

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA TERMINAIS PORTUÁRIOS COMO FERRAMENTA DE APOIO À GESTÃO

Anibal Alberto Vilcapoma Ignacio
Universidade Federal Fluminense - UFF
anibalvilcapoma@gmail.com

Bruna Moraes de Lima
Universidade Federal Fluminense - UFF
brunamoraes@id.uff.br

Léa Maria Dantas Sampaio
COPPE/UFRJ
leasampaio@gmail.com

Resumo

O presente artigo estabelece um modelo genérico de simulação a ser aplicado a operações portuárias, com o intuito de auxiliar o direcionamento dos esforços políticos e investimentos no setor por meio de análise de taxas de ocupação dos equipamentos, comportamento dos estoques e parâmetros de fila. O modelo conceitual construído foi implementado no software Simul8 e teve seus resultados analisados sob a ótica de quatro diferentes cenários.

Palavras-Chaves: Simulação, Logística, Escoamento da soja.

Abstract

The present article establishes a generic simulation model to be applied to port operations, in order to assist the targeting of political efforts and investments in the sector through the equipment occupancy rates analysis, behavior of stocks and queue parameters. The built conceptual model was implemented in SIMUL8 software and had their results analyzed from the perspective of four different scenarios.

Keywords: Simulation, Logistics, Soy runoff.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade dos produtos brasileiros no mercado internacional depende muito das atividades portuárias. De acordo com a pesquisa da Confederação Nacional da Indústria – [1] sobre entraves à expansão das exportações, o entrave mais assinalado foi “taxa de câmbio”, seguido de “custos portuários e aeroportuários” e “burocracia alfandegária”. Na mesma pesquisa realizada em 2002, essas duas dificuldades também foram destacadas pelas empresas entrevistadas [1]. O passar dos anos entre as pesquisas não modificou o quadro de entraves significativos para as exportações. Nos dias atuais, percebe-se que esses dois pontos ainda prejudicam o crescimento do comércio exterior.

Atualmente, a importância dos portos vai muito além dos grandes valores que movimentam. Eles integram uma cadeia logística que é fundamental para o crescimento do país, no mercado internacional, e para melhoria da competitividade dos produtos brasileiros. Embora o modo aquaviário seja vantajoso, quanto ao baixo custo para transporte de grandes cargas, em longas distâncias, e baixo nível de poluição do meio ambiente, o modo rodoviário é amplamente utilizado no país para transporte de cargas. Essa característica também está presente no investimento federal para a infraestrutura de transporte. De acordo com a Confederação Nacional de Transportes [2], em 2013, 76,4% do investimento em transporte da União foi destinado ao modal rodoviário, enquanto para o modal aquaviário foi reservado apenas 1%.

O desbalanceamento da matriz de transporte brasileira ilustra a ineficiência da logística e do transporte do país. O custo de escoamento de materiais e produtos é demasiado alto, em função de sua dependência do transporte rodoviário [3]. O subaproveitamento do potencial da malha hidroviária brasileira, seja para transporte de materiais, produtos ou pessoas, além de não permitir a redução de custos logísticos, inibe benefícios às populações ribeirinhas não servidas por estradas, tais como: saúde, educação e cultura.

No entanto, os vários problemas que acometem os portos brasileiros acabam dificultando o transporte de cargas. Além de paradas provocadas por intempéries, o funcionamento dos portos é muitas vezes comprometido pela ineficiência de fornecimento energético que deveria ser ininterrupto, falhas técnicas causadas por ausência ou precariedade de manutenção, dentre outros fatores.

As paradas parciais ou totais nas operações portuárias agravam ainda mais as filas de navios que aguardam carregamento e filas de caminhões carregados, gerando atrasos que implicam o pagamento de multa às embarcações – *demurrage*. Uma das soluções para o *demurrage* é diminuir o tempo de operação do navio, melhorando o gerenciamento dos recursos portuários, o que tem como consequência a redução do tempo de espera dos navios. Para tal, é necessário tornar a produtividade do terminal portuário mais eficaz e eficiente. O valor gasto com o pagamento de *demurrage* poderia ser aplicado para essa finalidade, através de obras para melhorias estruturais e aquisição de equipamentos mais modernos.

A gestão ineficiente dos portos agrava ainda mais o problema de *demurrage*. A fim de acompanhar o crescimento da demanda e o aumento da produtividade, é imprescindível delimitar diretrizes estratégicas que possibilitem a modernização e reestruturação do sistema portuário brasileiro.

Segundo [4], a falta de uma administração continuada e engajada no setor; a grande burocratização da tomada de decisão para negociar contratos, gerir recursos, promover licitações para obras; bem como a desarmonia entre os órgãos anuentes e fiscalizadores são alguns dos empecilhos para a gestão eficiente. É no âmbito da gestão de recursos e promoção de melhorias quanto a aquisições de equipamentos, obras de ampliações e construções, e mesmo de implantação de um novo porto que a simulação tem papel fundamental.

A simulação, cuja finalidade é compreender e estimar as medidas de desempenho de um sistema, acompanha metodicamente os movimentos que ocorrem no modelo para coletar

dados estatísticos pertinentes, como por exemplo, o tempo de espera e o comprimento da fila, uso de equipamentos e dimensionamento de capacidade. Assim sendo, esta ferramenta tem grande potencial para minimizar tais problemas.

