



UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS INTERMODAIS

C. A. Silva, C. Guedes Soares

Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval,
Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
Avenida Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal
csilva@mar.ist.utl.pt, quedess@mar.ist.utl.pt

Resumo

Simula-se o desempenho da operação de um terminal Intermodal quando sujeito a diferentes situações operacionais, variando parametricamente diversas características inerentes ao próprio terminal, como por exemplo: número de transportadores; número de cais e sistema de atribuição de contentores no parque. A análise é efectuada recorrendo a uma metodologia genérica de avaliação de terminais Intermodais, baseada na simulação recorrendo à determinação e análise de diversos indicadores operacionais de serviço.

Adicionalmente à usual análise e previsão da evolução das operações no terminal de contentores, um outro aspecto que se pretende estudar é a viabilidade e necessidade de investimentos num leque específico de áreas. Aumento do cais de atracação, desenvolvimento de um sistema de atribuição de mercadoria mais flexível, aquisição de mais equipamentos de movimentação de carga, etc. são alguns dos casos analisados.

A metodologia escolhida para a análise do desempenho do terminal fornece vários parâmetros caracterizadores do desempenho para cada cenário de operação, o que permite identificar quando são necessárias alterações de recursos ou modo de operação de forma a otimizar o seu desempenho.

1. Introdução

As técnicas de simulação têm vindo a ser utilizadas em problemas complexos como forma de representar diferentes condições operacionais e assim poder identificar o efeito de mudanças em vários parâmetros. No caso de terminais portuários, Funabashi, Nishizaki, et al. (2004) analisaram a influência que a simulação tem em terminais de contentores automatizados. Gambardella, Bontempi, et al. (2004) apresentam uma metodologia para a integrar a simulação em previsão e planeamento nas operações diárias e decisões a longo prazo para operadores a trabalhar em terminais Intermodais de contentores. Henesey, Davidson, et al. (2001) analisaram a atribuição de berços através de técnicas de simulação. Parola e Sciomachen (2004) apresentaram uma simulação discreta de toda a cadeia logística do norte de Itália, dando especial atenção à prestação do sistema de transporte através do "hinterland" quando sujeito a um crescimento previsto de contentores. Silva e Guedes Soares (2007) apresentaram um modelo de simulação que avalia o desempenho de um terminal Intermodal quando sujeito a diversas condições de acesso de navios e de transferência para a ferrovia ou para transporte rodoviário.

Neste artigo apresenta-se um modelo computacional que permite avaliar o desempenho de um terminal Intermodal de acordo com diversas configurações criadas, arranjos dos equipamentos utilizados, bem como uma variação do número de equipamentos, possibilitando o dimensionamento operacional optimizado de um terminal Intermodal. Essa simulação, baseada numa movimentação estimada, permitirá o cálculo dos tempos de espera, tempos em porto, tempos de atendimento, taxa de ocupação dos equipamentos, tamanhos das filas de espera, etc. Pode-se alterar, de diversas maneiras, o arranjo interno de um terminal alterando desse modo os valores relativos à saturação dos diversos componentes seus constituintes. Deste

modo será possível efectuar análises de optimização de desempenho, independentemente do utilizador envolvido.

A simulação foi realizada para uma configuração que se podia considerar representativa. Contudo, foram analisadas diversas situações onde se considera uma variação paramétrica dos diversos equipamentos do terminal, principalmente no que toca à variação do número dos diversos transportadores existentes no terminal. Foi analisada a ocupação do terminal para diversos comprimentos de cais e políticas de atribuição de contentores no parque. A sistemática escolhida objectiva a optimização do desempenho do terminal actual face a um caso médio.

O terminal escolhido de modo a particularizar este estudo foi o terminal de contentores do porto de Sines. O terminal intermodal implantado neste porto apresenta características muito peculiares, referentes não somente a questões operacionais como também organizacionais, pelo que suscita interesse em avaliar o seu desempenho.

