

# **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO CANAL DE ACESSO DO PORTO DE SANTOS POR SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

**João Ferreira Netto**

joao.nettof@gmail.com

**Thiago Barros Brito**

tbrito@gmail.com

**Rui Carlos Botter**

rcbotter@usp.br

**Newton Narciso Pereira**

newtonnaval@gmail.com

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Av. Professor Mello Moraes, 2231 - Cidade Universitária São Paulo - SP - Brasil  
- CEP 05508-030

## **RESUMO**

O acelerado crescimento da balança comercial brasileira contrasta com a intensificação dos problemas logísticos enfrentados pelo Porto de Santos, principal porto nacional. São necessárias ações de caráter emergencial para evitar que o país não sofra as conseqüências de uma perda de competitividade portuária no cenário mundial. Uma das ações necessárias é a intervenção sobre a operação do Canal de Acesso ao Porto de Santos, sob as perspectivas física, operacional e estratégica. Esse trabalho tem

como objetivo identificar os impactos causados à operação no canal pela inclusão de novos terminais portuários, obras e operações de melhorias no canal e outras variáveis, tendo como principal critério de avaliação a ocupação e aos tempos médios de espera na entrada do Canal, levando em conta todas as restrições atuais e futuras dessa operação. Para que o objetivo do trabalho fosse alcançado, foi necessário primeiramente tomar conhecimento da extensão do problema e de todas as peculiaridades que envolvem o sistema de acesso ao Porto de Santos. A partir daí foi possível a construção de um modelo de simulação. Os resultados comprovam a proximidade do limite operacional do Canal face aos projetos existentes de expansão dos terminais e recursos portuários e as obras de melhoramento planejadas.

Palavras-chaves: Simulação, Canal de Acesso, Avaliação de Capacidade

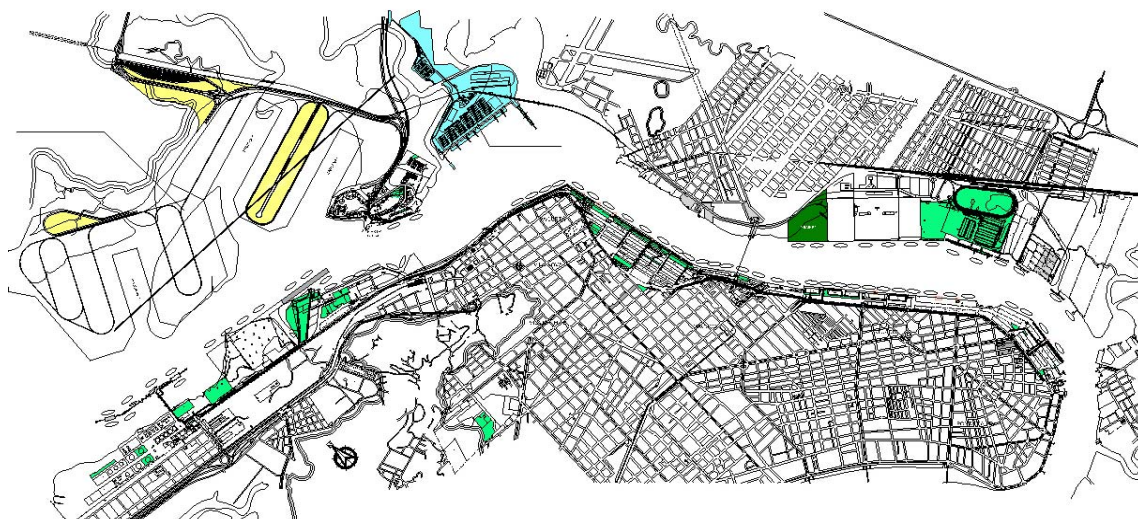
## 1 Introdução e Objetivos

O Porto de Santos é o principal porto brasileiro, um dos maiores da América Latina, porta de entrada e saída de muitos produtos comercializados pelo Brasil. Os terminais que ali operam movimentam os mais variados tipos de produtos e estão instalados nas duas margens do canal de acesso do estuário, que possui uma extensão de aproximadamente 20 quilômetros.

Atualmente, cerca de 7.000 navios trafegam pelo canal todos os anos, sendo submetidos a todas as restrições existentes no local. Calados relativamente pequenos e larguras inapropriadas fazem com que o Canal necessite de obras de melhorias para permitir a entrada de navios com calados maiores e cruzamentos entre os navios que entram e saem do Porto.

Com o crescimento da economia brasileira e o reaquecimento da economia mundial após a crise, empresas desejam instalar grandes e modernos terminais, principalmente de contêineres no Porto de Santos. Porém, um aumento substancial no tráfego de navios pode congestionar definitivamente o porto e limitar todas as operações caso não sejam feitas as obras de melhorias necessárias.

A Figura 1 apresenta a planta do canal de acesso marítimo ao Porto de Santos.



