



## 25º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore

Rio de Janeiro, 10 a 12 de Novembro de 2014

### Programação de Terminais Graneleiros - Chegada de Navios com Sistema de Controle de Velocidade

Floriano C. M. Pires Jr.  
Antonio Gusmão Uchôa Neto  
UFRJ

#### Resumo:

Na prática mundial dos transportes marítimos, o atendimento de navios em terminais graneleiros obedece à ordem de chegada (first-in-first-out), e o tempo de estadia (lay-time) é calculado a partir do aviso de chegada do navio (NOR – notice of readiness). Com o objetivo de promover a redução, simultaneamente, do custo de combustível e do impacto ambiental dos navios, bem como do congestionamento nos portos, têm sido propostos sistemas de chegada virtual.

O presente trabalho apresenta uma análise do impacto potencial do sistema de chegada virtual, com controle de velocidade de navios, para um terminal típico de minério de ferro.

O modelo analisado baseia-se na estimativa do tempo de chegada do navio, navegando na velocidade de serviço, a partir da entrada em uma região de controle definida por uma circunferência centrada no porto de destino. A partir da estimativa do tempo de chegada, o navio é colocado na fila de atendimento, e a velocidade pode ser otimizada, minimizando o consumo de combustível, e atendendo, para cada navio, as restrições de velocidade máxima igual à velocidade de serviço, e velocidade mínima para operação segura.

Para estimativa dos impactos, foi empregado um modelo de simulação para o caso de um terminal típico de exportação minério de ferro, com movimentação de carga própria, berço único e apenas um tipo de minério. A frota é composta de navios capesize. A análise inclui os custos de combustível, emissão de poluentes e formação de filas. São considerados os efeitos combinados de variações de distâncias de controle e de níveis de incerteza na operação do porto.

Os resultados indicam que, superadas as dificuldades relativas aos atuais padrões de contratação de navios e de operação de terminais, a adoção de chegada virtual tem significativo potencial de impacto econômico e ambiental.

#### 1 - Introdução

O comércio entre os países tem alavancado o desenvolvimento do transporte marítimo, no mundo inteiro, entre portos e terminais nos quais realizam movimentações de passageiros e cargas diversas. Com a demanda atual nos portos de carga a granel tende a crescer o número de navios que aguardam a sua vez de operar. Normalmente, os navios utilizam a velocidade máxima para alcançar o destino e emitir o aviso de prontidão (*Notice of Readiness - NOR*), e

assim garantir a sua vez na fila de atendimento e iniciarem a sua estadia. Por isso, as atuais regras padrão de mercado marítimo de contrato de afretamento levam ao desperdício de recursos com a prática de excesso de velocidade que ocasionam, na maioria das vezes, com as antecipações das chegadas dos navios nos fundeadouros, com prováveis congestionamentos. Em alguns portos do Brasil e Austrália ficam em média de 6 a 8 dias e de 10 a 14 dias em espera para operar respectivamente, segundo (DNV, 2007).

Duas associações de renome na indústria marítima, INTERTAMKO e OCIMF (2010), têm

proposto o sistema de Chegada Virtual, com o objetivo de reduzir simultaneamente o custo de combustível e o impacto ambiental dos navios, bem como o congestionamento nos portos.

Para a realização deste trabalho, é apresentado um modelo de controle de chegada, aplicado a simulação do estudo de caso, onde foram considerados os efeitos combinados de variações de distância de controle e de níveis de incertezas na operação do porto, sem considerar os efeitos meteorológicos e oceanográficos.

No sistema geral de operações faz-se necessário o conhecimento dos tipos de contratos, além de especial atenção às cláusulas contratuais referentes ao controle de velocidade das embarcações, que permitirá um ordenamento melhor do navio em sua chegada.

O cumprimento dos prazos de preparação das cargas e nomeações dos navios conforme estipulado em contrato é imprescindível para evitar atrasos em suas operações e no tempo de espera.

A Organização Marítima Internacional tem se preocupado com os problemas ambientais causados por navios. Esse impacto ambiental do transporte marítimo não é resolvido de forma isolada. Ao contrário, está diretamente ligado ao desenvolvimento global de tecnologia e de iniciativas de reduções de velocidade.

O objetivo deste trabalho é trazer uma contribuição para a área da navegação marítima mundial e a portuária, ao avaliar os resultados preliminares de potencial do impacto do sistema de chegada virtual, na operação de uma frota que irá compor a programação dos navios em um terminal típico de minério de ferro. Assim, é apresentada uma forma de tratar a questão da organização em fila de navios com a utilização de um modelo do sistema de controle de velocidade com a chegada virtual.

No padrão atual de operações os navios são obrigados a imprimir velocidade de serviço tal que os fazem esperar por dias, no fundeadouro, a autorização para atracar.

O controle de velocidade sob coordenação do terminal poderá resultar em muitos

benefícios para o porto e navio, tais como: economia no consumo de óleo combustível; redução no congestionamento do tráfego marítimo e conseqüente redução do risco de abalroamento; redução da poluição; além de outros benefícios para o armador, afretador e terminal; e inclusive, resultar na atracação *just in time* da embarcação. Neste sentido, modelos alternativos de controle de chegada têm sido propostos visando otimizar a operação marítima.

Embora já existam algumas iniciativas no transporte marítimo mundial, o controle da velocidade ainda não é uma prática difundida, o que pode vir a minimizar desperdícios, uma vez que o navio pode praticar o controle da chegada virtual para atendimento à programação do terminal de destino com um potencial ganho na economia, redução de combustível e dos impactos ao meio ambiente.

INTERTANKO e OCIMF (2010) introduziram a iniciativa da chegada virtual como forma de contribuir para uma política ambiental, gerenciamento econômico e outros ganhos significativos. Chegada virtual é um processo que envolve um acordo para reduzir a velocidade do navio em viagem, para satisfazer um tempo de chegada previsto, quando há um atraso no porto de chegada.

Em seu trabalho, Alvarez, Longva e Erna (2010) propuseram uma metodologia para avaliar os benefícios com a nova política de atracação (controle de chegada virtual), em contratos marítimos, dada a importância da estocasticidade sobre o desempenho de sistemas de transporte marítimo, bem como a necessidade de representar a programação e decisões de alocações feitas pela equipe do terminal.

Christos Kontovas; Harilaos e Psaraftis (2011) investigaram um cenário operacional, com foco na redução de velocidade para navios porta-contêineres e seus efeitos na redução de emissões e consumo de combustível. O estudo concluiu que a redução de velocidade, sob certas condições, é benéfica em termos de redução das emissões, mas a eficácia real do sistema depende da possibilidade de reduzir o tempo no porto.