2. Modelo de simulação desenvolvido

O modelo adoptado foi desenvolvido em Arena que é um sistema genérico de simulação, adaptável a vários tipos de problemas.

O modelo encontra-se dividido em diversas componentes: parte lógica; parte interactiva e área de assistência. A componente interactiva será descrita de seguida permitindo apresentar o modelo resultante do método genérico da avaliação de terminais Intermodais apresentado por Silva e Guedes Soares (2007).

2.1 Componente Física

O modelo físico considerado reflecte a realidade existente no porto. Todos os percursos, áreas de operação e transportadores existentes no terminal foram considerados.

O modelo físico encontra-se dividido em duas grandes áreas. A primeira corresponde à componente física do porto e a segunda a quadros de resultados utilizados pelo utilizador de modo a controlar o desempenho do terminal.

Seguindo a lógica descrita pelos fluxogramas existem quatro grandes áreas de operação: portaria; terminal via-férrea; cais e parque.

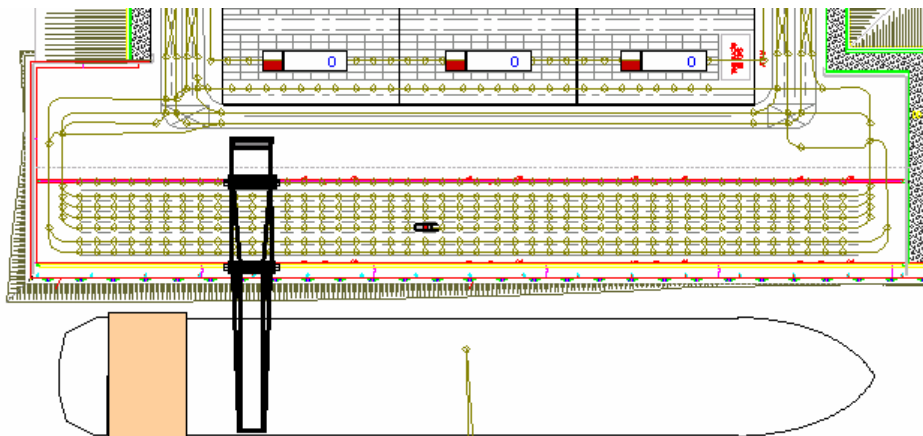


Figura 1: Zona de operação no cais de atracação

Os percursos de entrada para a zona sobre o pórtico seguem a política do terminal, sendo utilizadas todas as 6 faixas de rodagem ao longo de todo o comprimento de cais, de modo a evitar congestionamentos. Este aspecto é importante, pois cada contentor terá a sua localização exacta no navio e possibilita uma amplitude maior de movimentação facilitando a operação do navio quando atracado.

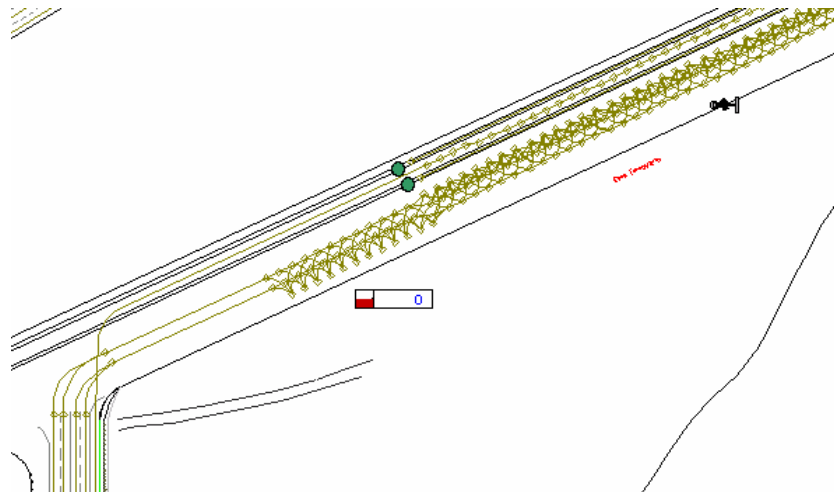


Figura 2: Zona de operação no terminal de via-férrea

Na zona de operação do terminal de via-férrea foi considerada a existência de duas linhas possibilitando operações simultâneas. À semelhança dos navios, a operação de carga e descarga é efectuada segundo a localização específica de cada contentor no comboio. Deste modo existem diversos pontos de operação ao longo da linha de via-férrea.