O emprego da simulação propicia projetar e analisar os sistemas, prever resultados e/ou problemas decorrentes da execução de uma determinada ação, reduzir os riscos na tomada de decisão, entre outras aplicações. Adequando-se tais aplicações às operações portuárias, a simulação auxilia no processo de avaliação da taxa de ocupação de recursos, do comportamento do estoque e do tamanho e tempo de espera das filas, uma vez que permite modificar virtualmente a quantidade e a capacidade de equipamentos, aumentar ou reduzir a demanda e, assim, prever resultados. Por meio da simulação, os gestores podem tomar decisões mais assertivas sobre obras, aquisições de novos equipamentos e todo funcionamento portuário em si, de modo viável e rápido.

O objetivo do presente estudo é desenvolver um modelo de simulação para a análise da capacidade de um terminal portuário que opere com cargas pesadas e em grandes volumes (bulk material), tais como: minério de ferro, carvão, produtos siderúrgicos e outros, com a finalidade de auxiliar os processos de tomada de decisão.

2. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES PORTUÁRIAS

Diversas pesquisas e estudos realizados analisam portos, em particular, como [5], que avalia os reflexos da operação do virador de vagões, no porto de Itaguaí. Outros estudos de simulação, em operação portuária, podem ser visto em [6], [7], os quais tratam especificamente dos complexos relacionamentos, entre os níveis de custo e serviço. Em [8], se apresenta uma estrutura portuária abrangente e subsistemas navio-ancoradouro, pátio e os portões de acesso rodoviário e ferroviário são descritos. Nesta análise se direciona à movimentação de contêineres, utilizando-se uma modelagem complexa, composta por ferramentas de simulação, algoritmos genéticos e programação não linear.

Em [9] e [10], a simulação é usada para analisarem o impacto sobre os pátios de contêineres, modos diferentes de enfileiramento e modos de atracação dos navios, analisando-se a operação de navios de contêiner. Nestes dois trabalhos a simulação é usada como ferramenta de análise. Em [11], através de um modelo de simulação discreta, os autores analisam o tráfego marítimo, através da infraestrutura dos sistemas ferroviário e rodoviário.

No trabalho de [12] e [13], se apresentam estudos sobre contêineres e sistemas de transporte interterminal. Nestes dois estudos, os experimentos realizados mostram as diferentes características dos sistemas de transporte e sua interação com os equipamentos de manuseio.

O trabalho de [14] apresenta o uso da técnica de simulação, no dimensionamento da capacidade de um terminal portuário que opera com cargas pesadas e em grandes volumes (bulk material) - minério de ferro, carvão, produtos siderúrgicos e outros. Já em [15] estes autores analisam a forma como inserir parâmetros de confiabilidade nos estudos de simulação operacional de terminais portuários, fazendo uso da linguagem de simulação Simul8, e, em particular, para tratamento dos dados de falhas de uma de suas ferramentas, o *Stat-Fit*. São analisados dados de falhas do sistema de descarga de minério de ferro, em um terminal com foco no conjunto: virador de vagões, posicionador e alimentador de correias.

2.1. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Sabe-se que cada porto é ímpar e, por serem dotados de peculiaridades, é incabível que análises feitas em um dado porto possam ser feitas em qualquer outro. Como o objetivo deste estudo é analisar a capacidade de um terminal portuário que opere com cargas pesadas e em grandes volumes, a definição de um porto específico limitaria consideravelmente a análise a ser realizada, uma vez que este não apresentaria as características relevantes de um porto genérico. Portanto, ao invés de escolher um porto existente, é definido um modelo de porto

genérico hipotético, o que facilita o estudo. Este possui apenas terminais de granel sólido que movimentam minério de ferro, carvão, grãos e fertilizante.

Por meio do modelo de simulação desenvolvido, utiliza-se dados reais para se avaliar a capacidade de uma parcela do setor portuário brasileiro, frente à crescente demanda de movimentação de produtos. Para tanto, são analisados: o tamanho de fila, o tempo de espera na fila, a taxa de ocupação de recursos e o comportamento do estoque, sem profundos detalhamentos.

2.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Assim, como qualquer situação real e independente da análise desejada, modelar uma operação portuária é trabalho árduo e rico em detalhes. A fim de estabelecer um modelo de simulação para a análise da capacidade de um terminal portuário que opera com cargas pesadas, propõe-se a construção de um mapa do processo de um porto genérico, que permita a análise minuciosa do fluxo dos produtos no porto. Para tanto, considera-se a chegada e a saída de produtos por meio de caminhões, trens e navios. Também retrata-se diversos equipamentos utilizados, nas operações portuárias, associando-os às suas respectivas tarefas.

Baseando-se na metodologia ACD, as filas são representadas por um círculo e as atividades por um retângulo. Retângulos de pontas arredondadas representam os equipamentos (recursos). Outras duas formas são utilizadas para representar áreas de armazenamento, como pátio e silo, e estruturas de passagem, como canal e pântano ferroviária.

Como a sequência de operações é demasiada extensa, o diagrama esquemático principal (Figura 1) está simplificado. Focado nas atividades de chegada e saída de caminhões, trens e navios, tal diagrama não detalha as operações portuárias. Estas são pormenorizadas em diagramas particulares para cada produto em análise. As linhas contínuas conectam as atividades, inter-relacionando o trem, a carga e o navio, enquanto as linhas tracejadas exprimem os equipamentos relacionados à atividade em particular.