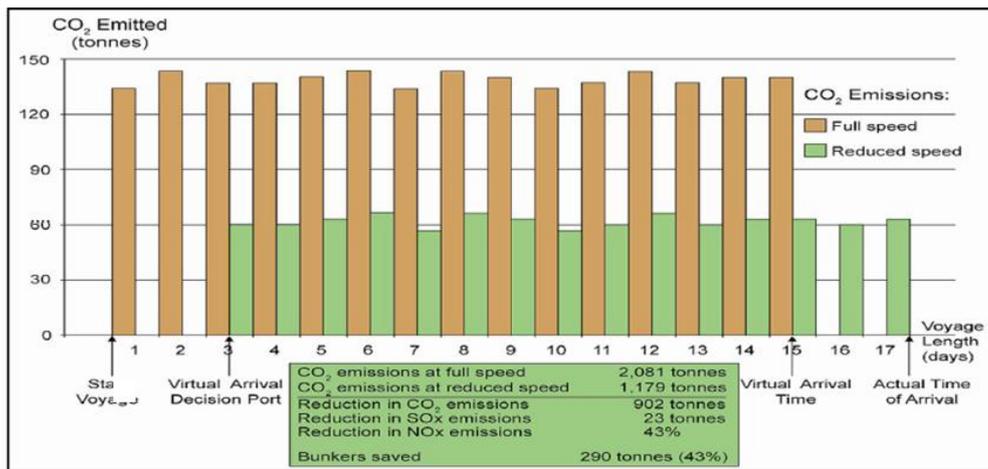


Figura 1 - Impacto do controle de chegada virtual sobre as emissões de gases nocivos.

Fonte: Adaptado de OCIMF (2010)

Por sua vez, Erika e Kristoffersen (2012) apresentam uma base teórica para compreender os fundamentos da otimização da velocidade. Seu estudo utilizou modelos para otimização da velocidade e determinar se a velocidade lenta (*slow steam*) sob diversas condições, pode ser vantajosa para o segmento petrolífero.

Ao concordarem mutuamente, terminal embarcador (exportador-importador) e afretador-armador, na redução da velocidade para alcançar a hora de chegada virtual acordada, o navio reduzirá seu tempo no fundeadouro à espera de uma vaga no berço para atracar. As emissões podem, portanto, ser reduzidas, os congestionamentos evitados e a segurança melhorada em zonas portuárias.

A ampla utilização dos contratos antigos e as políticas de atracação constituem uma importante contribuição para o consumo de combustível marítimo e congestionamento no porto.

A adoção do controle de chegada virtual tem benefícios além daqueles associados à redução das emissões e à economia de combustível conforme mostra Figura 1. Sua efetiva implementação requer uma boa cooperação e diálogo entre o armador/operador, afretador e o embarcador, e isso pode servir para remover muitos dos obstáculos comerciais que têm dificultado algumas iniciativas passadas para a redução das emissões. Tais obstáculos têm sido associados, por exemplo, com terceiros e as implicações contratuais, pelo fato que a parte que pagará pelo combustível poder não ser o operador técnico do navio. Uma falta de clareza a respeito de qual parte é responsável pelo pagamento de tempo de espera no porto

traduz outra dessas dificuldades OCIMF (2010).

A inclusão de cláusulas contratuais no contrato de compra e venda bem como no de afretamento, se faz necessária para a obtenção destas e de outras vantagens ao utilizar-se do sistema de controle de chegada virtual. Esta inclusão permitirá que um terminal privativo gere este controle de velocidade global ou parcial, e de chegada de navios, que faça parte da programação de atendimento. Estes benefícios estarão associados ao planejamento do terminal.

Novaes (1975), diz que o analista de transporte enfrenta problemas em que as filas surgem com implicações econômicas sérias, exigindo um tratamento racional do fenômeno, como por exemplo, nas seguintes situações: navios no porto esperando atracação, trens de carga aguardando linha, veículos em postos de pedágios, etc. A fila pode ocorrer não somente por um problema de capacidade do atendimento, mais também devido à variabilidade tanto no intervalo entre chegadas de clientes como do tempo de atendimento desses clientes.

As chegadas de clientes a um sistema são na maioria dos casos, de forma aleatória, ou seja, o número de clientes que chegam por unidade de tempo varia ao acaso. Torna-se importante, dessa forma, realizar um levantamento estatístico com a finalidade de descobrir se o processo de chegadas pode ser caracterizado por uma distribuição de probabilidades. Para que essa caracterização possa ser feita, o processo de chegadas tem necessariamente que estar no chamado estado estacionário. Isto significa que a distribuição de probabilidades que identifica o processo de hoje será a mesma de amanhã.

Ao contrário, quando a distribuição de probabilidades de um evento varia com o tempo, o sistema é dito no estado não estacionário ou transitório.

A fila é um processo estocástico, ou seja, seu estado num instante "t" (número de clientes presentes, tamanho da fila, tempo de espera, etc.) é uma variável aleatória.

A disciplina da Fila consiste em um conjunto de regras que está relacionada com a ordem em que os clientes que chegam serão atendidos. Esse atendimento pode ser feito pela ordem de chegada, pela ordem inversa de chegada, pelo atendimento com prioridade para certas idades, etc. A disciplina mais comum que pode ser observada é a chamada FIFO (First in First Out) ou FCFS (*first come, first served* - o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido). Outra disciplina de fila é a chamada LIFO (*Last in First Out*) ou LCFS (*last come, first served*), ou seja, último a chegar é o primeiro a ser atendido. Este tipo de fila é aplicável em sistema de controle de estoque onde o item mais recente é mais fácil de ser apanhado e em esquema de prioridade e aleatoriedade. Têm-se ainda disciplinas menos comuns, como, por exemplo, a SIRO (Services-In-Random-Order), onde o atendimento é feito por ordem aleatória; ASPT (Shortest-Processing-Time first), onde o cliente a ser atendido em primeiro lugar é aquele cujo tempo de atendimento é menor; e ainda, a disciplina de PR (*Priority Rules*), onde o atendimento é feito de acordo com as regras de prioridades pré-estabelecidas.

Ao efetuar o dimensionamento de um sistema, é necessário conhecer as suas variáveis, como: tempo médio de espera na fila, número médio de cliente no sistema, a quantidade de atendentes, etc. Na Teoria de Filas e/ou na Simulação, estas variáveis são aleatórias, ou seja, são descritas por uma distribuição de probabilidades.

Na Figura 2, observa-se o exemplo de um sistema de filas, no qual clientes chegam e entram na fila, existindo M servidores para atendê-los.

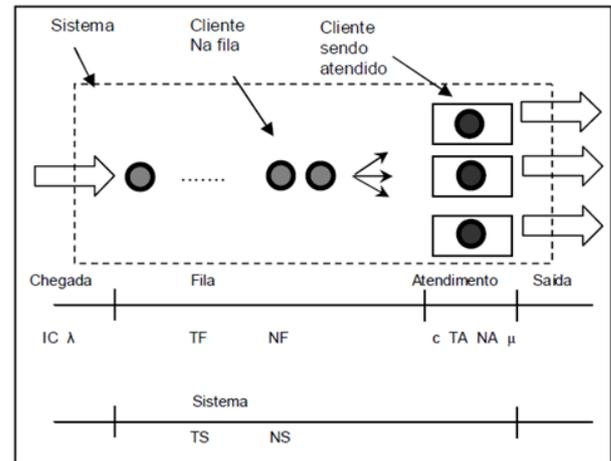


Figura 2 - Localização das variáveis.  
Fonte: Adaptado Prado (2004).