**Figura 1 – Planta do Canal de Acesso do Porto de Santos**

Para estudar os efeitos que a inclusão de novos terminais, as melhorias no canal e a existência de outras variáveis podem causar à ocupação e aos tempos médios de espera na entrada do Canal, criou-se um modelo de simulação cuja interface permite o estudo dos mais diferentes cenários e a incorporação de novos terminais, calculando os impactos e as possibilidades existentes da expansão do porto.

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um simulador do tráfego no canal do Porto de Santos, que permita testar os fluxos atuais e futuros dos navios nos diversos terminais (atuais e projetados), condicionados às restrições atuais e ao relaxamento destas com possíveis obras de dragagem e alargamento.

## **2 Técnica de Modelagem e Simulação**

Optou-se pela escolha da técnica de modelagem e simulação para análise do problema proposto uma vez que os sistemas logísticos, de uma forma geral, são sistemas dinâmicos e complexos, envolvendo diversos elementos interagindo entre si e influenciados por efeitos de natureza aleatória. A avaliação da capacidade do Canal de Acesso do Porto de Santos proposta não é exceção. Situações como esta impõem sérias dificuldades para um estudo analítico do problema, tornando a técnica de modelagem e simulação computacional uma forte aliada.

Definido o método, há que se defrontar com as suas demandas. O processo de modelagem e simulação tem como pré-requisito fundamental a necessidade de uma ótima compreensão do problema em estudo. É preciso uma percepção crítica dos elementos que são realmente necessários à confecção do modelo. Um modelo deve ser a representação de um sistema real, mas há necessidade prévia de estipular quais são as partes e características suficientes do sistema real a serem modeladas para que o resultado desejado seja atingido.

Como em toda simulação, é necessário que se conheça as principais características do objeto a ser simulado. No caso de um canal de acesso marítimo, muitas são as variáveis e características que precisam ser conhecidas. Dentre as características do tráfego no canal, deve-se conhecer as premissas e regras existentes e que devem ser respeitadas para que seja garantida a segurança e a praticidade às embarcações que desejam adentrar ao canal.

Para auxiliar o modelo de simulação construído, fez-se necessário a criação de uma planilha de entrada de dados cuja leitura é feita pelo modelo, possibilitando as mais diversas análises de sensibilidade e caracterização do cenário a ser simulado. Além disso, o modelo considera o Canal particionado em trechos, pois ao longo deste pode haver intempéries diferentes interferindo no tráfego de embarcações. A Figura 2 apresenta a planta do Canal de Santos particionado.

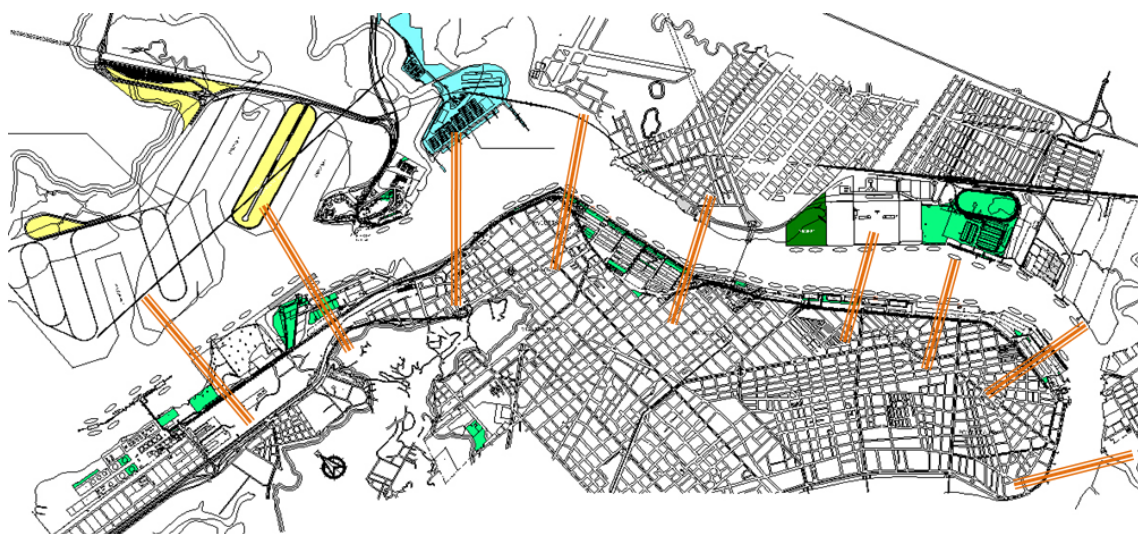


Figura 2 – Partições planejadas do Canal do Porto de Santos para sua modelagem

### 3 Revisão Bibliográfica

No que tange ao desenvolvimento do modelo de simulação propriamente dito, a metodologia utilizada foi baseada nos passos propostos por Pedgenet al. (1995) e posteriormente modificados por Botter (2002) e Brito (2008). Estas etapas são compostas basicamente por:

- a) Definição do problema;
- b) Planejamento do projeto;
- c) Definição do sistema;
- d) Formulação conceitual do modelo;
- e) Projeto preliminar do experimento;
- f) Preparação dos dados de entrada;
- g) Codificação do modelo;
- h) Verificação e validação do modelo;
- i) Projeto final do experimento;
- j) Experimentação e análises de sensibilidades;
- k) Análise e interpretação dos resultados;
- l) Implementação e documentação.