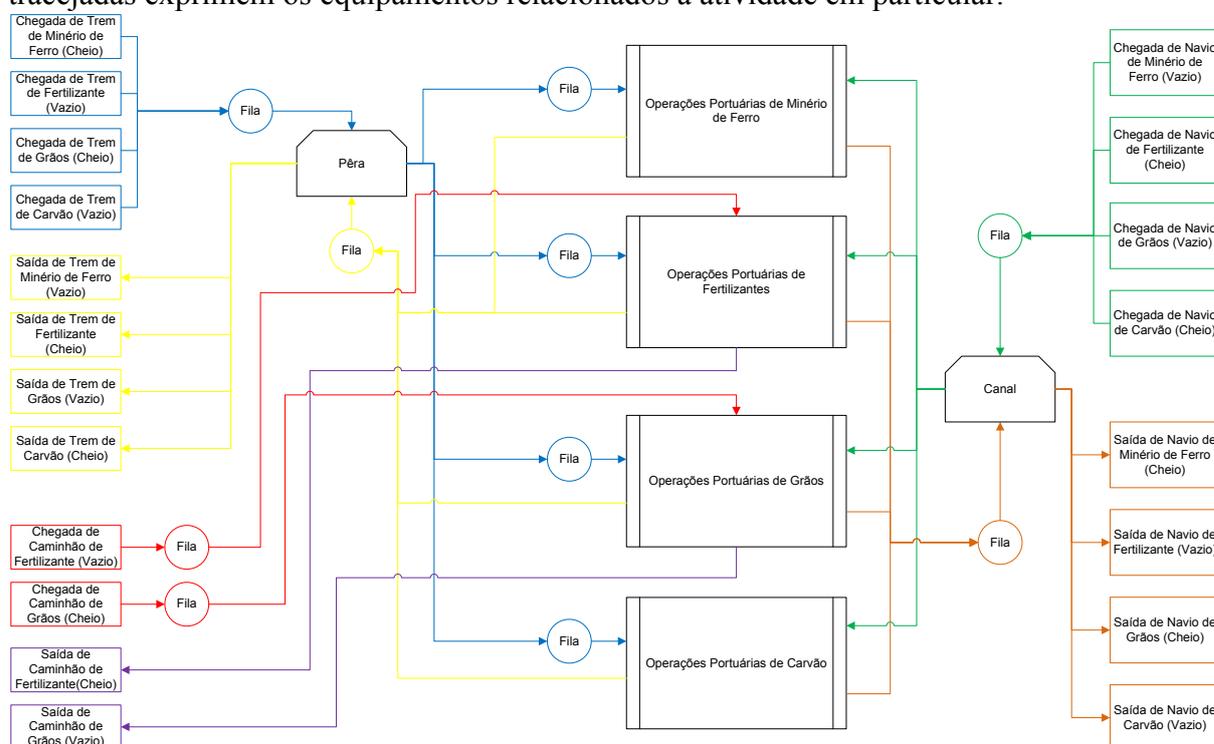


Figura 1 – Mapa do processo de um porto genérico

Para facilitar o entendimento, alguns fluxos foram diferenciados por cores. As linhas azuis mostram o fluxo de entrada dos trens e as linhas amarelas o fluxo de saída deles. As linhas vermelhas ilustram o fluxo de entrada dos caminhões e as linhas roxas o fluxo de saída

dos mesmos. As linhas verdes determinam o fluxo de entrada dos navios e as linhas laranjas o fluxo de saída deles.

O mapa do processo de um porto genérico, ilustrado na Figura 1, retrata a exportação de minério de ferro e grãos e a importação de fertilizante e carvão. Particularmente, para os grãos, os caminhões chegam carregados, aguardam na fila quando necessário e, após descarregarem o produto, saem vazios. Analogamente, para os produtos importados, os caminhões chegam vazios, aguardam na fila quando necessário e, após carregarem o produto, saem cheios. Não é comum o transporte de minério de ferro por caminhões, portanto se considerou apenas a movimentação por trens.

Para os quatro produtos envolvidos, os trens precisam passar pela pêra ferroviária para realizar manobra que permita o descarregamento/carregamento. A passagem pela pêra ocorre tanto na entrada quanto na saída do trem. Assim, na entrada, os trens aguardam na fila quando necessário e, após passar pela pêra, aguardam na fila específica do produto; na saída, os trens aguardando na fila quando necessário e saem, depois de passar pela pêra. O trem que está deixando o porto tem prioridade de passagem pela pêra.

A entrada e saída dos navios no porto dependem da passagem pelo canal. Assim, os navios que chegam aguardam na fila, se necessários, passam pelo canal e atracam no berço específico para o produto que transportam. Essa passagem pelo canal só ocorre quando o berço está disponível para atracação. Caso contrário, o navio fica aguardando. Para sair, o navio aguarda a disponibilidade do canal e, depois de passar pelo mesmo, segue viagem. Os navios que estão deixando o porto têm prioridade de passagem pelo canal.

O detalhamento da operação portuária de minério de ferro a modo de exemplo é mostrado na Figura 2 mostra que as atividades de “Descarregamento” e “Pós-D Descarregamento”, na extremidade esquerda, estão relacionadas ao trem. As atividades de “Atracação”, “Pré-Carregamento”, “Carregamento”, “Pós-Carregamento” e “Desatracação” relacionam-se ao navio. As demais atividades representadas ilustram o processo da carga de minério de ferro nas dependências do porto. Assim, a carga é descarregada com auxílio do virador de vagão, transportada pela correia transportadora e empilhada no pátio pela função empilhadeira do *stacker reclaimer*. Para a exportação do produto, a função recuperadora do *stacker reclaimer* recupera o minério de ferro, depositando-o na correia transportadora, que transporta o produto até o berço de atracação. Por fim, o carregamento do produto no navio é feito pelo ship loader.