As variáveis aleatórias utilizadas em dimensionamento são:

- Referentes ao sistema:
  - TS: Tempo médio de permanência no sistema;
  - NS: Número médio de clientes no sistema
- Referentes ao processo de chegada:
  - $\lambda$ : Ritmo médio de chegada;
  - IC: Intervalo médio entre chegadas (inverso de  $\lambda$ ).
- Referentes à fila:
  - TF: Tempo médio de permanência na fila;
  - NF: Número médio de clientes na fila.
- Referentes ao processo de atendimento:
  - $\mu$ : Ritmo médio de atendimento de cada atendente (ou taxa de serviço);
  - TA: Tempo médio de atendimento ou de serviço, o qual é definido pelo inverso de  $\mu$ ;
  - C: Quantidade de atendentes;
  - NA: número médio de clientes que estão sendo atendidos.

Um sistema de um canal de atendimento com uma população finita de clientes indica que o número máximo de clientes que podem solicitar serviços é fixado.

Este modelo pode apresentar as seguintes características:

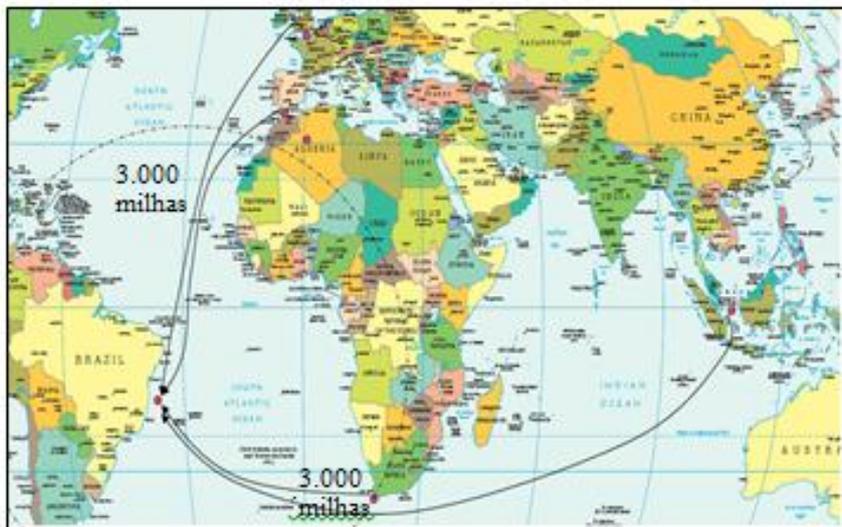


Figura 3 – Área de controle de velocidade

- Taxa de chegada  $\lambda$ , geralmente segundo a distribuição de Poisson;
- Taxa de atendimento  $\mu$ , comumente segundo a distribuição exponencial negativa;
- Número finito de clientes  $K$ ;  
Disciplina da fila: suposto por ordem de chegada.

E é constituído pelas seguintes equações:

- Número médio de clientes na fila:

$$NF = K - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0) \quad (1)$$

- Tempo médio gasto na fila:

$$TF = \frac{K}{\lambda} - \frac{(\lambda + \mu)(1 - P_0)}{\lambda^2} \quad (2)$$

A análise baseada na simulação computacional tem como uma das principais características a criação de modelos que representam os sistemas reais. É uma ferramenta adequada para se modelar um sistema no qual a variação estatística e a interdependência de seus elementos são tais que a programação linear e outros métodos de otimização não se mostram práticos ou aplicáveis. Existem vários simuladores no mercado, tais como: Promodel Corporation, Arena Systems Modeling Corporation, eN Plant, GPSS H Wolverine Software, Quest etc. Nesta simulação, utilizou-se o sistema

ProModel®, que é um simulador de eventos discretos escolhido para a simulação deste estudo de caso.

## 2 - Um modelo de controle de chegada

O sistema de controle de chegada proposto no presente trabalho conforme Uchôa (2013) funcionará da seguinte maneira: a partir do Porto de Tubarão (ES), é traçado um raio imaginário de 3.000 milhas náuticas, sem se preocupar com as origens das embarcações destinadas ao Terminal. O mais importante neste primeiro momento é a distância que falta do navio até a chegada ao porto de destino, em Tubarão. As referências geográficas para entrada no sistema serão às seguintes: a Nordeste (NE), nas proximidades do Estreito de Gibraltar; a Noroeste (NO), o Golfo do México; ao Sul (S), nas proximidades da Terra do Fogo, no Chile; e a Leste-Sudeste (LS), nas proximidades da África do Sul, a cidade do Cabo, conforme exemplifica a Figura 3.

A partir do porto de destino é utilizado um raio imaginário de 3.000 milhas de distância como início de entrada na área de controle. O tempo de viagem será, aproximadamente, de oito a quinze dias até ao porto de destino, levando-se em conta as variações das velocidades entre 8 a 15 nós. Isto permitirá aos comandantes melhores ajustes no controle das velocidades para alcançar o novo ETA (Tempo Estimado de Chegada) programado, agora virtual, e fornecido pelo terminal.

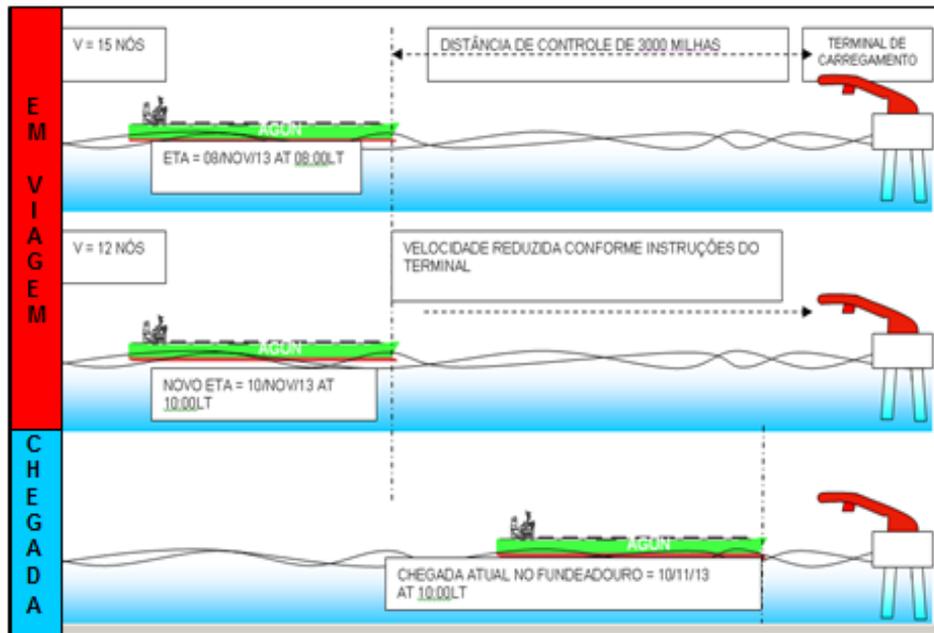


Figura 4 - Demonstração visual do processo de chegada virtual  
 Fonte: Adaptado de OCIMF (2010).

Ao ingressar no sistema de controle (Figura 4), os comandantes deverão fornecer ao terminal, através dos seus agentes de navegação, e/ou através do Weather Analysis Services Provider-WASP, as seguintes informações: localização (no porto ou em viagem com as coordenadas geográficas); velocidade de serviço; velocidade atual; distância que falta navegar; seu *ETA* na entrada de controle; seu *ETA* no porto de destino; quantidade de óleo a bordo; consumo diário; condições de mar e vento e demais informações estabelecidas contratualmente.