Paralelamente, Chwif e Medina (2006), bem como o estudo de Aragão (2009), nortearam o desenvolvimento da ferramenta de simulação. Estes autores dividem a elaboração do modelo em três etapas principais (Figura 3):

- a) Concepção: onde se definem o sistema e os objetivos, além de se realizar o levantamento de dados e a modelagem conceitual;
- b) Implementação: elabora-se o modelo computacional propriamente dito, sua verificação e validação;
- c) Análise: onde são realizadas as simulações desejadas, análises de sensibilidade e análise de resultados.

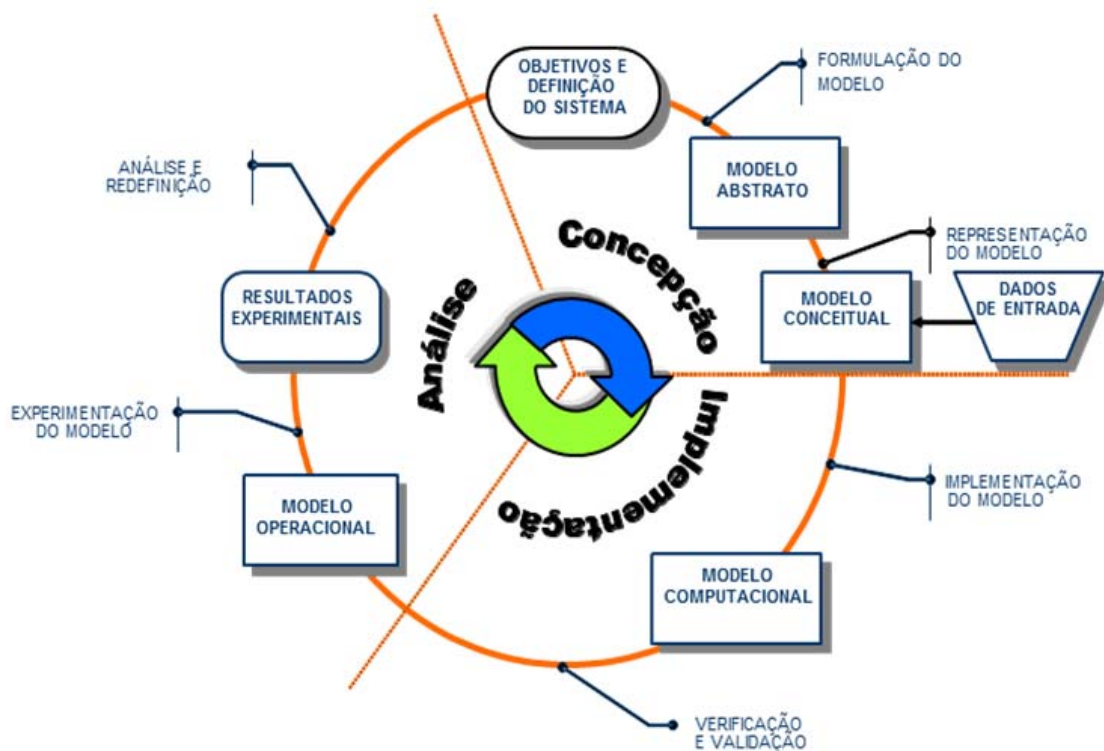


Figura 3 – Metodologia de desenvolvimento modelo de simulação. Fonte: Chwif e Medina (2006)

#### 4 Cenário do Problema

Sabe-se que, atualmente, a largura do Canal de Santos não permite que haja cruzamentos entre embarcações que entram e saem dali, obrigando estes a esperar na barra, em áreas de fundeio ou até atracados nos terminais. Uma das características da interface de dados é a possibilidade de informar ao modelo se o cruzamento entre embarcações é possível em determinado trecho do Canal de Santos. Caso não seja possível o cruzamento, informa-se ao modelo se existe área de fundeio na partição ou não.

A Figura 4 apresenta as principais restrições existentes no Canal.



Figura 4 – Principais restrições a navegação no Canal de Acesso do Porto de Santos

