,4
Número de navios gerados durante a simulação	unidades	549	551
Número de navios em fila ao final da simulação	unidades	22	15
Piéres e Carregadores de Navios			
Commitment P1S (%)	%	82%	81%
Commitment P1N (%)	%	73%	73%
Commitment P2 (%)	%	91%	92%
Número de Navios atendidos - P1S	unidades	131	130
Número de Navios atendidos - P1N	unidades	195	212
Número de Navios atendidos - P2	unidades	198	210
Taxa de ocupação do P1S (DTR-ATR) (%)	%	74%	57%
Taxa de ocupação do P1N (DTR-ATR) (%)	%	66%	61%
Taxa de ocupação do P2 (DTR-ATR) (%)	%	85%	77%
Taxa média de carregamento sobre o (DTR-ATR) P1S (tph)	tph	1.984	2.616
Taxa média de carregamento sobre o (DTR-ATR) P1N (tph)	tph	5.219	6.034
Taxa média de carregamento sobre o (DTR-ATR) P2 (tph)	tph	9.997	11.601
Taxa média de carregamento no CN 1 (tph)	tph	2.780	3.352
Taxa média de carregamento no CN 2 (tph)	tph	4.707	5.560
Taxa média de carregamento no CN 3 (tph)	tph	11.143	13.236
Ocupação efetiva de operação no P1S (h)	h	53%	45%
Ocupação efetiva de operação no P1N (h)	h	73%	66%
Ocupação efetiva de operação no P2 (h)	h	76%	68%
Demanda embarcada P1S (t)	t	12.885.503	13.150.604
Demanda embarcada P1N (t)	t	29.989.258	32.328.943
Demanda embarcada P2 (t)	t	74.160.886	78.502.781

Fonte: A autora

Como os dados de entrada para todos os equipamentos e perfil de frota para ambos os cenários são idênticos, os resultados relativos a números de navios gerados e atendidos, demanda, estatísticas de *commitment* e ocupação dos píeres apresentaram números bem próximos. Já em relação à taxa de ocupação dos berços, nota-se que os píeres relativos ao cenário com produto padrão possuem uma menor

taxa de ocupação, o que permitiria um maior número de navios atendidos, caso houvesse um aumento na demanda inicial.

A Tabela 29 apresenta as estatísticas referentes aos viradores de vagão. É interessante ressaltar que os viradores de vagão também apresentam folga nas estatísticas de ocupação, o que permitiria uma absorção no aumento de demanda, caso necessário.

Tabela 29: Resultados dos viradores de vagão dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Viradores			
Número de Viradores		5	5
Taxa de ocupação do Virador 1	%	51%	53%
Taxa de ocupação do Virador 2	%	51%	52%
Taxa de ocupação do Virador 3	%	52%	54%
Taxa de ocupação do Virador 4	%	52%	54%
Taxa de ocupação do Virador 5	%	52%	54%
Taxa de descarga no Virador 1 (tph)	tph	5.787	5.858
Taxa de descarga no Virador 2 (tph)	tph	5.819	5.830
Taxa de descarga no Virador 3 (tph)	tph	6.044	6.037
Taxa de descarga no Virador 4 (tph)	tph	6.127	6.080
Taxa de descarga no Virador 5 (tph)	tph	6.058	6.072
Carga descarregada no Virador 1 (t)	t	24.139.134	25.532.956
Carga descarregada no Virador 2 (t)	t	24.014.318	24.839.638
Carga descarregada no Virador 3 (t)	t	25.652.196	26.666.468
Carga descarregada no Virador 4 (t)	t	26.096.350	27.186.214
Carga descarregada no Virador 5 (t)	t	25.952.846	26.715.760

Fonte: A autora

A Tabela 30 apresenta os resultados simulados referentes aos equipamentos de pátio. Aqui estão estratificadas as estatísticas referentes às empilhadeiras, recuperadoras e ER's como suas respectivas ocupações médias e taxa média de carregamento, em toneladas por hora.