Foi considerado um amortecedor de modo a que sejam estivados contentores sempre que as operações do comboio interfiram com as operações marítimas. Um contador do número de contentores e taxa de ocupação do amortecedor foi introduzido de modo a controlar a quantidade de contentores ali estacionados.

Na zona de entrada no terminal e respectiva portaria existem dois parques distintos de estacionamento, sendo um reservado a camiões e outro para carros pertencentes a visitantes ou trabalhadores do terminal (o que também influencia no congestionamento da entrada no terminal).

A operação na portaria segue os procedimentos usuais, tendo sido criado um amortecedor onde os contentores são guardados até poderem seguir para o parque de contentores. À semelhança do caso anterior, outro contador foi introduzido com o propósito de controlar a dimensão e taxa de ocupação do amortecedor.

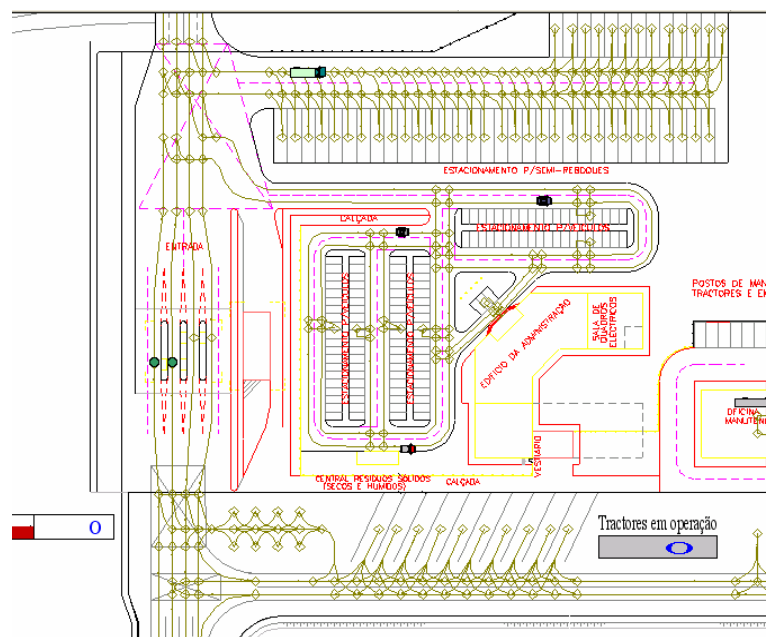


Figura 3: Zona de entrada e portaria

Como se pode verificar na figura 4, cada operação tem um lugar específico a ser realizada no parque e as movimentações seguem os sentidos impostos pelo terminal. Para cada bloco de contentores há indicadores da quantidade em parque assim como um nível de ocupação a vermelho. Os pátios de parque devido às suas dimensões tem uma rede privada de movimentação.

A zona referente aos parques de contentores é definitivamente a mais complexa de todas. Este facto advém das operações de diversas entidades interagirem todas neste local. Como tal, a introdução de diversos amortecedores foi considerada de modo a evitar um congestionamento excessivo das operações. Estes amortecedores são utilizados para evitar congestionamentos, guardar contentores danificados ou que não tem valor agregado (contentores que somente passam pelo terminal sem que exista efectivamente uma operação intermodal). Os respectivos indicadores de quantidade e taxa de ocupação do amortecedor encontram-se introduzidos.

Foi introduzido no modelo um painel indicativo da data e hora global em que a simulação se encontra e um indicador maior do total de contentores dentro do terminal com a respectiva taxa de ocupação a vermelho à sua direita.