A programação de atendimento na fila deverá obedecer à ordem de chegada do navio, conforme o *ETA* inicial, calculado de acordo com a velocidade de serviço. Por isto, é aconselhável a utilização de um serviço independente (empresa controladora, - *WASP*), para monitorar, orientar e certificar a veracidade das informações fornecidas pelo navio, bem como instruir as mensagens repassadas pelo terminal.

Ao receber as informações do navio, o terminal deverá inseri-lo, inicialmente, na fila, na modalidade de atendimento *FIFO*. A nova data/hora de chegada é calculada pelo terminal conforme a programação da carga, *laydays* acordado contratualmente. A partir deste momento, o navio passa a fazer parte de uma nova modalidade de atendimento:

modalidade de atendimento de chegada virtual. Vale lembrar que a velocidade aqui calculada, deva estar entre 8 e 15 nós. Determinado o cálculo da nova data de chegada, e/ou da nova velocidade, o terminal enviará instruções ao navio, através de seus agentes locais ou *WASP*, para que o comandante siga viagem com a velocidade ou *ETA* virtual estabelecida.

O navio ao receber as instruções do terminal ajusta a velocidade e passa a utilizar a nova data/hora de chegada, que será a *NOR* virtual. Estas informações devem ser atualizadas diariamente ou, no máximo, a cada dois dias.

**Pré-condições de aceitação da *NOR* virtual com a utilização de um modelo de controle de velocidade a partir de uma distância, de raio centrado no porto de destino, são:**

- Acordo contratual entre o terminal embarcador (exportador) e o comprador (importador); armador e afretador e demais envolvidos no interesse da carga;
- Determinar a velocidade mínima e a máxima a ser utilizada pelo navio;

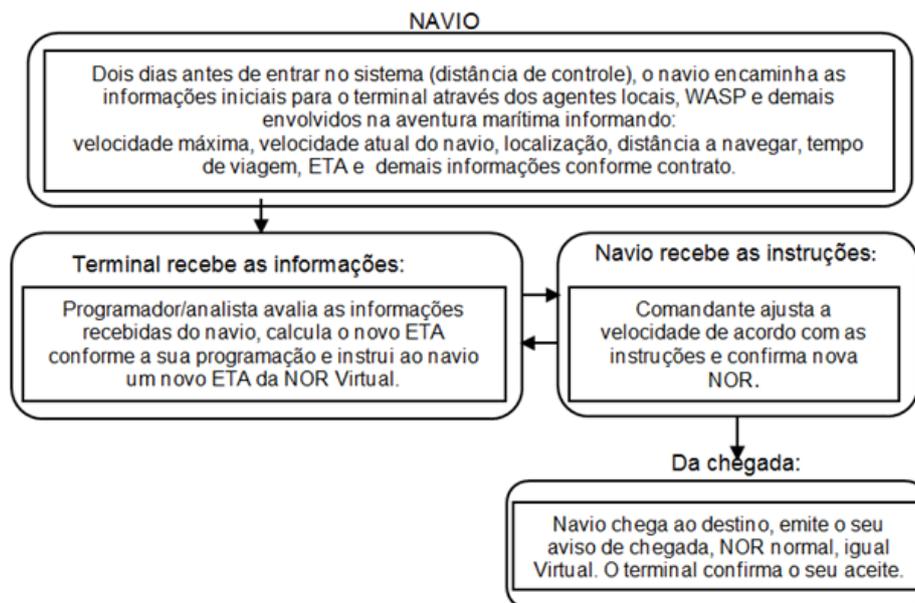


Figura 5 - Fluxograma da Programação.  
Fonte: Adaptado de OCIMF (2010).

- Determinar a distância de controle de entrada no sistema (sugere-se 3.000 milhas) para alterar a velocidade do navio. O comandante terá o livre arbítrio em adotar a velocidade segura que não ponha em risco a tripulação e o navio (por exemplo, sob condições oceanográficas e meteorológicas adversas);
- Acordar a frequência de solicitações de alterações (ex: solicitar alterações a cada 2 dias de viagem, antes da chegada ao seu destino). O navio iniciará o envio dos dados de chegada, bem como a data e hora previstas para entrada no sistema com 2 dias de antecedência, (Figura 5),.

Uma vez dentro do sistema é garantido o atendimento e a validade da NOR virtual, desde que a embarcação chegue na data/hora determinadas, conforme programação do terminal.

### 3 - Estudo de caso

Para efeitos do presente estudo é utilizado como referência o terminal de minério de ferro do porto de Tubarão.

O porto possui três berços para carregamento de minério de ferro e pelota, está situada na cidade de Vitória - ES, na ponta de Tubarão e, recebe navios originários de vários continentes. Será utilizado como referência o berço do píer II, com capacidade para navios de até 405.000 toneladas métricas, comprimento do canal de acesso com 4.422,00m; comprimento máximo de navios de 365m, boca máxima (largura do navio) de 66m e calado máximo para 23m. Os navios manobram (atracar e desatracar), em qualquer horário (Figura 6).

O pátio de estocagem, com capacidade de aproximadamente 4 milhões de toneladas de minério, e a área de fundeio (Figura 7), com capacidade de no mínimo, 20 navios. As embarcações chegam, emitem seus avisos de prontidão (NOR), no fundeadouro, são programadas e atendidas na fila na modalidade *FIFO*. Na simulação será utilizada a distribuição de Poisson no processo de chegada dos navios por ela ter se mostrado aplicável a área portuária



Figura 6 - Foto aérea do 1º carregamento do navio Vale Espírito Santo com 395.373 Toneladas de minério de ferro e calado máximo de 23 m.  
Fonte: Vale 2013.



Figura 7 - Capacidade do fundeadouro dos Portos de Tubarão, Praia Mole, Tubarão Placas e Vitória.

Fonte: Google Earth, 15 julho 2013

A simulação avaliou uma configuração básica definida como distância de entrada no sistema de controle de 3.000 milhas, em um terminal de berço único para carregamento que atenderá a uma mesma classe de navios, capesizes.

Neste sentido todos os recursos tiveram seus parâmetros alterados e as estatísticas da simulação foram analisadas.

As características necessárias à modelagem são:

Do terminal:

- Um berço;
- Apenas um tipo de carga (minério) com as mesmas características;
- Taxa de carregamento de 10.000 t/h;
- Profundidade do berço de 23m;
- Distância de controle de velocidade de entrada no sistema: 3.000 milhas;
- Fundeadouro com capacidade de, no mínimo, 20 navios;
- Intervalo de manobra entre navios entrada/saída) de 2:10h.

Do navio

- *Bulk Carrier* (graneleiro);
- Tipo *Cape size* com Tonelada de Porte Bruto (TPB): 185.000 MT;
- Porte Comercial de 180.000 MT;
- Comprimento (Loa): 292m;
- Boca: 47m;
- Calado máximo 18,5m;
- Tempo de carregamento: 18h.

O processo de executar a modelagem de um sistema usando ProModel começa por definir no modelo, as denominações dos elementos de modelagem. Alguns elementos

do modelo levam a sua inicial para facilitar a programação (ex: Lgibraltar, Rpilot, etc). A seguir, tem-se algumas funções do modelo:

Locais, é o nome de um lugar imóvel de processamento ou armazenamento num sistema, para o qual *entidades* (*navios - bulk\_carrier1*) são movidas para serem armazenadas, processadas ou tomar novo roteiro.