Tabela 30: Resultado dos equipamentos de pátio dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Equipamentos de Pátio			
Ocupação média da empilhadeira 1	%	6%	7%
Ocupação média da empilhadeira 3	%	15%	18%
Ocupação média da empilhadeira 5	%	18%	26%
Ocupação média da empilhadeira 7	%	42%	47%
Ocupação média da empilhadeira 8	%	20%	22%
Ocupação média da empilhadeira 10	%	26%	24%
Ocupação média da empilhadeira 12	%	23%	23%
Ocupação média da empilhadeira 15	%	25%	26%
Ocupação média da empilhadeira 16	%	31%	33%
Ocupação média da empilhadeira 17	%	22%	23%
Ocupação média da empilhadeira 24	%	11%	11%
Ocupação média da empilhadeira 25	%	11%	11%
Ocupação média da recuperadora 2	%	9%	10%
Ocupação média da recuperadora 4	%	17%	23%
Ocupação média da recuperadora 6	%	12%	14%
Ocupação média da recuperadora 7	%	23%	20%
Ocupação média da recuperadora 8	%	29%	27%
Ocupação média da recuperadora 9	%	42%	34%
Ocupação média da recuperadora 11	%	42%	34%
Ocupação média da recuperadora 12	%	31%	26%
Ocupação média da recuperadora 13	%	37%	35%
Ocupação média da recuperadora 14	%	20%	21%
Ocupação média da recuperadora 19	%	47%	45%
Ocupação média da recuperadora 23	%	37%	41%
Taxa (tph) média de empilhagem 3	tph	5.529	5.618
Taxa (tph) média de empilhagem 5	tph	2.882	3.486
Taxa (tph) média de empilhagem 7	tph	1.627	1.621
Taxa (tph) média de empilhagem 8	tph	2.526	2.698
Taxa (tph) média de empilhagem 10	tph	12.450	12.384
Taxa (tph) média de empilhagem 12	tph	5.123	4.700
Taxa (tph) média de empilhagem 15	tph	5.947	5.977
Taxa (tph) média de empilhagem 16	tph	6.144	6.087
Taxa (tph) média de empilhagem 17	tph	5.974	5.907
Taxa (tph) média de empilhagem 24	tph	12.258	12.396
Taxa (tph) média de empilhagem 25	tph	12.432	12.479
Taxa (tph) média de recuperação 1	tph	3.760	4.163
Taxa (tph) média de recuperação 3	tph	5.300	5.979
Taxa (tph) média de recuperação 5	tph	3.598	4.370
Taxa (tph) média de recuperação 6	tph	3.936	4.548
Taxa (tph) média de recuperação 7	tph	4.744	5.423
Taxa (tph) média de recuperação 8	tph	5.846	7.090
Taxa (tph) média de recuperação 10	tph	6.106	7.512
Taxa (tph) média de recuperação 11	tph	5.226	6.024
Taxa (tph) média de recuperação 12	tph	1.992	2.397
Taxa (tph) média de recuperação 13	tph	2.802	2.164
Taxa (tph) média de recuperação 18	tph	3.117	3.370

Fonte: A autora

A Tabela 31 e a Tabela 32 apresentam os giros de pátio de cada partição utilizada neste modelo de simulação.