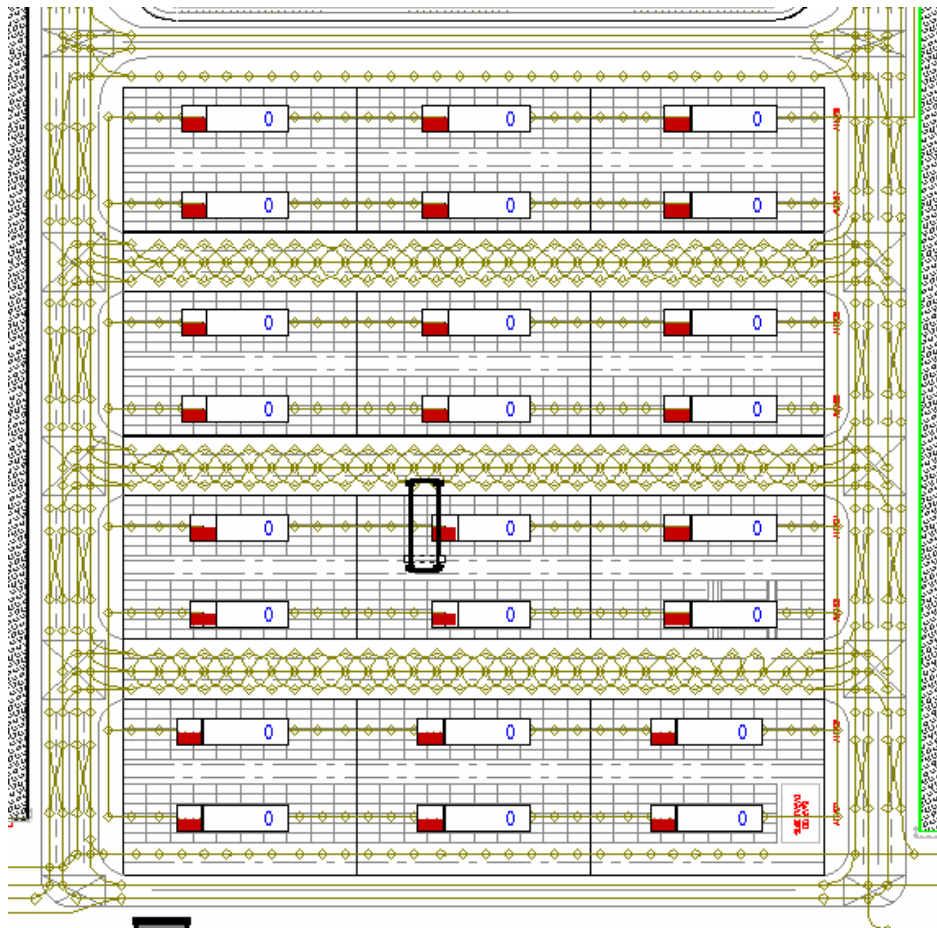


Figura 4: Zona dos parques de contentores

2.2 Quadros de resultados

Foram criados diversos quadros de resultados para controlar o desempenho do terminal. Estes indicadores servem somente para controlar a simulação e animarem os resultados de diversas grandezas, pois para serem efectuados tratamentos de resultados são necessários dados discriminados temporalmente. Para esse efeito foi criada uma secção de saída de resultados para ficheiros Excel.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

As seguintes informações encontram-se quantificadas nos quadros de resultados:

Parque de contentores:

- Total de contentores para esse instante de tempo.
- Taxa de ocupação do parque no instante actual (valor numérico e respectiva barra de enchimento).
- Valores mínimos, médios e máximos de contentores para cada parque.
- Total de contentores no terminal no instante actual.
- Taxa de ocupação do terminal no instante actual.

Transportadores:

- Numero médio e instantâneo de unidades em funcionamento.
- Taxa de ocupação média e instantânea.
- Tempo médio em espera (em resultado de diversos congestionamentos).