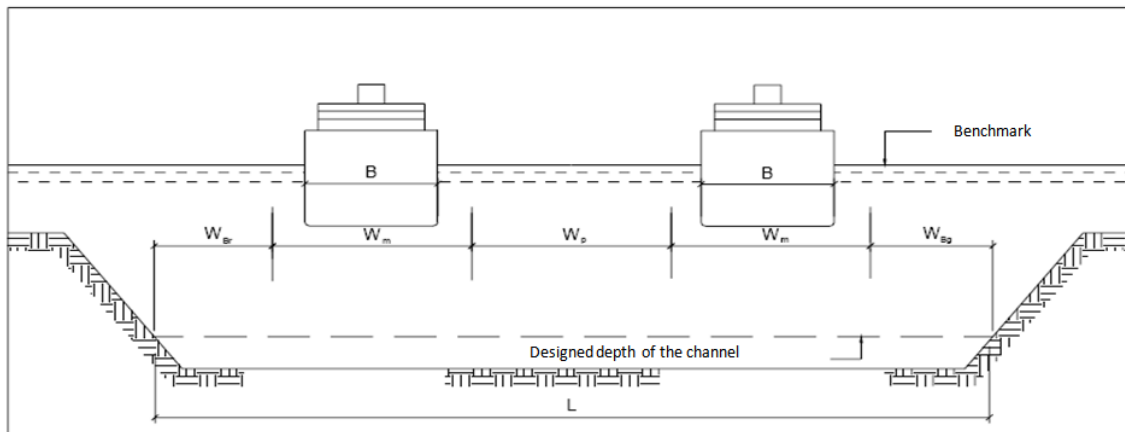
Para determinar se existe ou não a possibilidade de cruzamento entre embarcações em determinado trecho do canal, utiliza-se a seguinte formulação:

Largura do canal :  $W = 2 W_{BM} + 2 \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + W_P$  onde:

- $W_{BM}$  : pista de manobra básica, considerada boca = **1,3 B**;
- $W_{BR} = W_{BG}$  :larguras adicionais por efeito dos taludes laterais, para uma velocidade da embarcação < 8 nós = **0,5 B**;
- $W_P$  :distância entre pistas (2 vias), para navegação de 5 a 8 nós, com densidade de tráfego leve nos pontos de cruzamento = **1,4 B**;
- $W_i$  :influências nas larguras dos trechos retos de canal = **0,6 B**.

A Figura 5 apresenta uma ilustração deste método de determinação da possibilidade ou não de cruzamentos em determinado trecho do canal.





**Figura 5—Representação das variáveis para cálculo de larguras mínimas de canal para cruzamento de embarcações**

Estudos recentes do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) e da Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) listam as principais restrições existentes no Canal atualmente:

- “O Porto de Santos tem restrição geométrica natural em sua barra, **na Ponta da Praia**, que não permite o alargamento para dimensões superiores a **220 m**;
- Conclui-se, portanto, que esta dimensão restringe o cruzamento de 2 navios críticos da classe pós-panamax, naquele ponto;
- Para que seja permitido o cruzamento de dois navios neste trecho, é necessário que o **W resultante seja menor ou igual a 220 m.**”

A análise das plantas fornecidas indica que a entrada tem largura de 200m.

Analizadas as restrições, os dados mais importantes informados ao modelo através da planilha interface de dados, cujas variações podem ser estudadas, são:

- Espaçamento entre navios que acessam o Canal;
- Calado de Restrição;
- Velocidade de evolução das embarcações;
- Tempos de Navegação e Manobra (em situações onde deve haver giro e há restrições no terminal de destino);

- Porcentagem das embarcações que possuem algum tipo de restrição.

Para a simulação de cenários atuais das operações no canal, utilizaram-se os dados de entrada apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1 – Dados de entrada do modelo para simulação das operações atuais**

Distância entre navios atracados (m)		20
Espaçamento entre navios navegando no canal (m)		2000
Calado limite para navio ser considerado restritivo (m)		12
Velocidade das Embarcações no Canal (nós)		8
% de navios com problemas de manobra		30
% de manobras sem restrição e sem giro		50
Tempo de navegação e manobra (min)	Sem restrição e sem giro	30
	Sem restrição e com giro	60
	Com restrição	90

Além destes dados, devem-se incorporar ao modelo outras informações de grande relevância e que se referem aos terminais existentes no porto, suas operações, quantidades movimentadas e tipo de embarcações que ali atracam. Dessa forma, preparou-se o modelo para reconhecer cada terminal individualmente e atribuir às operações suas características próprias, inclusive a partição do canal onde estão localizados. Os principais dados sobre os terminais são:

- Carga movimentada durante um ano (t);
- Distribuição da carga transportada pelo navio médio (t);
- Distribuição de comprimento do navio (m);
- Distribuição de calado (m);
- Distribuição dos tempos médios de operação (hs).

## 5 Apresentação dos Resultados da Simulação

### 5.1 Cenário Atual

Criado o modelo e ajustados os parâmetros, foi simulada a operação que ocorre atualmente no canal, a partir de dados extraídos na base de dados da CODESP, que informa todos os navios que operaram no Porto de Santos no ano de 2007. São 6.676 embarcações ao longo deste ano com todas as restrições existentes. A ocupação do Canal é de 40%, e o tempo médio de espera em fila é de 0,66 dias ou aproximadamente 16 horas.

A Figura 6 apresenta os efeitos que um aumento percentual na demanda movimentada pode causar à ocupação do Canal de Santos, sob as condições atuais.