Tabela 31: Resultado do giro de pátio dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP	Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Partições				Partições			
Giro da partição 1	giros/ano	30	36	Giro da partição 104	giros/ano	45	43
Giro da partição 2	giros/ano	10	7	Giro da partição 105	giros/ano	25	0
Giro da partição 3	giros/ano	8	9	Giro da partição 106	giros/ano	26	0
Giro da partição 4	giros/ano	22	20	Giro da partição 107	giros/ano	5	24
Giro da partição 11	giros/ano	24	31	Giro da partição 108	giros/ano	13	22
Giro da partição 12	giros/ano	41	53	Giro da partição 109	giros/ano	7	6
Giro da partição 13	giros/ano	36	50	Giro da partição 110	giros/ano	4	1
Giro da partição 21	giros/ano	11	14	Giro da partição 111	giros/ano	51	34
Giro da partição 22	giros/ano	10	50	Giro da partição 112	giros/ano	51	32
Giro da partição 23	giros/ano	28	52	Giro da partição 113	giros/ano	42	36
Giro da partição 24	giros/ano	47	0	Giro da partição 114	giros/ano	43	35
Giro da partição 31	giros/ano	9	9	Giro da partição 115	giros/ano	46	61
Giro da partição 32	giros/ano	9	10	Giro da partição 116	giros/ano	50	27
Giro da partição 33	giros/ano	37	22	Giro da partição 117	giros/ano	52	65
Giro da partição 34	giros/ano	15	36	Giro da partição 118	giros/ano	44	72
Giro da partição 35	giros/ano	31	36	Giro da partição 119	giros/ano	36	32
Giro da partição 41	giros/ano	30	29	Giro da partição 120	giros/ano	23	47
Giro da partição 42	giros/ano	8	5	Giro da partição 121	giros/ano	43	45
Giro da partição 43	giros/ano	35	52	Giro da partição 122	giros/ano	37	39
Giro da partição 44	giros/ano	32	44	Giro da partição 123	giros/ano	43	42
Giro da partição 45	giros/ano	45	49	Giro da partição 124	giros/ano	35	42
Giro da partição 46	giros/ano	10	0	Giro da partição 125	giros/ano	45	50
Giro da partição 47	giros/ano	3	5	Giro da partição 126	giros/ano	37	41
Giro da partição 51	giros/ano	10	10	Giro da partição 127	giros/ano	51	47
Giro da partição 52	giros/ano	44	39	Giro da partição 128	giros/ano	38	36
Giro da partição 53	giros/ano	43	41	Giro da partição 129	giros/ano	39	49
Giro da partição 54	giros/ano	23	25	Giro da partição 130	giros/ano	38	45
Giro da partição 55	giros/ano	43	0	Giro da partição 131	giros/ano	33	31
Giro da partição 61	giros/ano	41	37	Giro da partição 132	giros/ano	31	30
Giro da partição 62	giros/ano	51	39	Giro da partição 133	giros/ano	31	30
Giro da partição 63	giros/ano	35	0	Giro da partição 134	giros/ano	31	30
Giro da partição 64	giros/ano	26	28	Giro da partição 135	giros/ano	31	30
Giro da partição 65	giros/ano	36	0	Giro da partição 136	giros/ano	29	30
Giro da partição 71	giros/ano	46	37	Giro da partição 137	giros/ano	50	52
Giro da partição 72	giros/ano	47	37	Giro da partição 138	giros/ano	48	52
Giro da partição 73	giros/ano	33	0	Giro da partição 139	giros/ano	48	51
Giro da partição 74	giros/ano	30	0	Giro da partição 140	giros/ano	46	49
Giro da partição 75	giros/ano	28	25	Giro da partição 141	giros/ano	47	52
Giro da partição 81	giros/ano	46	43	Giro da partição 142	giros/ano	49	52
Giro da partição 82	giros/ano	42	44	Giro da partição 143	giros/ano	47	51
Giro da partição 83	giros/ano	43	8	Giro da partição 144	giros/ano	48	50
Giro da partição 84	giros/ano	33	28	Giro da partição 145	giros/ano	47	52
Giro da partição 85	giros/ano	24	26	Giro da partição 146	giros/ano	46	52
Giro da partição 86	giros/ano	45	0	Giro da partição 147	giros/ano	22	25
Giro da partição 87	giros/ano	42	0	Giro da partição 148	giros/ano	24	26
Giro da partição 88	giros/ano	48	0	Giro da partição 149	giros/ano	27	25
Giro da partição 89	giros/ano	33	0	Giro da partição 150	giros/ano	23	27
Giro da partição 90	giros/ano	21	25	Giro da partição 151	giros/ano	28	27
Giro da partição 91	giros/ano	36	25	Giro da partição 152	giros/ano	24	29
Giro da partição 92	giros/ano	32	41	Giro da partição 153	giros/ano	29	27
Giro da partição 93	giros/ano	15	26	Giro da partição 154	giros/ano	23	28
Giro da partição 94	giros/ano	7	6	Giro da partição 155	giros/ano	26	28
Giro da partição 95	giros/ano	27	23	Giro da partição 156	giros/ano	24	26
Giro da partição 96	giros/ano	27	0	Giro da partição 157	giros/ano	31	28
Giro da partição 97	giros/ano	2	1	Giro da partição 158	giros/ano	32	39
Giro da partição 98	giros/ano	5	3	Giro da partição 159	giros/ano	24	32
Giro da partição 102	giros/ano	38	41	Giro da partição 160	giros/ano	38	43
Giro da partição 103	giros/ano	48	41	Giro da partição 161	giros/ano	40	25