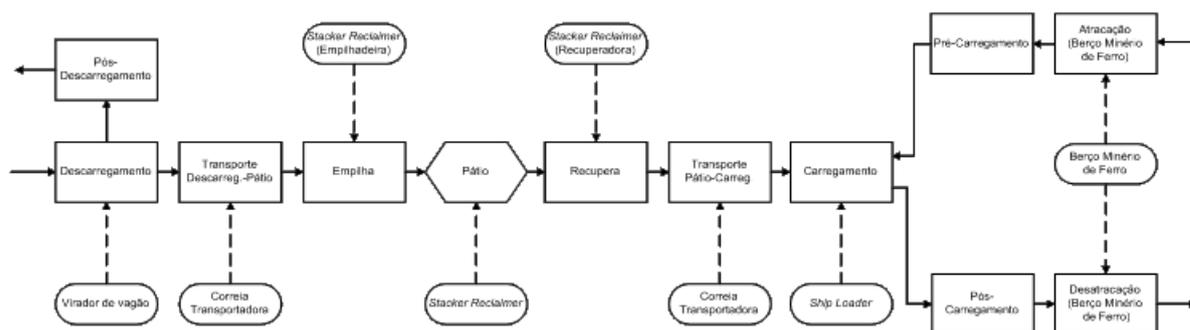


Figura 2 – Operação portuária de minério de ferro

3. COLETA DE DADOS

A seguir apresenta-se os dados coletados por categorias, tais como: tipos de equipamentos, capacidade, projeção e implementação.

3.1. CAPACIDADE DE EQUIPAMENTOS

O site da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, [16] e [17] apresentam dados sobre a capacidade das instalações utilizadas para movimentação de minério de ferro, carvão mineral, fertilizantes e soja em grãos. A capacidade de armazenamento de minério de ferro e carvão mineral é especificada em [17]. Ainda utilizando as informações de [17] e [16], são definidas as capacidade dos equipamentos para o minério de ferro, carvão mineral, fertilizante/ soja é grãos.

3.2. PROJEÇÃO DE VOLUME DE PRODUTOS

O porto escolhido para fornecer dados e informações acerca de grãos, especificamente da soja, e fertilizantes é o Porto de Paranaguá (é o segundo maior porto exportador de soja do Brasil). Para os dados sobre minério de ferro e carvão, foi definido que o Porto de Itaguaí – RJ é mais adequado. Em [18], considera-se este porto como um dos grandes centros de exportação de minério de ferro do Brasil. A movimentação de carvão mineral no porto também é bastante considerável, uma vez que fornece o produto à usina da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em Volta Redonda – RJ.

Em [17] e [16] se apresentam a projeção de volume de produtos transportados para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030. Dados que foram consolidados na Tabela 1. Tais projeções compõem os quatro cenários a serem estudados com a simulação.

Produto	2015	2020	2025	2030
Minério de ferro (em toneladas)	112.582.554	154.315.894	211.519.409	290.461.315
Carvão mineral (em toneladas)	3.176.372	3.366.978	3.557.584	3.748.190
Fertilizantes (em toneladas)	8.058.880	8.185.029	8.251.444	8.839.213
Soja em grãos (em toneladas)	7.432.900	9.102.989	10.686.111	12.227.916

Tabela 1 – Projeção de volume de produtos.

A partir do volume projetado, é possível calcular as taxas de chegada dos navios, trens e caminhões. Como o modelo proposto considera chegada ou saída por trem e por caminhão, a exceção de minério de ferro e do carvão que envolve apenas trens, é preciso se determinar a porcentagem de carga movimentada por cada modo. Segundo [18], a participação dos modos rodoviário e ferroviário na movimentação de cargas e passageiros é, respectivamente, 61,1% e 20,7%. Para se utilizar tais dados na simulação, considera-se que esses dois modos constituem 100% da matriz de transporte de cargas. Assim, a participação do modo rodoviário é de 74,69% e do ferroviário é de 25,31%. Portanto, considera-se que 25,31% da soja e dos fertilizantes chegam por trens e o restante por caminhões.

Também se considera que um trem é composto por 120 vagões e que cada vagão de soja em grãos e fertilizantes tem capacidade para 55 toneladas, enquanto que cada vagão de minério de ferro e carvão tem capacidade para 97 toneladas. Ademais, define-se que um caminhão tem capacidade para 35 toneladas e que o tipo de navio a ser utilizado – Panamax – tem capacidade para transportar 75.000 toneladas.

Para se determinar a quantidade necessária de navios para se exportar minério de ferro e soja em grãos, divide-se o volume total em toneladas por 75.000 (que é a capacidade do navio Panamax), obtendo-se o número estimado de navios necessários para exportação todo o volume de produto. A taxa de chegada desses navios é obtida dividindo-se 8670 (número de horas, em um ano) pelo número de navios.

Considerando-se que apenas 25,31% do total de toneladas chegam por trem, divide-se esse volume parcial pela capacidade total do trem (número de vagões x capacidade de cada vagão) para se obter o número de trens necessários. Dividindo-se 8670 pelo número de trens, o resultado é a taxa de chegada de trens. Analogamente, determina-se a taxa de chegada de caminhões. Todas as taxas calculadas são expostas na Tabela 2.