Recursos:

- Número instantâneo e médio de “unidades” em funcionamento.
- Valor instantâneo e médio da ocupação.
- Representação gráfica da ocupação ao longo do tempo.

Navios, comboios e camiões:

- Média do tempo total em espera (navios, comboio e camiões).
- Média do tempo em espera por cais de atracação livre (navios).
- Média do tempo em espera para parar no terminal de via-férrea (comboios).
- Média do tempo em espera em portaria (camiões).
- Tempo mínimo, médio e máximo de operação (navios, comboio e camiões).
- Tempo total no sistema (navios, comboio e camiões).

Contentores:

- Tempo médio de operação no cais.
- Tempo médio de operação no terminal de via-férrea.
- Tempo médio de operação na portaria.
- Tempo médio de operação no parque de contentores.
- Tempos médios dispendidos no *buffer* de comboios, de camiões e de parque.

Parques



Figura 5: Exemplificação de um dos quadros de resultados

3. Aplicação ao caso de estudo

De modo a analisar o desempenho do terminal de contentores estuda-se primeiro a situação observada na sua realidade actual contudo para processar o desempenho óptimo do terminal para diferentes arranjos internos foram simuladas as operações para diversos equipamentos, comprimentos de cais ou políticas de atribuição de carga no parque. Simulações a curto e longo prazo foram realizadas por se verificar a inutilidade em simular certas grandezas por períodos longos de tempo. Grandezas como a ocupação de transportadores ou dados relativos aos tempos de operação das diversas entidades intervenientes no processo, não necessitam uma simulação a longo prazo, bastando a operação de 3 meses para avaliar o seu patamar máximo de operação. Por outro lado, a avaliação de dados relativos à ocupação de recursos (cais, terminal de via-férrea, portaria, etc.) e ocupação dos diversos parques já necessita de uma simulação por períodos extensos de tempo (alguns meses ou anos). Para o caso considerado simulou-se a operação do terminal por um período de 10 anos.

3.1 Variação do equipamento de transporte de carga

De modo a avaliar o desempenho optimizado do terminal para um caso observado realizou-se uma variação do número de transportadores, nomeadamente pórticos de parque e diversos tipos de empilhadores. O número de pórticos de parque foi variado entre 3 e 8. Por seu lado, o número de empilhadores foi variado de 2 a 4. Os resultados obtidos são apresentados de seguida.

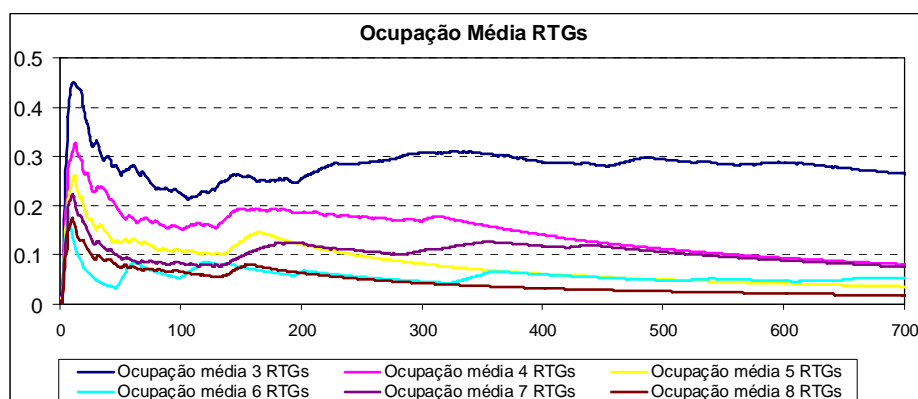


Figura 6: Ocupação média de pórticos de parque

Na figura 6 apresenta-se a evolução da ocupação dos pórtilhos de parque para diversas combinações deste recurso. A solução que apresenta uma menor ocupação é o caso da operação de 8 pórtilhos simultaneamente, contudo a operação de somente 5 pórtilhos apresenta também valores bastante aceitáveis, não justificando a aquisição de 3 pórtilhos adicionais para uma redução pouco significativa da sua ocupação. A situação claramente menos favorável é a operação de somente 3 pórtilhos.