Fonte: A autora

Tabela 32: Resultado do giro de pátio dos cenários A e B - continuação

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP	Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Partições				Partições			
Giro da partição 162	giros/ano	53	57	Giro da partição 321	giros/ano	7	121
Giro da partição 163	giros/ano	52	56	Giro da partição 322	giros/ano	33	121
Giro da partição 164	giros/ano	50	58	Giro da partição 323	giros/ano	53	0
Giro da partição 165	giros/ano	53	56	Giro da partição 330	giros/ano	7	14
Giro da partição 166	giros/ano	53	56	Giro da partição 331	giros/ano	9	18
Giro da partição 167	giros/ano	51	58	Giro da partição 332	giros/ano	3	5
Giro da partição 168	giros/ano	52	57	Giro da partição 333	giros/ano	2	23
Giro da partição 169	giros/ano	51	57	Giro da partição 334	giros/ano	3	4
Giro da partição 170	giros/ano	51	59	Giro da partição 340	giros/ano	32	57
Giro da partição 171	giros/ano	49	56	Giro da partição 341	giros/ano	5	6
Giro da partição 172	giros/ano	54	52	Giro da partição 342	giros/ano	42	121
Giro da partição 173	giros/ano	53	52	Giro da partição 343	giros/ano	6	39
Giro da partição 174	giros/ano	54	54	Giro da partição 344	giros/ano	51	120
Giro da partição 175	giros/ano	53	57	Giro da partição 345	giros/ano	2	2
Giro da partição 176	giros/ano	55	52	Giro da partição 346	giros/ano	1	1
Giro da partição 177	giros/ano	23	27	Giro da partição 350	giros/ano	12	16
Giro da partição 178	giros/ano	23	25	Giro da partição 351	giros/ano	61	122
Giro da partição 179	giros/ano	21	25	Giro da partição 352	giros/ano	60	121
Giro da partição 180	giros/ano	22	26	Giro da partição 353	giros/ano	32	68
Giro da partição 181	giros/ano	21	26	Giro da partição 354	giros/ano	52	0
Giro da partição 182	giros/ano	32	33	Giro da partição 360	giros/ano	62	121
Giro da partição 183	giros/ano	34	32	Giro da partição 361	giros/ano	59	121
Giro da partição 184	giros/ano	32	32	Giro da partição 362	giros/ano	42	0
Giro da partição 185	giros/ano	32	32	Giro da partição 363	giros/ano	32	70
Giro da partição 186	giros/ano	33	32	Giro da partição 364	giros/ano	52	0
Giro da partição 187	giros/ano	32	32	Giro da partição 370	giros/ano	59	120
Giro da partição 188	giros/ano	32	32	Giro da partição 371	giros/ano	60	121
Giro da partição 189	giros/ano	46	49	Giro da partição 372	giros/ano	52	0
Giro da partição 190	giros/ano	46	47	Giro da partição 373	giros/ano	41	0
Giro da partição 191	giros/ano	45	49	Giro da partição 374	giros/ano	32	67
Giro da partição 192	giros/ano	43	49	Giro da partição 380	giros/ano	59	121
Giro da partição 193	giros/ano	42	50	Giro da partição 381	giros/ano	52	120
Giro da partição 194	giros/ano	43	46	Giro da partição 382	giros/ano	59	14
Giro da partição 195	giros/ano	44	46	Giro da partição 383	giros/ano	41	67
Giro da partição 196	giros/ano	0	0	Giro da partição 384	giros/ano	31	67
Giro da partição 197	giros/ano	67	79	Giro da partição 385	giros/ano	59	0
Giro da partição 198	giros/ano	9	9	Giro da partição 386	giros/ano	52	0
Giro da partição 199	giros/ano	9	10	Giro da partição 387	giros/ano	59	0
Giro da partição 200	giros/ano	11	9	Giro da partição 388	giros/ano	41	0
Giro da partição 201	giros/ano	7	7	Giro da partição 389	giros/ano	32	66
Giro da partição 300	giros/ano	5	42	Giro da partição 390	giros/ano	13	36
Giro da partição 301	giros/ano	8	18	Giro da partição 391	giros/ano	13	36
Giro da partição 302	giros/ano	9	18	Giro da partição 392	giros/ano	18	63
Giro da partição 303	giros/ano	5	0	Giro da partição 393	giros/ano	5	4
Giro da partição 310	giros/ano	33	68	Giro da partição 394	giros/ano	35	61
Giro da partição 311	giros/ano	53	122	Giro da partição 395	giros/ano	34	0
Giro da partição 312	giros/ano	42	121	Giro da partição 396	giros/ano	1	1
Giro da partição 320	giros/ano	9	18				