	2015	2020	2025	2030
MINÉRIO DE FERRO				
Volume (em toneladas)	112.582.554	154.315.894	211.519.409	290.461.315
Número de navios necessários	1501	2058	2820	3873
Taxa de chegada de navios	5,78	4,21	3,07	2,24
Carga a chegar por trem	112.582.554	154.315.894	211.519.409	290.461.315
Número de trens	17.058	23.381	32.048	44.009
Taxa de chegada de trens	0,51	0,37	0,27	0,20
CARVÃO MINERAL				
Volume (em toneladas)	3.176.372	3.366.978	3.557.584	3.748.190
Número de navios necessários	42	45	47	50
Taxa de chegada de navios	204,71	193,13	182,78	173,48
Carga a sair por trem	3.176.372	3.366.978	3.557.584	3.748.190
Número de trens	481,27	510,15	539,03	567,91
Taxa de chegada de trens	18,01	17,00	16,08	15,27
FERTILIZANTES				
Volume (em toneladas)	8.058.880	8.185.029	8.251.444	8.839.213
Número de navios necessários	107	109	110	118
Taxa de chegada de navios	80,69	79,44	78,80	73,56
Carga a sair por trem	2.039.703	2.071.631	2.088.440	2.237.205
Número de trens	309	314	316	339
Taxa de chegada de trens	28,05	27,62	27,40	25,58
Carga a sair por caminhão	6.019.177	6.113.398	6.163.004	6.602.008
Número de caminhões	171.976	174.669	176.086	188.629
Taxa de chegada de caminhões	0,05	0,05	0,05	0,05
SOJA EM GRÃOS				
Volume (em toneladas)	7.432.900	9.102.989	10.686.111	12.227.916
Número de navios necessários	99	121	142	163
Taxa de chegada de navios	87,48	71,43	60,85	53,18
Carga a chegar por trem	1.881.267	2.303.967	2.704.655	3.094.886
Número de trens	285	349	410	469
Taxa de chegada de trens	30,42	24,84	21,16	18,49
Carga a chegar por caminhão	5.551.633	6.799.022	7.981.456	9.133.030
Número de caminhões	158.618	194.258	228.042	260.944
Taxa de chegada de caminhões	0,05	0,04	0,04	0,03

Tabela 2 – Taxas de chegadas utilizadas no modelo

Considerando-se que o porto modelado atua à plena capacidade, a distribuição que melhor se ajusta aos dados para a chegada de trens e caminhões é a exponencial. Dado que o número de navios é notável, opta-se por utilizar a distribuição de Erlang 2, pois esta é mais simétrica e de menor variância.

3.3. IMPLEMENTAÇÃO

Para implementação do modelo, o *software Simul8®* é o escolhido. A escolha é justificada pela existência de versões para visualização e para teste, além do software completo. A construção do modelo é realizada por módulos. Para cada um dos quatro produtos, construiu-se um modelo computacional, já com o objetivo de facilitar a verificação do mesmo. Cada modelo é ainda subdividido em movimentação do caminhão, do trem e da carga. Apenas depois da verificação dessas partes que estes são unidos, atestando o correto funcionamento do modelo.

Os quatro modelos têm algumas lógicas em comum. Na atividade “Passagem pelo canal”, o recurso “Livre_canal” é requisitado e o recurso “Ocupado_canal” é liberado; enquanto que, na atividade “Desatracação”, o recurso “Livre_canal” é liberado e o recurso “Ocupado_canal” é requisitado. Assim, um navio que chega, só pode passar pelo canal, quando este estiver livre, isto é, depois que o outro navio realizar todas as suas atividades e desatracar.

Como o modelo considera um único berço, o qual comporta apenas um navio, o recurso “Berço” criado é requisitado na atividade “Atracação”. Tal recurso só é liberado na atividade “Desatracação”, assegurando que o berço estará ocupado, enquanto houver navio nele.

A forma como o modelo é implementado possibilita a verificação modular do mesmo. Verifica-se o funcionamento de cada módulo do modelo, levantando-se possíveis problemas de execução, identificando-se os erros e corrigindo-os. Apenas após a verificação de cada módulo, eles ficam unidos. Para comprovar que os modelos implementados representam a realidade, utiliza-se a técnica de validação “face à face” com especialista da área.

3.4. PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO

Para efetuar o planejamento da simulação, é fundamental delimitar os parâmetros de saída. Portanto, as medidas de desempenho que se deseja obter com a simulação são o tamanho médio da fila de navios e o tempo médio de espera na fila; a taxa de ocupação dos recursos, como berço, canal, correia transportadora, virador de vagão e outros equipamentos; e os valores médio e máximo que o estoque atingiu.

As operações de um terminal portuário se comportam como uma simulação não-terminal e, portanto, não se conhece a priori o tempo de duração da simulação. Considerando-se que o porto funciona todos os dias por 24 horas, inclusive fins de semana e feriados, o tempo total estabelecido para a simulação é de um ano (8760 horas). Esse tempo é suficientemente longo para que o modelo alcance o estado de regime permanente.

De posse dos dados de projeção de demanda dos produtos, é possível analisar os quatro diferentes cenários: 2015, 2020, 2025 e 2030. Logo, o modelo possui quatro rodadas. Para se determinar o número de replicações, utiliza-se uma amostra piloto. São realizadas 5 replicações.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 3 corrobora a afirmação supracitada. Em todos os cenários, os berços de minério de ferro e soja em grãos são utilizados praticamente, todo o tempo. É importante salientar que as instalações do modelo utilizado, restrito a um único berço por produto, não são capazes de atender a demanda de minério de ferro e soja em grãos, qualquer que seja o cenário.