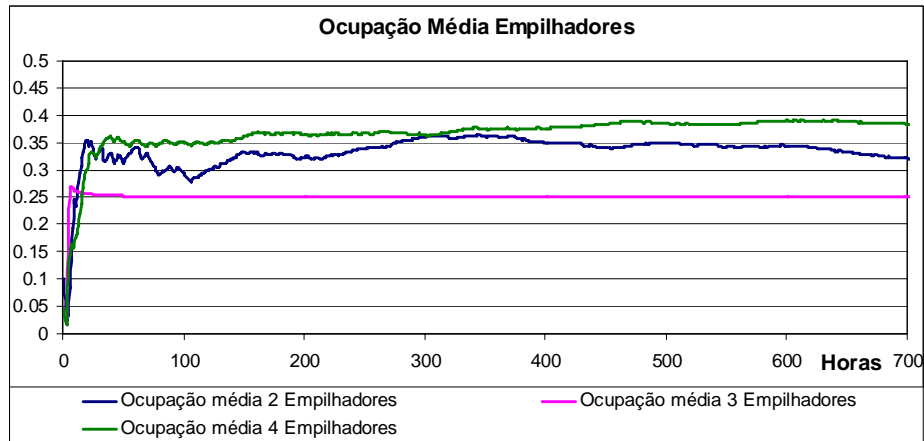


Figura 7: Ocupação média de empilhadores

Para o caso da variação do número de empilhadores, a situação que apresenta melhores resultados é para 3 empilhadores. Para este caso a ocupação média tende para 0.25 ao invés da utilização verificada para 4 empilhadores que chega aproximadamente aos 0.38.

Contudo, as operações no terminal de contentores envolvem estes dois equipamentos simultaneamente, pelo que foi efectuada a avaliação conjunta no que toca aos tempos de operação.

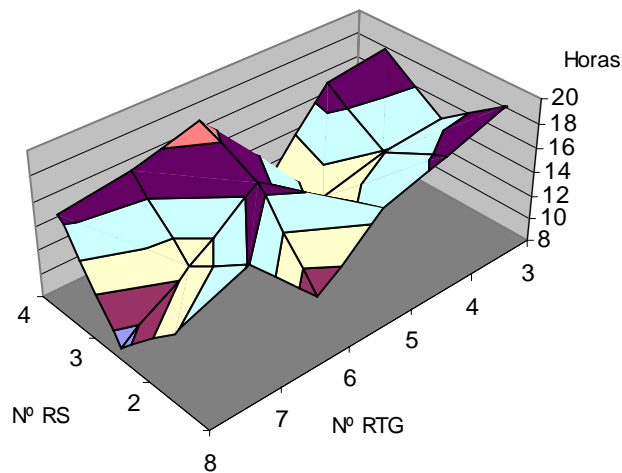


Figura 8: Tempo médio de operação de navios

O tempo médio de operação dos navios evolui da forma apresentada na figura 8. O melhor resultado observado foi para o caso de 8 pórtilhos de parque e 3 empilhadores com o valor de aproximadamente 9 horas. Já o caso onde o navio está em porto mais tempo verificou-se para 6 pórtilhos e 4 empilhadores com 18 horas e 45 minutos aproximadamente.