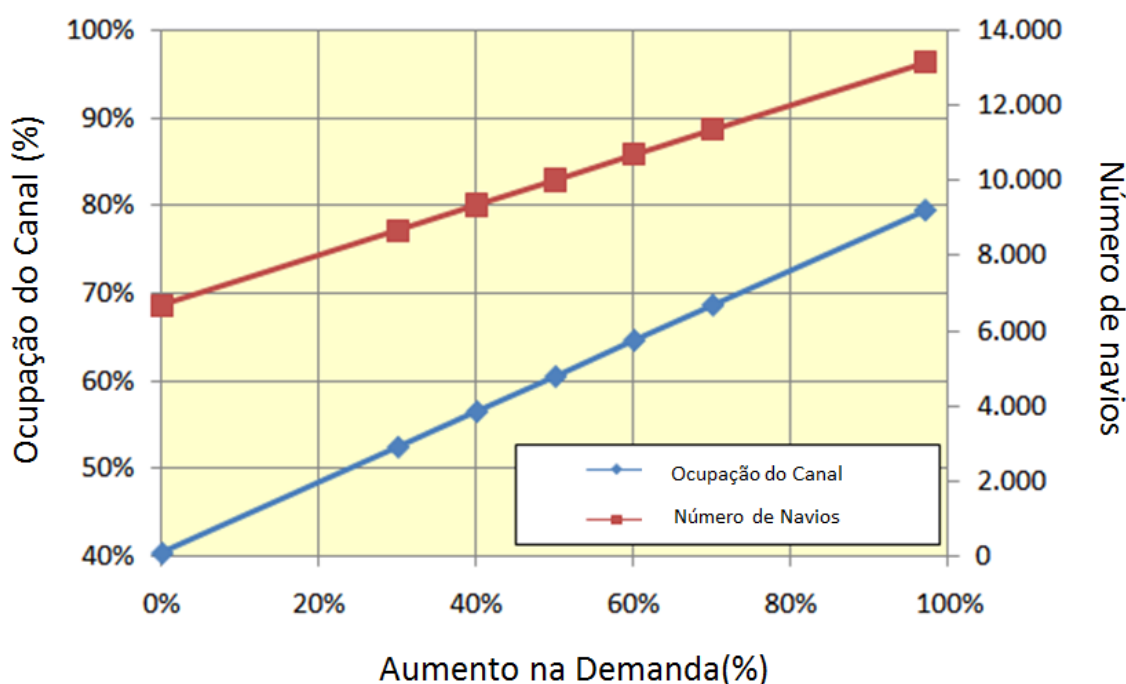


Figura 6 – Efeito do aumento da Demanda de Movimentação no Canal x Ocupação do Canal

A partir do gráfico, conclui-se que um aumento percentual de 70% na demanda já começaria a causar um impacto considerável, visto que a ocupação seria de quase 70%.

Outra análise feita a partir do cenário atual foi o efeito que a variação do espaçamento entre os navios que adentram o canal tem sobre a ocupação. A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostra esse impacto. Repare que se o espaçamento fosse de 1.000 metros a ocupação no Canal cairia para a metade, cerca de 20%.