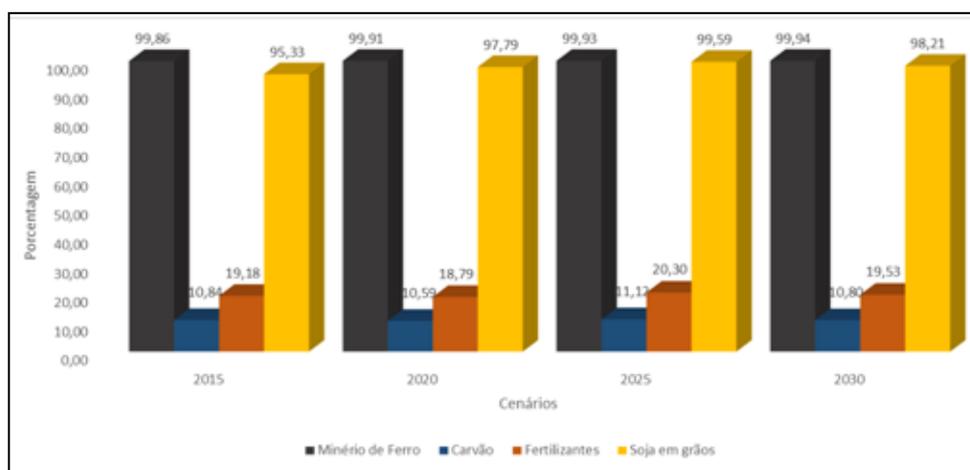


Figura 3 – Utilização dos berços

A Tabela 3 mostra a quantidade de produto exportado em relação a demanda utilizada no modelo nos quatro cenários em estudo. A disponibilidade de mais berços e seus respectivos equipamentos supririam o déficit entre a demanda e a oferta.

	2015	2020	2025	2030
Minério de ferro	60,48%	43,28%	32,05%	23,03%
Carvão	100%	100%	100%	100%
Fertilizantes	100%	100%	100%	100%
Soja em grãos	63,16%	53,28%	44,16%	43,90%

Tabela 3 – Demanda atendida

De acordo com [18], 26,9% dos portos que transacionam granéis sólidos possuem dois berços e 22,1% possuem cinco ou mais berços. Considerando-se que a quantidade de berços provoca uma redução proporcional dos valores em análise, verifica-se que com uma maior quantidade de berços disponíveis no porto, o tempo médio de espera na fila e, obviamente, o tamanho médio da fila reduzem consideravelmente como mostra a Tabela 4.

	Tamanho médio da fila				Tempo médio de espera na fila (dias)			
	2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
Minério de ferro								
1 Berço	304	584	968	1497	73	102	124	140
2 Berços	152	292	484	749	36	51	62	70
3 Berços	101	195	323	499	24	34	41	47
4 Berços	76	146	242	374	18	25	31	35
5 Berços	61	117	194	299	15	20	25	28
Soja em grãos								
1 Berço	20	26	40	43	69	76	95	96
2 Berços	10	13	20	22	34	38	47	48
3 Berços	7	9	13	14	23	25	32	32
4 Berços	5	7	10	11	17	19	24	24
5 Berços	4	5	8	9	14	15	19	19

Tabela 4 – Influência da quantidade de berços na fila de navios

Segundo [14], as taxas de ocupação são utilizadas por especialistas em operação portuária para se estabelecer metas operacionais, sobretudo no que diz respeito à taxa de ocupação de berço. Desse modo, as taxas de ocupação se apresentam como importantes formas de análise da capacidade de terminais portuários. A Tabela 5 mostra a taxa de ocupação dos recursos em cada cenário.

Item	Utilização (%)			
	2015	2020	2025	2030
MINÉRIO DE FERRO				
Ship loader	37,16	37,24	37,30	37,23
Correia transportadora	45,76	45,73	45,69	45,74
Correia transportadora 2	45,77	45,73	45,69	45,75
Stacker Reclaimer (Recuperadora)	91,53	91,45	91,38	91,49
Stacker Reclaimer (Empilhadeira)	91,50	91,45	91,35	91,45
CARVÃO				
Correia transportadora	8,76	8,61	9,03	8,75
Correia transportadora 2	8,76	8,61	9,03	8,76
Recuperadora	13,13	12,90	13,53	13,11
Empilhadeira	8,76	8,60	9,03	8,75
Descarregador de navio	8,43	8,26	8,68	8,43
FERTILIZANTES				
Correia transportadora	1,05	1,07	1,05	1,13
Correia transportadora 2	46,12	45,69	47,02	47,31
Pá carregadeira + moega	15,67	16,01	15,69	16,95
Grab + moega + guindaste	12,72	12,47	13,47	12,98
SOJA EM GRÃOS				
Ship loader	92,27	94,00	94,88	93,57
Correia transportadora	13,42	16,33	18,01	20,04
Correia transportadora 2	23,56	23,35	23,40	23,42
Correia transportadora 3	36,81	39,73	41,40	43,44

Tabela 5 – Taxa de ocupação de recursos

O *ship loader* da soja em grãos é utilizado quase que em sua capacidade total, em todos os cenários e, ainda assim, não consegue atender a todos os navios que chegam, sem

gerar grandes filas e alto tempo de espera. *Stacker Reclaimer*, tanto na função recuperadora quanto na função empilhadeira, também é utilizado ao máximo no modelo e não é capaz de atender à necessidade de minério de ferro. Posto isso, verifica-se a necessidade da ampliação da infraestrutura portuária vigente para melhor atender o crescimento da demanda e diminuir os pagamentos de *demurrage*.