Fonte: A autora

7.5 CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Os cenários de sensibilidade foram modelados para variações na priorização de embarque por classe de navio e na demanda inicial dos produtos a serem embarcados por esse terminal portuário. Note que os cenários apresentados são variações do cenário B (cenário com a introdução do produto padrão a ser movimentado). A primeira linha (cenário 1.1) representa o cenário B já simulado. Os resultados deste cenário serão utilizados como base de comparação para a variação da demanda embarcada dada as mudanças nos cenários, conforme descrito na Descrição dos cenários de sensibilidade.

Para os cenários de sensibilidade, foram simuladas 5 replicações de 10 anos.

Tabela 33: Descrição dos cenários de sensibilidade

Demanda total (Mtpa)	Demanda esperada de produto padrão (Mtpa)	Frota de produto padrão	Cenário	Descrição
123	70	Valemax	1.1	Priorização do carregamento de produto padrão em Valemax
		VLOC	1.2	Priorização do carregamento de produto padrão em VLOC
	44	Valemax	2.1	Priorização do carregamento de produto padrão em Valemax
		VLOC	2.2	Priorização do carregamento de produto padrão em VLOC
		Valemax/Large Cape	2.3	Priorização do carregamento de pelotas alto forno e síter feed (para atendimento a compromissos com clientes) em Valemax
		VLOC/Large Cape	2.4	Priorização do carregamento de pelotas alto forno e síter feed (para atendimento a compromissos com clientes) em VLOC
	30	Valemax	3.1	Priorização do carregamento de produto padrão em Valemax
		VLOC	3.2	Priorização do carregamento de produto padrão em VLOC
		Valemax/Large Cape	3.3	Priorização do carregamento de pelotas alto forno, de síter feed e pellet feed (para atendimento a compromissos com clientes) em Valemax
		VLOC/Large Cape	3.4	Priorização do carregamento de pelotas alto forno, de síter feed e pellet feed (para atendimento a compromissos com clientes) em VLOC

Fonte: A autora

Para os cenários de análise de sensibilidade, foram estratificados os resultados referentes à carga total descarregada nos viradores de vagão e à carga total embarcada nos navios ao final da simulação, todos em toneladas por ano.

Note que a variação no volume de produto padrão a ser embarcado nesse sistema e a variação na priorização da frota fazem com que o volume embarcado nos navios varie conforme a alteração do seu respectivo cenário.

Tabela 34: Resultados dos cenários de sensibilidade

Ano	Demanda total inputada (Mtpa)	Demanda esperada de produto padrão (Mtpa)	Frota de produto padrão	Cenário	Carga Total Descarregada nos viradores de vagão (tpa)	Carga Total Embarcada nos navios (tpa)
2018	123	70	Valemax	1.1	130.096.003	122.944.911
			VLOC	1.2	130.108.949	122.981.923
		44	Valemax	2.1	129.158.226	122.088.266
			VLOC	2.2	128.970.655	121.877.937
			Valemax/Large Cape	2.3	98.026.554	94.742.111
			VLOC/Large Cape	2.4	97.851.976	94.574.635
		30	Valemax	3.1	129.514.905	122.395.769
			VLOC	3.2	129.369.189	122.285.683
			Valemax/Large Cape	3.3	98.510.801	95.267.506
			VLOC/Large Cape	3.4	98.259.302	95.038.520

Fonte: A autora

8. CONCLUSÃO

O uso da simulação computacional está sendo cada vez mais difundido como ferramenta para melhorar a capacidade de análise e decisão de gestores. O uso de ferramentas de simulação possibilita visualizar e controlar, em ambiente computacional, variações do cenário real e prever seu comportamento.