Entidade é um item, como se fosse um produto em fabricação, que é processado no modelo. A imagem que representa uma entidade pode ser trocada como resultado de uma operação para se ilustrar uma mudança física da entidade durante uma simulação. Isto ocorre com a entidade *bulk\_carrier1* que muda de cor após o carregamento.

Rotas são elementos opcionais e definem o caminho utilizado por entidades e recurso para se moverem no sistema. As rotas são constituídas de nós conectados por segmentos (que são definidos graficamente através de simples cliques de mouse), e de interfaces desses nós com locais.

Recursos podem ser dinâmicos ou estáticos. O que difere estes dois tipos de recursos é o fato de o primeiro ser vinculado a uma rota e o segundo não. O recurso do nosso modelo é dinâmico.

Neste trabalho não houve necessidade de considerar todas as variáveis da área portuária. Apenas foram consideradas as seguintes variáveis: velocidades, quantidade de navios carregados, quantidade de navios no sistema, dias de viagem (a partir da distância de controle), tempo médio fundeado (em espera), quantidade média e máxima no fundeadouro e quantidade de navios em viagem.

Os cenários apresentados a seguir, exemplificarão situações que serão estudadas com as simulações no modelo estocástico durante o período de um ano. :

Cenário I - corresponde à representação da utilização do sistema de controle de velocidade a partir de 3.000 milhas náuticas de raio centrado no porto de carregamento e, com taxa de entrada no sistema de  $\lambda=1.1$  na distribuição de Poisson com etapas de A, B, C, D e E, com análise da simulação do cálculo de prêmio/multa USD \$11,000. 00/22,000.00, das etapas A, B, C e D conforme Tabela 3.

Cenário II - simulação dos efeitos combinados de variações de distâncias de controle (3.000, 1.500 e 4.500 milhas), com tempo de operação de 18 horas, tempo médio de 20 horas e máximo de 24 horas. Para representar o tempo de carregamento de 18 horas, as incertezas da operação com tempo médio de 20 horas e máximo de 24 horas, será utilizada como a média e desvio padrão que se distribuem segundo uma função de densidade de probabilidade triangular (18,20,24), com as etapas de A a F.

Os seguintes indicadores foram utilizados no modelo para realização da análise de sensibilidade dos impactos do controle de chegada virtual:

- Redução do consumo de óleo combustível;
- Redução da emissão de CO<sub>2</sub>;
- Redução da quantidade de navios nos fundeadouros;
- Redução no tempo de espera dos navios no fundeadouro; e
- Impactos operacionais decorrentes de ganhos em prêmio e multa.

#### Modelo Operacional Determinístico

Esta é a fase do modelo que servirá para calibrar o sistema com a utilização do tempo de carregamento e de manobra já descritos nas informações necessárias à modelagem. As entradas dos navios no sistema, bem como as suas chegadas ao porto para atendimentos são constantes (um navio a cada 20:10h), com um intervalo pré-determinado; portanto, os tempos entre chegadas e saídas não são variáveis aleatórias.

Os equipamentos portuários funcionam sem interrupções, existe sempre carga disponível no pátio de estocagem, terminal de um berço, com apenas um tipo de carga –

minério com a mesma especificação.

Os navios que se destinam ao terminal são navios de uma mesma frota e possuem velocidades constantes. Os efeitos das condições meteorológicas e atmosféricas de mar, vento e corrente não são considerados. Os navios chegam e atracam sem aguardar a sua vez na fila de espera, ou seja, a sua chegada coincide com a liberação do navio atracado. Nesta etapa será determinada a quantidade de navios que o terminal poderá atender, sem interrupções, no período de um ano.

Taxa de chegada constante = um navio a cada 20:10h = tempo de carregamento 18 h + tempo de manobra 2:10 h.

Os dados do modelo determinístico foram utilizados para calibrar o modelo, conforme descrito anteriormente. Os navios entram no sistema de controle de chegada virtual a partir de uma distância de 3.000 milhas de raio centrado no terminal de carregamento, todos com velocidades iguais a 15 nós.

A duração da viagem, desde o início do sistema de controle, até a chegada ao fundeadouro, é em média 8,46 dias para um total de 436 navios atendidos no terminal. É este o valor que será utilizado como o número máximo de navios a serem atendidos no terminal com o tempo de carregamento de 18 horas. Neste modelo o número de navios no fundeadouro é sempre igual a zero. Foram registrados em viagem (em movimento no sistema), 11 navios a caminho do seu destino final conforme Tabela 1.

#### Modelo Operacional Estocástico

O modelo de simulação de Monte Carlo empregado está representado pela Figura 8. É considerada uma situação típica de terminal de carregamento com movimentação de carga própria.

Tabela 1 - Dados de simulação do modelo determinístico com período de simulação de um ano.

Velocidade m/m	Navios carregados	Navios anunciados	Dias de viagem	Tempo médio Fundeado	Conteúdo médio (navio)	Conteúdo máximo (navio)	Em viagem
463 (15 nós)	436	436	8,46	0	0	1	11

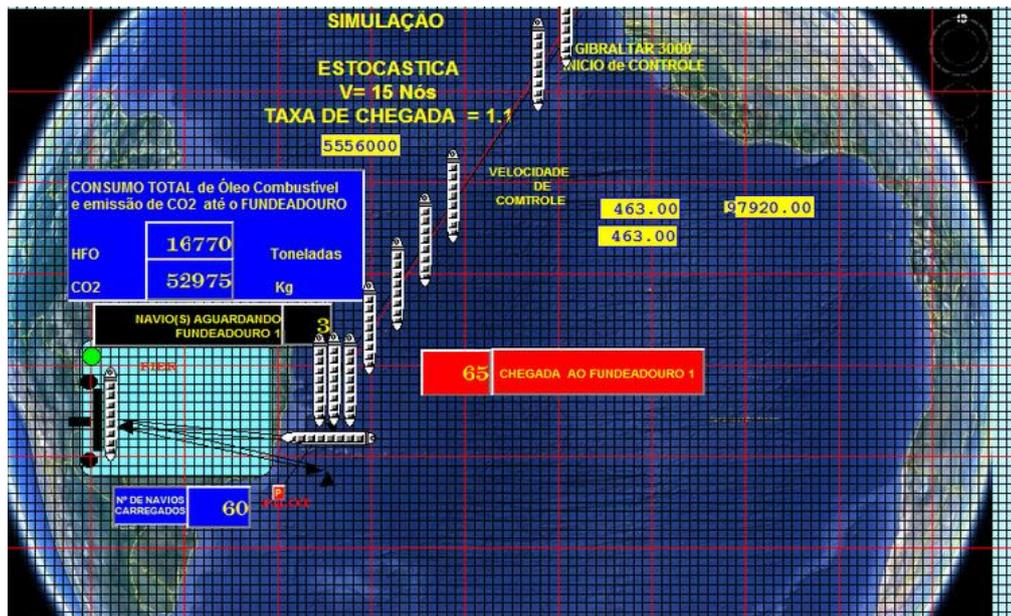


Figura 8: Simulação estocástica no simulador ProModel®.  
Fonte: ProModel, 2013.