O dimensionamento dos estoques de um terminal portuário é uma análise extremamente complexa e depende da política de estocagem de cada organização. A Figura 4 apresenta o valor médio e máximo que o estoque de cada produto atinge, nos quatro cenários em estudo.

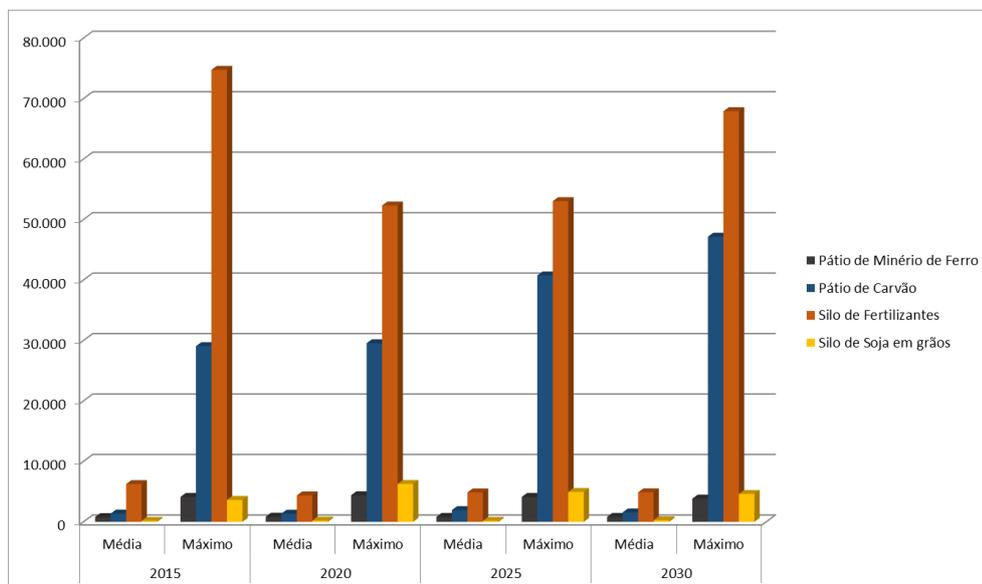


Figura 4 – Estoque dos produtos

Para melhor compreensão do gráfico da Figura 4, apresenta-se os respectivos valores na Tabela 6. Nota-se uma oscilação considerável no valor máximo que os estoques atingem. Entretanto, o valor médio é bastante próximo entre os cenários. Novamente, percebe-se a influência da estrutura limitada do terminal portuário em análise, o qual não permite movimentar maior quantidade de produto, tampouco atender a crescente demanda.

	2015		2020		2025		2030	
	Média	Máximo	Média	Máximo	Média	Máximo	Média	Máximo
Pátio de Minério de Ferro	798	4.125	853	4.400	825	4.125	825	3.850
Pátio de Carvão	1.361	29.064	1.351	29.544	1.949	40.752	1.565	47.160
Silo de Fertilizantes	6.252	74.760	4.368	52.320	4.872	53.040	4.884	67.920
Silo de Soja em grãos	165	3.630	198	6.270	165	4.950	264	4.620

Tabela 6 – Estoque dos produtos

O modelo de simulação desenvolvido se mostrou bastante eficiente para avaliação de sistemas portuários, representando uma boa ferramenta de apoio à tomada de decisão. Os dados utilizados podem ser facilmente substituídos para adequar o modelo à realidade de um porto específico. Ademais, o modelo pode ser aplicado a sistemas de portos já existentes, mas também a portos em fase de planejamento e construção.

5. CONCLUSÃO

O uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão, na gestão de operações portuárias, é pouco abordado na literatura, embora os benefícios dessa técnica aumentem a eficácia e eficiência das estratégias. Seja para o planejamento de novas instalações portuárias ou melhorias dos terminais já em operação, a simulação facilita a

compreensão dos processos e permite analisar o comportamento do sistema, inclusive na identificação de gargalos. Para se fundamentar o estudo realizado, são identificados os conceitos mais relevantes sobre o tema. A composição de um porto, no que tange à estrutura, terminais e equipamentos também é definida. O estudo identifica ainda os problemas que causam paradas parciais ou totais nas operações portuárias, tais como: intempéries, defeitos e manutenção preventiva. Contudo, não é possível incluir tais limitações ao modelo implementado. A fim de garantir que a crescente demanda de produtos seja atendida, é fundamental planejar melhorias operacionais e expansões estruturais. Para tanto, a simulação possibilita que diferentes alternativas sejam testadas sem comprometer o sistema, tampouco os recursos financeiros disponíveis. Diante disso, o modelo se mostra como uma importante ferramenta para o auxílio do controle de operações, pois indica a capacidade real de um sistema, bem como suas limitações. Por meio do modelo desenvolvido, é possível identificar gargalos no processo, auxiliando os gestores no planejamento das operações portuárias e na identificação de oportunidades de melhorias para atender a demanda.