Assim, a simulação vem sendo reconhecida como um diferencial competitivo no mercado por possibilitar a análise de cenários a um baixo custo, prevendo possíveis variações do sistema. O domínio do conhecimento de técnicas de simulação vem ganhando espaço nas diversas cadeiras da engenharia e logística.

Este trabalho apresentou uma aplicação prática de um problema real, utilizando para isso um modelo de simulação de eventos discretos. A utilização desse modelo de simulação possibilitou que a autora testasse cenários, tanto os de validação como os cenários de estudo, e apresentasse uma ferramenta genérica de modelagem e simulação de terminais portuários.

O principal objetivo deste trabalho era, ao final das rodadas de simulação, apresentar uma alternativa que se provasse viável para aumentar o volume embarcado de minério de ferro no Terminal Portuário de Tubarão sem que para isso a empresa necessitasse de investimentos em CAPEX específico para a operação portuária do Produto Padrão.

O sistema simulado concentra o Produto Padrão nos pátios centrais (G, H, F e I), pois isso maximiza a utilização da EP03 que tem capacidade de atender até dois viradores de vagão simultaneamente com capacidade nominal de 16.000 toneladas por hora.

Naturalmente, a presença maior do Produto Padrão nos pátios centrais maximiza também a taxa de embarque no Píer 2, destino maior do Produto Padrão para embarcações de maior porte, aumentando o volume embarcado ao final das rodadas de simulação.

Os cenários de análise de sensibilidade também indicaram que é possível alterar a programação dos materiais para se alcançar diferentes volumes embarcados nos navios, de acordo com a necessidade da empresa.

Além disso, foi possível observar que a ferramenta, por ser genérica, possibilita uma grande flexibilidade de variação de cenários, fornecendo ao analista suporte para testar as mais diversas combinações de variáveis dentro do modelo.

Cabe salientar que a ferramenta se mostrou fundamental para testar esse tipo de cenário e prever a viabilidade e funcionalidade das alternativas, além de evidenciar os possíveis gargalos na operação e também ociosidades no sistema.

Outro ponto importante a ser ressaltado é o nível de detalhamento dessa ferramenta. Com ela, é possível modelar os mais diferentes terminais portuários e testar diferentes cenários e, assim, rastrear o impacto, em termos de volume, das variações dos *inputs* no sistema.

Como recomendações futuras, apontam-se os seguintes itens:

- Análise da qualidade do minério do produto padrão com o objetivo de padronizar os níveis dos minerais presentes no material, como, por exemplo, o ferro.
- Criar módulos que englobem os centros de distribuição utilizados como transbordo do material.
- Implementação da geração de demanda proveniente dos clientes aleatoriamente e que tais demandas sejam utilizadas como dados de entrada do modelo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABREU, A. O.; OLIVEIRA, M. L. S. **Impactos ambientais dos Portos e a Lei do Óleo. Universidade de Ribeirão Preto.** Disponível em: < <http://www.unaerp.br>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Manual de Licenciamento Ambiental.** Disponível em:< <http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

ABM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico.** Disponível em:< <http://www.abmbrasil.com.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

ABCEM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. Disponível em:< <http://www.abcem.org.br>>. Acesso em: 03 fev.2015.

BANKS, J.; CARSON II, John S.; NELSON, B. L.; NICOL, David M. **Discrete Event System Simulation.** Quarta Edição. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2004.

BETIATTO, A. **Modelagem e Simulação: aplicação a uma linha de manufatura de componentes automotivos.** WorkingPaper. Disponível em: <http://www.linecon.com.br/biblioteca/artigo_simulacaomanufatura-01_linecon.pdf>. Acesso em:15 jan. 2015.

BNDES - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Disponível em:< <http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BOTTER, R. C. **Analysis of time-windows on ship arrival and its influence on port operations performance.** The International Workshop on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation, Rio de Janeiro, 2004

CARNEIRO, F. M. **Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM).** Monografia (Pós-Graduação). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CASTRO N., L. R. **Modelagem e Simulação da Cadeia Produtiva do minério de ferro.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CECILIANO, W. R. A. **Aplicação de um método de simulação-otimização na cadeia produtiva de Minérios de Ferro.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações.** Terceira edição. São Paulo, 2010.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações.** Quarta edição. São Paulo, 2015.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. São Paulo: Saraiva, 2000.