O modelo estocástico que tem a finalidade de tentar representar uma situação típica de chegada de navios para operação de carregamento, em um terminal com movimentação de carga própria. (A característica do terminal e navio é a mesma citada anteriormente, e o valor do Oil – MFO), é de US\$618.00 (dólar americano), conforme Bunkerworld (2013).

O cálculo do consumo de combustível foi considerado pela proporcionalidade ao cubo

da sua velocidade (Alderton, 2011) e, para o cálculo do volume de emissões de CO<sub>2</sub>, utilizou-se o fator 3,13 (em Quilogramas), conforme dados da Figura 9.

**Descrição do Cenário I. Distância de entrada no sistema de 3.000 milhas náuticas de raio centrado no porto de carregamento e taxa de entrada no sistema de  $\lambda=1.1$ , na distribuição de Poisson, serão realizadas as seguintes etapas:**

<i>Fuel-based exhaust gas emission factors used in the 2007 inventory</i>			
<b>Emission</b>	<b>Emission factor (kg emitted/tonne of fuel)</b>	<b>Guideline reference</b>	
CO	7.4	CORINAIR	
NM VOC	2.4	CORINAIR	
CH <sub>4</sub>	0.3	IPPC 2006/CORINAIR	
N <sub>2</sub> O	0.08	IPPC 2006/CORINAIR	
CO <sub>2</sub>	<i>Residual fuel oil</i>	3,130	IPPC 2006
	<i>Marine diesel oil</i>	3,190	IPPC 2006
SO <sub>2</sub>	<i>Residual fuel oil (2.7% S)</i>	54	CORINAIR
	<i>Marine diesel oil (0.5% S)</i>	10	CORINAIR
NO <sub>x</sub>	<i>Slow-speed diesel engines</i>	90 \ 78 (85)*	–
	<i>Medium-speed diesel engines</i>	60 \ 51 (56)*	–
	<i>Boilers</i>	7	–
PM <sub>10</sub>	<i>Residual fuel oil</i>	6.7	CORINAIR
	<i>Marine diesel oil</i>	1.1	CORINAIR

\* NO<sub>x</sub> Emission factors: non-regulated \ subject to IMO NO<sub>x</sub> regulation (2007 average emission factor).

Figura 9: Fator para cálculo do volume de emissões de CO<sub>2</sub>  
Fonte: Second IMO Study (GHG), 2009.

Etapa A – simulação sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades iguais a 15 nós e 180.000 (TPB) semelhantes, tempo de carregamento fixo de 18 horas (Tabela 2).

- Tempo de espera no fundeadouro;
- Quantidade de óleo consumido pela frota;
- Quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pela frota.

Etapa B - simulação com aplicação do controle de velocidade, variação de velocidade entre 8 e 15 nós e tempo de carregamento fixo de 18 horas.

É importante destacar que caso a velocidade resultante pelo sistema seja menor que 8 nós, será obedecida à velocidade mínima de 8 nós. Caso ultrapasse 15 nós será ajustada para a velocidade máxima, 15 nós.

Etapa C – simulação sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades iguais a 15 nós e tempo de carregamento variável entre 14 a 22 horas que representam carregamento de navios com 140.000 a 220.000 TPB (Tabela 2).

1 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas da etapa B em relação a A: não houve variação na quantidade de navios programados para atendimento, dos 411; a quantidade média de navios fundeados é de 1,85, equivalente a uma redução de 65,16%; o tempo de espera dos navios no fundeadouro para operar é de 2,28 dias, uma redução de 57,93%; houve impacto na economia do consumo de óleo combustível (MFO) e redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 51,32%; cada navio da frota economizou 286,98 toneladas de óleo combustível, no valor de USD \$ 177,353. 64, sem emitir 898.25 Kg de CO<sub>2</sub> em 12,37 dias de viagem, com a aplicação do critério do controle de velocidade.

Etapa D - simulação com aplicação do controle de velocidade, variação de velocidade entre 8 e 15 nós, tempo de carregamento variável, entre 14 as 22 horas que representam 140.000 a 220.000 TPB.

Etapa E – simulação do cálculo de prêmio/multa USD \$11,000.00/22,000.00, análise comparativa com e sem controle de velocidade entre as etapas A, B, C e D (Tabela 3).

A análise mostrou que os resultados apresentados na etapa B mostram ganhos mais significativos do que a etapa A. Isso ocorre devido a opção da utilização do sistema de controle de velocidades dos navios na etapa B, com apenas uma alteração de velocidade (entre 8 a 15 nós).

### Análise do cenário I – Etapas de A-B, C-D e E. Distância de entrada no sistema de 3.000 milhas com os seguintes indicadores de análise.

- Quantidade de navios atendidos;
- Quantidade de navios fundeados;

2 - Apresentam-se a seguir, as análises

Tabela 2- Resultados das variáveis e dos indicadores das etapas A, B, C e D, com distância de controle de 3.000 milhas.

Sem sistema de controle de velocidade, – velocidade iguais a 15 nós									
ETAPA	Navios Carregados	Dias de Viagem	Velocidade Média e Consumo de óleo (MFO)	Consumo total de óleo em viagem	Emissão total de CO <sub>2</sub>	Tempo fundeado (dias) (TF)	Navios no fundeadouro (quantidade) Médio Atual (NF)		Navios em Viagem
A	411	8,46	15 nós 66,09 t/dia	229.798,89 T	719.270,5 Kg	5,42	5,31	11	11
Com sistema de controle de velocidade, – variação de velocidade 8 a 15 nós									
B	411	12,37	10,51 nós 22 t/dia	111.849,54 T	350.089,06 Kg	2,28	1,85	0	0
Sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades de 15 nós e tempo de carregamento variável entre 14 a 22 horas.									
C	419	8,46	15 nós 66,09 t/dia	234.271,87 T	733.270,94 Kg	5,46	5,33	18	13
Com controle de velocidade, navios com velocidades iguais a 15 nós e tempo de carregamento variável entre 14 a 22 horas									
D	420	12,47	10,16 nós 20,2 t/dia	105.795,48 T	331.139,85 Kg	1,66	1,26	5	18

realizadas entre as etapas D e C: houve acréscimo na quantidade de navios programados para atendimento, de 419 para 420; a quantidade média de navios fundeados é de 1,26, equivalente a uma redução de 76,36%; o tempo de espera dos navios no fundeadouro para operar é de 1,66 dias, uma redução de 69,6%; houve impacto na economia do consumo de óleo combustível (MFO) e redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 54,8%; cada navio da frota economizou 305,9 toneladas de óleo combustível, no valor de US\$189,043. 83, sem emitir 926.23 Kg de CO<sub>2</sub> em 12,47 dias de viagem, com a aplicação do critério do controle de velocidade.

Os resultados apresentados desta etapa mostram ganhos mais significativos comparados com os dados da etapa B e A. Isto ocorre devido à opção da utilização do sistema de controle de velocidades dos navios com variações de velocidades, entre 8 a 15 nós, e a utilização no tempo de carregamento variável (aleatório) entre 14 a 22 horas.