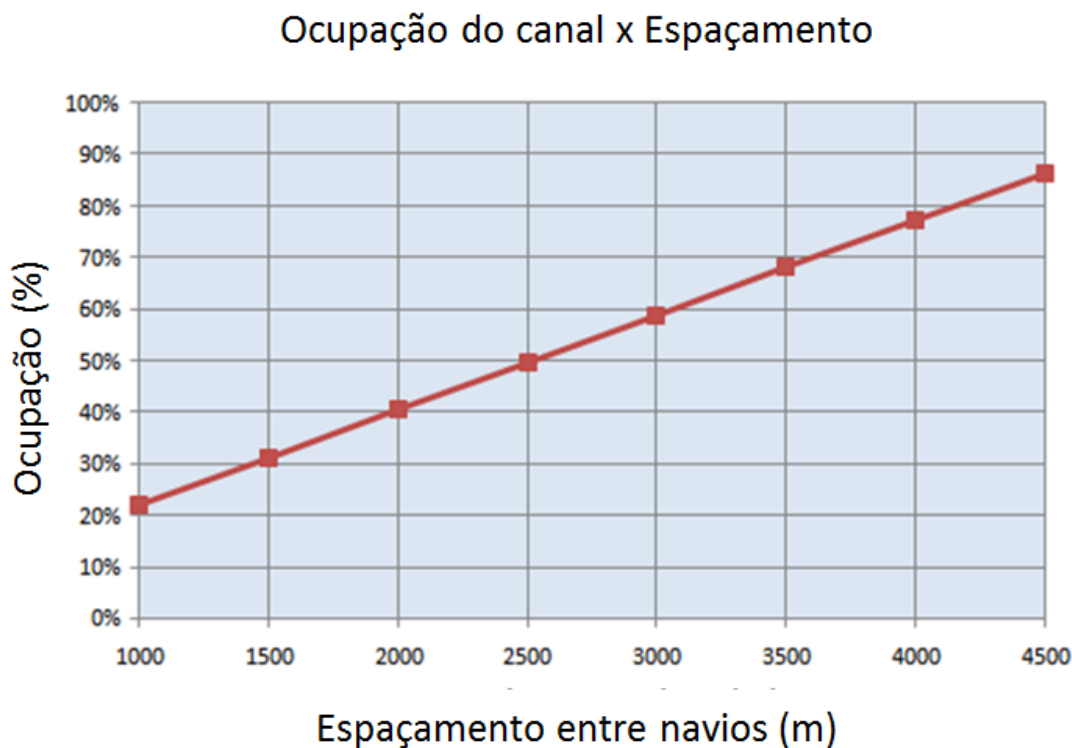


Figura 7 – Efeito da variação do espaçamento dos navios que adentram o canal x ocupação do canal

## 5.2 Cenário Futuro

Simulado o cenário que considera as condições atuais do canal, deve-se incorporar as possíveis melhorias a serem realizadas no Canal e simular o comportamento do tráfego a partir de tais modificações.

Segundo o INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias) e a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) informaram em estudo recente, algumas características físicas do Canal de Santos serão modificadas após as

possíveis obras de melhoria, e devem ser levadas em consideração para possibilitar a simulação das operações no canal. Dentre elas, tem-se:

- “A largura ótima do canal, a ser alcançada para os trechos retilíneos não será inferior **250 m**, podendo atingir largura de até 400 m;
- Na barra de Santos a dimensão máxima de largura, tendo em vista as restrições geográficas naturais na Ponta da Praia, será de **220 m**;
- No trecho interno do canal estuarino a **largura mínima de 250m** deverá ser alcançada, onde couber. A hipótese de larguras de pelo menos **250m para os trechos retilíneos, poderá ocorrer, somente, a partir da terceira fase dos serviços**, tendo em vista a demanda projetada para os navios mais frequentes no Porto;

Resumindo tais informações, pode-se dizer que o Canal passará a permitir cruzamentos em vários trechos onde anteriormente isso era impossível. Áreas de espera e fundeio também podem ser incluídas ao Canal.

A Figura 8 mostra a planta do canal particionado, destacando o que será permitido em cada partição.

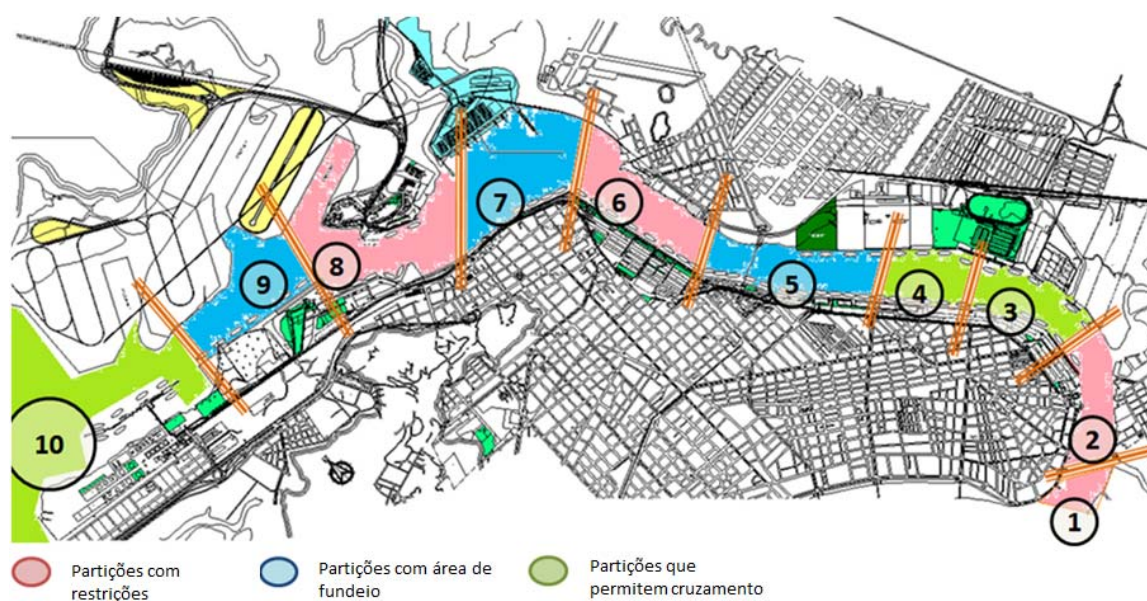


Figura 8 – Planta do canal particionado com destaque para as permissões em cada canal

Além dessas modificações, o calado restritivo após as obras de dragagem previstas será de 15m e isso permitirá que navios maiores entrem e saiam do porto, ou que navios não necessitem mais operar na chamada forma aliviada, onde este não está completamente carregado.

Foram então simulados casos que representassem aumentos percentuais de demanda concomitantemente à incorporação destas melhorias ao canal.

A Figura 9 mostra o comportamento da ocupação do canal e os tempos médios de tempo em fila variando em função do aumento percentual de demanda.