O modelo resultante deste estudo pode ser adequado à realidade de qualquer porto específico, uma vez que permite facilmente se alterar os dados de entrada. O modelo pode ser aplicável a portos existentes, visando-se melhorar o desempenho das operações, pois permite testar hipóteses de modificações sem nenhum ônus ao sistema real. No caso do planejamento de terminais portuários, o modelo desenvolvido possibilita delimitar a infraestrutura mais adequada para se atender à demanda projetada. A análise dos resultados obtidos corrobora a atual conjuntura da infraestrutura do setor portuário brasileiro. A ampliação da capacidade e a melhoria de desempenho das instalações são fundamentais para aumentar a competitividade dos produtos brasileiros e, conseqüentemente, alavancar a participação do país no comércio internacional. O resultado deste estudo pode ser de grande ajuda para direcionar as políticas e investimentos voltados para os portos.

Das dificuldades encontradas na elaboração deste estudo, sobretudo na aquisição de dados e informações acerca do tema, existe a necessidade de se aprofundar as pesquisas para se implementar melhorias ao modelo. Portanto, propõe-se a inclusão dos problemas identificados no modelo, a fim de tornar o mesmo mais fiel à realidade. Sugere-se ainda que a capacidade nominal e real dos equipamentos seja melhor analisada, a fim de fornecer dados de entrada mais reais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CNI (Confederação Nacional da Indústria). Pesquisa: os problemas da empresa exportadora brasileira: 2008. Brasília, 2008. 130 p.
- [2] CNT (Confederação Nacional do Transporte). Boletim econômico, dez. 2013. ([http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ECONOMICO/Dezembro/Boletim%20Econ%203%B4mico%20\(%20Dezembro%202013\)%20-%20AGREGADO.pdf](http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ECONOMICO/Dezembro/Boletim%20Econ%203%B4mico%20(%20Dezembro%202013)%20-%20AGREGADO.pdf). Acesso em: 20 abr. 2014).
- [3] ARAÚJO, D. M.; GRUTZMACHER, E. F. Os altos custos logísticos no Brasil. WebArtigos, 2012. (<http://www.webartigos.com/artigos/os-altos-custos-logisticos-no-brasil/101212/>. Acesso em: 12 mar. 2014).
- [4] FNP (Federação Nacional dos Portuários). Proposta de Reestruturação e Modernização da Gestão Portuária. Brasília, set. 2012. (<http://www.fnportuarios.org.br/wp-content/uploads/2013/01/PROPOSTA-DE-REESTRUTURA%20-%20AGREGADO.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2014.)
- [5] GUACHALLA, W. F. Avaliação dos reflexos da operação do virador de vagões em produção e na fila de trens para descarga de produtos. Belo Horizonte, 2012 (<https://www.ufmg.br/pos/geotrans/images/stories/diss015.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2014.)

- [6] WANKE, P. F.; CORTES, J.D. O PCP dos Portos: simulando a ligação navio-ancoradouro para redução dos custos totais de demurrage - PARTE 1. Revista Tecnológica, Vol. 158, p. 50-54, dez. 2008.
- [7] NISHIMURA, E., IMAI, A., PAPADIMITRIOU, S.: Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. European Journal of Operational Research Vol.131 p.282-292, 2001.
- [8] CASACA, A. C. P. Simulation and the lean port environment. Maritime Economics & Logistics Vol.7 p. 262-280, 2005.
- [9] CHANG, Y. F. Analysis of operations at the Kaohsiung port new mega container terminal. The Business Review Vol. 4 p.123-128, 2005.
- [10] TU, Y.P.E; CHANG, Y.F. Analyses of operations of ditch container wharf and container yard. The Journal of American Academy of Business, v. 9, p. 139-146, 2006.
- [11] PAROLA, F. E SCIOMACHEN, A. Intermodal container flows in a port system network: analysis of possible growths via simulation models. International Journal of Production Economics Vol.97 p.75-88, 2005.
- [12] DUINKERKEN, M. B., DEKKER, R., KURSTJENS, S. T. G. L., OTTJES, J. A. E DELLAERT, N. P. Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals. OR Spectrum Vol.28 p.469-493, 2006.
- [13] OTTJES, J. A., VEEKE, H. P. M., DUINKERKEN, M. B., RIJSENBRIJ, J. C. E LODEWIJKS, G. Simulation of a multiterminal system for container handling. OR Spectrum Vol.28 p.447-468, 2006.
- [14] IGNACIO, A.A.V.; NEVES C. Simulação de Capacidade de Terminais Portuários através da técnica de Simulação. In: XXIX ENEGEP, 2009, Salvador. XXIX ENEGEP 2009, XV ICIEOM, 2009.
- [15] NEVES C.; IGNACIO, A.A.V. Análise da Confiabilidade de Sistemas Operacionais através do Simul8: Caso da descarga de minério de ferro num terminal. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010, São Carlos - SP. ENEGEP 2010, 2010.
- [16] SEP (Secretaria de Portos da Presidência da República); UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina); LABTRANS (Laboratório de Transportes e Logística). Plano Mestre Porto de Itaguaí. Florianópolis, SC, 2012. (<<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnpl/arquivos/planos-mestres-versao-completa/porto-de-itaguaui.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2014).
- [17] SEP (Secretaria de Portos da Presidência da República); UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina); LABTRANS (Laboratório de Transportes e Logística). Plano Mestre Porto de Paranaguá. Florianópolis, SC, 2013. (<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnpl/arquivos/planos-mestres-summarios-executivos/pnlp-sumario-executivo-plano-mestre-do-porto-de-paranagua.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2014.)
- [18] CNT (Confederação Nacional do Transporte). Pesquisa CNT do transporte marítimo 2012. Brasília: CNT, 2012. 267 p.