Etapa E – Neste estágio com os dados da Tabela 2, será obtida uma estimativa do cálculo do prêmio e multa das etapas A, B, C e D. Será considerado o valor da estadia fixa para prêmio, US\$ 11.000,00 e multa, US\$ 22.000,00. O tempo de *laytime* será de 2 dias (48h) para todos os navios atendidos no mesmo período (um ano) conforme tabela 3, com os seguintes indicadores:

- Nº de estadia sem sistema de controle;
- Cálculo do prêmio/multa;
- Nº de estadia com sistema de controle;
- Cálculo do prêmio/multa;

3 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas de prêmio e multa da etapa B em

relação a A: com a utilização do sistema de controle, o tempo total médio de estadia foi de 2,28 dias, gerou apenas 0,28 dias médios de sobrestadia (USD\$ 2.531.760,00) e resultou num impacto de 91,81% na redução de valores de multa a ser paga pelo embarcador, equivalente a uma economia total de USD\$ 28.391.880,00. Neste cálculo foi considerado apenas o tempo de espera no fundeadouro.

4 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas de prêmio e multa da etapa D em relação a C: com a utilização do sistema de controle, o tempo total médio de estadia foi de 1,66 dias e gerou 0,34 dias de estadia (prêmio ou *despatch*), no valor estimado de USD\$ 1.570.800,00 a favor do embarcador, e resultou num impacto de 100% na redução de valores de multa a ser paga pelo embarcador equivalente a uma economia total de USD \$ 31.894.280,00 passando a ter um ganho adicional de 4.9% de prêmio(*dispatch*) no valor de USD\$ 1,570,800.00 (Tabela 3). Neste cálculo foi considerado apenas o tempo de espera no fundeadouro.

**Descrição do cenário II – Etapas A, B, C, D, E e F. Incertezas na operação com as distâncias de controle de 3.000, 1.500 e 4.500 milhas; tempo de carregamento 18 horas; tempo médio de carregamento de 20 horas e máximo de 24 horas;**

Etapa A – distância de 3.000 milhas, simulação sem aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades iguais a 15 nós, carregamento fixo (18h) com incertezas operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

Etapa B – distância de 3.000 milhas, simulação com aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades variáveis de 8 a 15 nós, carregamento fixo (18h) com incertezas

Tabela 3 – Cálculo de estadia fixa para prêmio/multa de US\$ 11,000.00/22,000.00 (dólares americanos) das etapas A, B, C e D.

Sistema de Controle		Estadia Nº dias	Laytime nº dias	Sobrestadia	Número de Navios	Premio USD \$	Multa USD \$	Total USD \$
A	Não	5,42	2	3,42	411	11.000,00	22.000,00	30.923.640,00
B	Sim	2,28	2	0,28	411	11.000,00	22.000,00	2.531.760,00
C	Não	5,46	2	3,46	419	11.000,00	22.000,00	31.894.280,00
D	Sim	1,66	2	Prêmio 0,34	420	11.000,00	22.000,00	1.570.800,00

operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

Etapa C – distância de 1.500 milhas, simulação sem aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades iguais a 15 nós, carregamento fixo (18h) com incertezas operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

Etapa D – distância de 1.500 milhas, simulação com aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades variáveis de 8 a 15 nós, carregamento fixo (18h) com incertezas operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

Etapa E – distância de 4.500 milhas, simulação sem aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades iguais a 15 nós, carregamento fixo (18h) com incertezas operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

Etapa F – distância de 4.500 milhas, simulação com aplicação do sistema de controle de velocidade, velocidades variáveis de 8 a 15 nós, carregamento fixo (18h) com

incertezas operacionais (interrupções no carregamento de até 6 h, aleatório).

**Análise do cenário II – Etapas A-B, C-D e E-F. Incertezas nas operações com as distâncias de 3.000, 1.500 e 4.500 milhas; tempo de carregamento 18 horas; tempo médio de carregamento de 20 horas e máximo de 24 horas, conforme Tabela 4, com os seguintes indicadores de análise:**

- Quantidade de navios atendidos;
- Quantidade de navios fundeados;
- Tempo de espera no fundeadouro;
- Quantidade de óleo consumido pela frota;
- Quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pela frota.

1 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas entre as etapas B(com controle) e A (sem controle), conforme dados da Tabela 4: com as incertezas operacionais que provocaram atrasos nas operações de 18h às 24 h, a quantidade de navios atendidos foi a mesma, de 383; a quantidade média de navios fundeados foi de 8,83, equivalente a uma redução de 43,72%; o tempo de espera dos navios no fundeadouro para operar foi de 8,82

Tabela 4 – Resultados das variáveis e dos indicadores das etapas A, B, C, D E e F, sem controle e com controle de velocidade. Variação de velocidade entre 8 e 15 nós e tempo de carregamento fixo de 18 horas com registro de incertezas operacionais no carregamento de até 24 horas. Distância de controle de 3.000, 1.500 e 4.500 milhas.

3.000. milhas. Sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades de 15 nós. Carregamento fixo com incerteza na operação 6h.									
ETAPA	Navios Carregados	Dias de Viagem	Velocidade Média e Consumo de óleo (MFO)	Consumo total de óleo em viagem	Emissão total de CO <sub>2</sub>	Tempo fundeado (dias) (TF)	Navios no fundeadouro (quantidade) Médio Atual (NF)		Navios em Viagem
A	383	8,46	15 nós 66,09 t/dia	214.143,50 T	670.269,14 Kg	14,98	15,69	23	9
3.000 milhas. Com sistema de controle de velocidade – variação de velocidade 8 a 15 nós. Carregamento fixo e incerteza na operação 6h.									
B	383	13,28	9,65 nós 16 t/dia	81.379,84 T	254.718,89 Kg	8,82	8,83	20	12
1.500 milhas. Sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades de 15 nós. Carregamento fixo com incerteza na operação 6h.									
C	390	4,29	15 nós 66,09 t/dia	110.575,18 T	346.100,31Kg	22,58	24,81	34	4
1.500 milhas. Com sistema de controle de velocidade – variação de velocidade 8 a 15 nós. Carregamento fixo e incerteza na operação 6h.									
D	390	7,14	9,06 nós 12 t/dia	33.415,20 T	104.589.576 Kg	19,74	21,55	32	7
4.500 milhas. Sem aplicação do controle de velocidade, navios com velocidades de 15 nós. Carregamento fixo com incerteza na operação 6h.									
E	388	12,63	15 nós 66,09 t/dia	323.870,08 T	1.013.713,35Kg	18,23	19,74	30	14
4.500 milhas Com sistema de controle de velocidade – variação de velocidade 8 a 15 nós. Carregamento fixo e incerteza na operação 6h.									
F	393	18,83	10,24 nós 17 t/dia	125.803,23 T	393.764,11 Kg	6,07	5,65	6	21

dias, uma redução de 41,12%; gerou impacto na economia do consumo de óleo combustível (MFO) e redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 53,91%.

Cada navio da frota economizou 346,64 toneladas de óleo combustível, no valor de USD \$ 214,224.39, sem emitir 1.084,98 Kg de CO<sub>2</sub> em 11,82 dias de viagem, com a aplicação do critério do controle de velocidade.