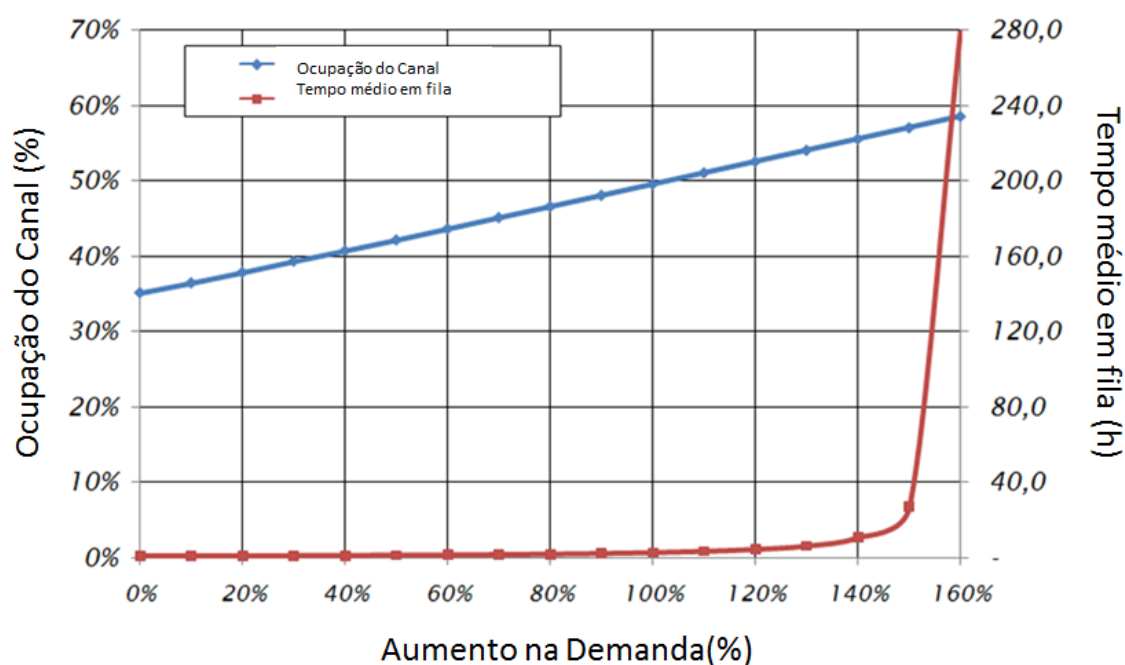


Figura 9 – Ocupação do Canal e Tempo Médio em Fila x Aumento % Demanda

Observa-se que para a demanda de 2007 (40% de ocupação do Canal), o tempo médio de espera em fila é de 59 minutos, mostrando uma diminuição considerável desse valor. Além disso, a ocupação cai para 35%.

O aumento previsto da demanda em consequência da implantação de todos os terminais e obras previstos pela CODESP e pela iniciativa privada chegaria ao patamar de 130%, com o aproximadamente 12.600 navios. A Figura 9 revela que o tempo médio de espera em fila com essa expansão de demanda seria de

6 horas e 15 minutos e ocupação de 54% do canal, mostrando que tal demanda pode ser absorvida.

Esse tempo médio de espera em fila sobe para 27 horas e 11 minutos caso o aumento percentual de demanda seja de 150% (que pode-se considerar bastante próximo aos 130% planejado), revelando a proximidade do esgotamento da capacidade operacional do Canal: apesar de a ocupação ser ainda de aproximadamente 60%, a fila para entrada no Canal cresce, a partir desse ponto, com rapidez devido ao comportamento exponencial da função,

Ainda acerca dos resultados obtidos, pode-se destacar:

- Observou-se que as melhorias do canal resultam numa redução do número de navios atendidos pelo canal. Isto acontece devido ao aumento do calado restritivo o que favorece a entrada de navios maiores no canal;
- Verificou-se que as maiores filas ocorreram no setor 1, “entrada do canal”. Este setor é um ponto sensível, pois ele trava o sistema já que impede cruzamentos;
- A ocupação para o canal melhorado é menor em relação à condição atual, em função do canal propiciar melhores condições de circulação de navios nos trechos menos restritivos;
- Como o sorteio dos navios é aleatório, podem existir muitos navios pequenos circulando no sistema e esses não ficam travados devido às restrições físicas do canal. O impacto das restrições físicas no cruzamento de embarcações é percebido principalmente quando existem navios maiores circulando no canal;
- Esses navios maiores também carregam mais carga o que conseqüentemente geram uma redução no número de navios no canal, quando comparados com os navios que circulam na condição de 12 metros de calado para todos os terminais.

Complementando os resultados obtidos com a simulação das possíveis melhorias no canal, realizaram-se análises de sensibilidade considerando dois importantes parâmetros, ambas no cenário atual:

- Velocidade de Tráfego no Canal (nós);
- Espaçamento entre navios (m).

A Figura 10 mostra o efeito da variação da velocidade à ocupação do canal.