CRUZ, M.M.C; FARIAS, F.N; Souza, R.G; Vaz, R. G; SILVA, R. **Estudo por simulação de granéis sólidos do porto de Tubarão**. Enegep, 2001.

DEVORE, J. **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**. 5nd Ed., Pacific Grove: Duxbury Press, 2000.

DUARTE, R. N. **Simulação Computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.

FIORONI, M. M. **Simulação em Ciclo Fechado de Malhas Ferroviárias e suas Aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. 2007. 216 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FRAZESE, L.A.G; FIORONI, M. M.; PEREIRA, N. Y. H.; MACHADO, M.N. **Rail road Infrastructure Simulator**. Winter Simulation Conference, Orlando. p 2581-2584. Dezembro, 2005.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com aplicações em Arena**. 2nd ed. Visual Books, 2008.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GENENA, S. K., SOUZA, A. E., GALDINO, F., VIVEIROS, M. P. **minério de ferro e Vale S.A.: uma história de sucesso**. Conbrepro, Paraná, 2015.

HARDING H. A. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1972.

HARLLINGTON, T. C., LAMBERT, D. M., STERLING, J.U. **A simulation model that measures the financial impact of marketing and logistics decisions**. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol. 22, No.7, 1992.

IBS Solutions. **Fluxo Logístico com desembaraço na Zona Secundária**. Disponível em:< <http://www.ibsolutions.com.br>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

IGNÁCIO, A. V.; LIMA, B. M. **Modelo Genérico de Simulação de Operações Portuárias: Estudo de Caso para minério de ferro**. Enegep, 2013.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da economia mineral brasileira**. Disponível em:< <http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

JULIÁ, A. F.. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI D.A. **Simulation with Arena.** New York: McGraw-Hill, 1998.

LIMA, A. D. P., MASCARENHAS, F. W., FRAZZON, E. M. **Simulation-Based planning and control of transport flows in port logistic system.** Mathematical Problems in Engineering, 2015.

MEIRELES, R. P. L. **Modelagem e Simulação da Malha Ferroviária em Circuito Fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MIDC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Balança Comercial Brasileira – Dados Consolidados.** Disponível em:< <http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

MONIÉ, F.. In: SILVEIRA, M. R. (org.). **Circulação, transportes e logística: diferentes perspectivas.** São Paulo: Outras Expressões, 2011.

NETTO, J. F. **Modelo de simulação para dimensionamento da frota de contêineres movimentada por navios em rota dedicada.** Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BOTTER, R. C., MEDINA, A. C, NETTO, J. F. **Analysis of capacity associated to levels of service at port terminals using systemic approach and simulation of discrete events.** Winter Simulation Conference, Califórnia, 2015.

NETO, L. R. C.; **Modelagem e simulação da cadeia produtiva de minério de ferro.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, M. A. et al. **Sistemas de Transportes.** Disponível em:< <http://www.dtt.ufpr.br>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA® em Simulação.** Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2. Ed. Universidade Feevale, 2013.

SARGENT, R. G., YAACOUB, D. M. G. T. **Use of the interval statistical procedure for simulation model validation.** Winter Simulation Conference, Califórnia, 2015.

SANTOS, M. P. **Introdução à Simulação Discreta.** Rio de Janeiro: UERJ, 1999.

SCHIBER, T. J., BRUNNER, D. T., SMITH, J. S. **Inside discret-event simulation software: how it works and why it matters.** Winter Simulation Conference, Califórnia, 2015.

SILVA, A. K.; **Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA. E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação.** 3. Ed. Florianópolis: LED/UFSC, 2001.

STRACK, J. GPSS. **Modelagem e Simulação de Sistemas.** São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

SWAMINATHAN, J. M., SMITH, S. F., SADEH, N. M. **Modeling supply chain dynamics: a multiagent approach.** Decision Science, vol 29, 1998.

VALE. **Memorial Descritivo do Terminal de Tubarão.** Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 19 mar. 2015.