2 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas entre as etapas D (com controle) e C (sem controle), conforme dados da Tabela 4: com a incerteza operacional que provocou atraso nas operações de 18h às 24 h, a quantidade de navios atendidos foi a mesma, de 390; a quantidade média de navios fundeados foi de 21,55, equivalente a uma redução de 13,14%; o tempo de espera dos navios no fundeadouro para operar foi de 19,74 dias, uma redução de 12,58%; gerou impacto na economia do consumo de óleo combustível (MFO) e redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 69,78%.

Cada navio da frota economizou 197.85 toneladas de óleo combustível, no valor de USD \$ 122,271.3, sem emitir 619.27Kg de CO<sub>2</sub> em 7,14 dias de viagem, com a aplicação do critério do controle de velocidade.

3 - Apresentam-se a seguir as análises realizadas entre as etapas F (com controle) e E (sem controle) conforme dados da Tabela 4: com a incerteza operacional que provocou atraso nas operações de 18h às 24 h, a quantidade de navios atendidos foi de 393; a quantidade média de navios fundeados foi de 5,65, equivalente a uma redução de 71,38%; o tempo de espera dos navios no fundeadouro para operar foi de 6,07 dias, uma redução de 66,70%; gerou impacto na economia do consumo de óleo combustível (MFO) e redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 61.16%.

Cada navio da frota economizou 503,97 toneladas de óleo combustível, no valor de USD \$ 311.463,90, sem emitir 1.577.43 Kg de CO<sub>2</sub> em 18,83 dias de viagem, com a aplicação do critério do controle de velocidade.

Comentários gerais:

Mesmo com os níveis de incertezas nas operações, em todos os cenários, houve ganhos significativos na redução do tempo de espera no fundeadouro, na quantidade de navios e no consumo de combustíveis que confirmam a eficiência da utilização do sistema de controle de velocidade dos navios.

#### 4 - Conclusão e considerações Finais

Foram realizadas avaliações das estimativas do potencial impacto de um modelo de chegada virtual, com a utilização do sistema de controle de velocidade, num terminal típico de minério de ferro com movimentação de carga própria, berço único, que atende a uma mesma frota composta de navios de mesmo porte. Um grande desafio no setor marítimo portuário é implantar um sistema de controle de velocidade integrado a programação do terminal que determinará uma nova política de atracação com a chegada virtual.

O modelo proposto de controle de chegada consiste no ajuste da velocidade do navio a partir de um determinado raio centrado no porto de destino. A metodologia aplicada foi à simulação de Monte Carlos, sem controle e com controle de velocidade, que mostrou resultados bastante significativos.

A análise indicou, através de simulações, no período de um ano, com a utilização de distâncias para o controle de velocidades variadas (3.000, 1.500 e 4.500 milhas náuticas), resultados importantes na programação de chegada dos navios aos terminais ao utilizar o sistema de controle, com apenas um ajuste de velocidade para alcançar um ETA solicitado pela programação do terminal. Foi demonstrado pelos ganhos obtidos em estudo de caso, no Porto de Tubarão (ES), uma redução significativa do número de navios no fundeadouro; no tempo de espera (no fundeadouro); no consumo de óleo combustível; na emissão de gases poluentes, sem alterar a quantidade de atendimento de navios previstos na programação. Estimou-se ainda o tempo de carregamento variável ao utilizar a função de distribuição de probabilidade normal com média 18 e desvio padrão 4. E para representar as incertezas da operação, foi utilizada a função de densidade de probabilidade triangular com a mínima de 18, média de 20 e máximo de 24.

Também, na consideração de uma hipótese pessimista, para qualquer distância diferente de 3.000 milhas, e com controle de velocidade entre 8 a 15 nós, os impactos não foram tão significativos. Para tais, teriam que ser adotadas outros procedimentos e variações de velocidades que possibilitassem as chegadas mais próximas das atracações previstas. Dessa maneira, a eficácia real de um sistema de controle de velocidade depende da possibilidade de reduzir o tempo de estadia no porto.

Levou-se em consideração a limitação do trabalho em apenas um terminal de berço único,

com apenas um tipo de carga e atendimentos de navios semelhantes da mesma frota, que não prejudicou o objetivo em avaliar o potencial de economia que são situações características. Com a utilização do Sistema de Controle de Velocidade, a avaliação apontou resultados econômicos e ambientais, bastante significativos.

Para as empresas de navegação com atuação milenar, e para os terminais, este estudo apresenta uma nova ferramenta que dependerá da mudança da política de atracação dos navios.

## 5 - Referências

ALDERTON, Patric M. Reeds Sea Transport – operation and economics. 6<sup>th</sup> edition. London: Adlard Coles Nautical, pp. 64, 71, 78, 248, 2011.

ALVAREZ, Fernando; LONGVA, Tore; ERNA, S. A methodology to assess vessel berthing and speed optimization policies. Maritime Economics & Logistics, vol. 12, pp. 327-346, 2010.

BUNKERWORLD. Oil prices. 2013. Disponível em: <<http://www.bunkerworld.com/prices/>>. Acesso em: 13 Jul. 2013.

DNV. MANAGING RISK 2007. Disponível em [www.dnv.com/industry/maritime/shiptypes/orecarrier/portcongestionandloadingspeed.asp](http://www.dnv.com/industry/maritime/shiptypes/orecarrier/portcongestionandloadingspeed.asp) Acesso em: 20 de Out. 2013.

GOOGLE EARTH. Imagem do fundeadouro dos portos de Tubarão, Praia Mole, Tubarão Placas e Vitória. Disponível em: <[earth.google.com.br/](http://earth.google.com.br/)>. Acesso em: 15 jul, 2013.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Second IMO GHG Study 2009. London: IMO, 2009.

KONTOVAS, Christos; PSARAFTIS, Harilaos N. *Reduction of emissions along the maritime intermodal container chain: operational models and policies*, *Maritime Policy & Management*, 38:4, 451-469, 2011.

MARPOL Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships were adopted in the 1997. Protocol to MARPOL 73/78 and are included in Annex VI of the Convention. Disponível em: <<http://www.imo.org>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

NOVAES, Antônio Galvão Naclério. Pesquisa operacional e transportes: modelos probabilísticos. São Paulo: McGraw-Hill do

Brasil, E. da Universidade de São Paulo, 1975.

OIL COMPANIES INTERNATIONAL MARINE FORUM (OCIMF), *Virtual Arrival: optimizing voyage management and reducing vessel emissions – an emissions management framework*. p.6, 2010. Disponível em: <<http://www.intertanko.com/upload/virtualarrival/virtualarrivalinformationpaper.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2103.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 3<sup>o</sup> volume série Pesquisa Operacional, 2004.

THE BALTIC AND INTERNATIONAL MARITIME COUNCIL (BIMCO). **Informations**. Disponível em: <<https://www.bimco.org/Operations/Ports.aspx>>. Acesso em: 11 dez. 2012.

UCHÔA, Neto, Antonio Gusmão. **Programação de Terminais Graneleiros – Chegada de Navios com Controle de Velocidade**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, COPPE UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

WAHL, Martine; ERIKA, Biermann; KRISTOFFERSEN, Eirik. **Speed Optimization for Very Large Crude Carriers (VLCCs): Potential Savings and Effects of Slow Steaming**. Norwegian School of Economics, Bergen, 2012.