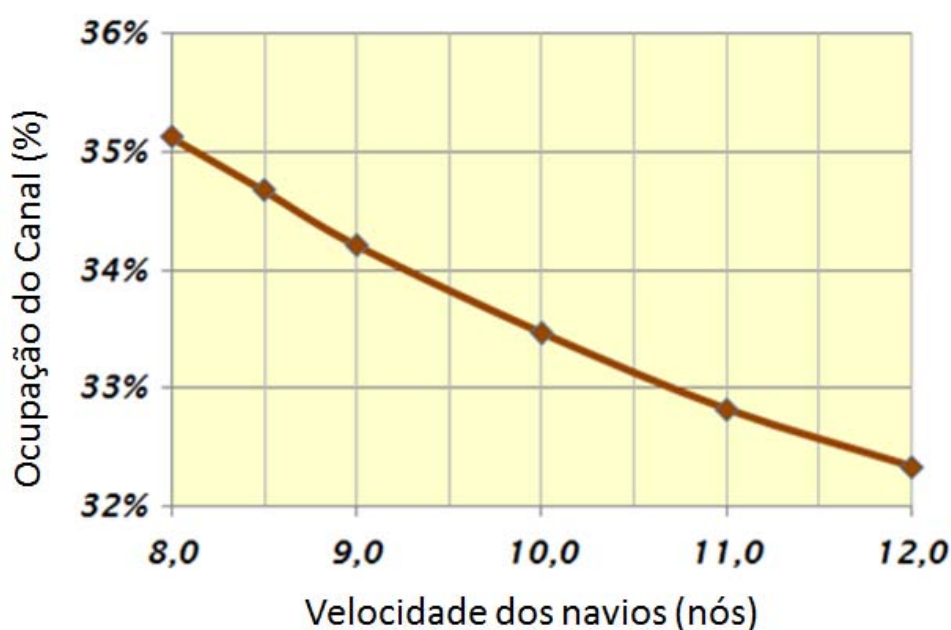


Figura 10 – Efeito da variação da velocidade dos navios x Ocupação do canal

Repare que a ocupação cai de 35% com uma velocidade de 8 nós, utilizada em todas as simulações feitas até este ponto, para 32,4% com uma velocidade de 12 nós.

Para verificar o efeito do espaçamento entre navios simulou-se um caso onde tal valor fosse igual a 1.000 metros. Neste caso, a ocupação cairia para 19%.

## 6 Conclusões

Pode-se concluir com este trabalho que o canal atual apresenta 40% de ocupação e considerando um aumento na demanda de até 73,5%, a ocupação



do canal é de 70% atendendo 11.587 navios, mantendo-se em um nível aceitável de ocupação.

Na condição de canal melhorado, mas considerando a demanda atual, a ocupação em 2007 seria de 35%. Entretanto, com a consideração dos melhoramentos do Canal e com a inclusão de todos os empreendimentos planejados (pela CODESP e pela iniciativa privada), o conseqüente aumento previsto de demanda atingiria a marca de 130% elevaria a ocupação do Canal para 54%.

Entretanto, a análise de sensibilidade da situação acima revela que com um aumento extra da demanda total planejada em mais 15% (passando de 130% para 150% de aumento de demanda total) – erro que pode ser considerado “aceitável” devido à dificuldade de previsão da economia global, já tornaria inviável a operação do Canal, causando filas de navios aguardando para adentrar o Canal de aproximadamente 27 horas..

Com isso, pode-se concluir que as melhorias no Canal são essenciais para a inclusão de novos empreendimentos no Porto de Santos, principalmente quando se vislumbra o aumento de demanda proveniente de um possível aquecimento da economia global.

Ficaram comprovados também os benefícios promovidos pelas possibilidades de aumento da velocidade de tráfego no canal e o aumento do espaçamento entre os navios.

Ressalta-se também que a técnica de modelagem e simulação confirmou-se como uma excelente ferramenta de apoio para a análise, avaliação de tomada de decisão com relação a sistemas logísticos complexos como o estudado.

## **7 Bibliografia**

Alfredini, P. (2005). Obras e Gestão de Portos e Costas: a Técnica Aliada ao Logístico e Ambiental. : Edgard Blücher, São Paulo.

Aragão, M.M.C. 2009. *Caracterização e dimensionamento de um sistema de cabotagem industrial*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Departamento de Engenharia de Transportes. Sistemas Logísticos, São Paulo, p.168.

Botter, R.C.2002. *Tratamento de dados em simulação discreta*, Tese (Livre-Docência) – POLI - USP, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo.

Brito, T.B. 2008. *Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres*. Trabalho de Formatura, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Chwif, L. & Medina, A.C. 2006.*Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Prática*, 2ª Edição.São Paulo, p.254.

Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP). Plano de Desenvolvimento e Zoneamento. Disponível em <<http://www.portodesantos.com.br/down/PDZPS2006.PDF>>

Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH). *Projeto Geométrico da Infra-Estrutura Aquaviária ao Porto de Santos – SP - Anexo XI*.