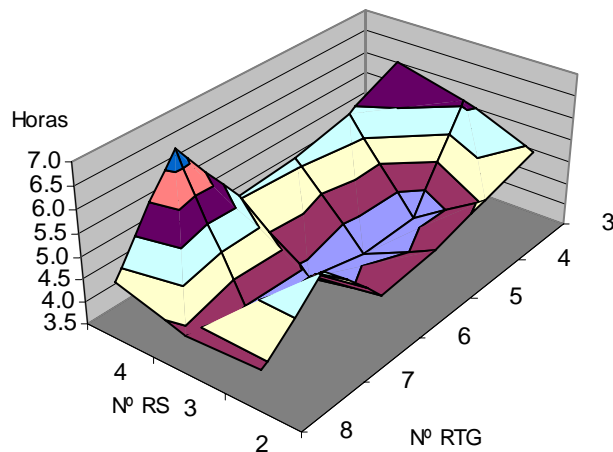


Figura 9: Tempo médio de operação de comboios

O tempo médio de operação de comboios evolui de uma forma diferente ao caso anterior. Este aspecto advém do facto da operação em si ser tecnicamente diferente quando comparada com os navios, visto que para o caso dos navios não existe uma influencia directa dos empilhadores na sua operação. Para o caso das operações de comboios, pórticos de parque e empilhadores tem uma acção directa e importante em todo o processo.

O caso que apresentou melhores resultados verificou-se para 3 empilhadores e 5 pórticos com um tempo de operação médio de 3 horas por comboio. Por seu lado, o pior caso verificou-se para 7 pórticos e 4 empilhadores com um tempo médio de 6 horas!

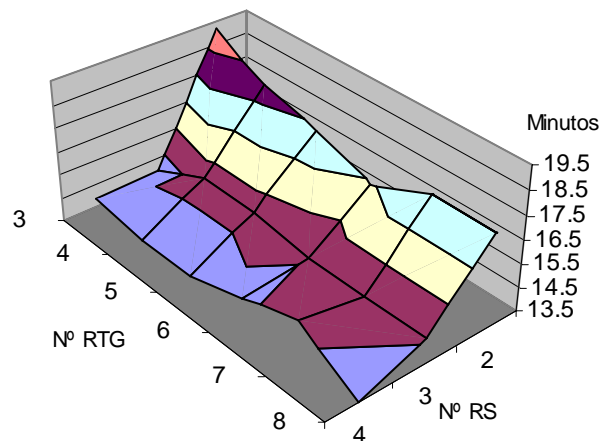


Figura 10: Tempo médio de operação de camiões

As operações de camiões apresentam uma elevada dependência dos empilhadores e reduzida dependência dos pórticos. Este aspecto verifica-se facilmente na figura 10. O caso com melhores resultados foi para 4 empilhadores e 4 pórticos com cerca de um tempo médio de operação de quase 13 minutos. Já a situação menos proveitosa verificou-se com a operação de 2 empilhadores e 3 pórticos com cerca de 19 minutos (neste caso teve de ser considerada a atribuição do mesmo empilhador para diversos serviços, de modo a cobrir todas as operações existentes).



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

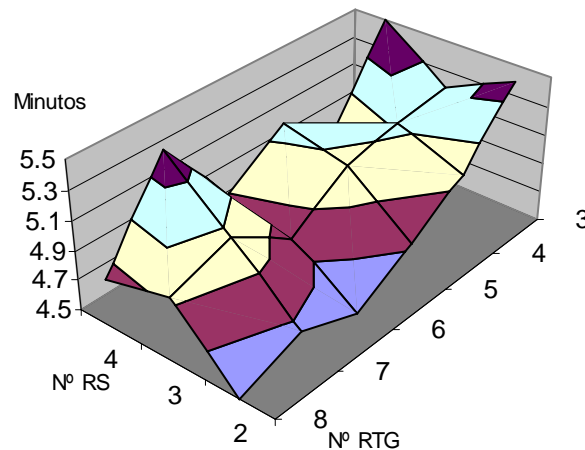


Figura 11: Tempo médio de operação de contentores

A figura 11 descreve a evolução do tempo médio de operação de cada contentor para o terminal inteiro. Após uma média ponderada conforme as movimentações efectuadas em cada local do terminal, uma média global foi efectuada de modo a ser possível avaliar este dado. Para 3 pórticos e 4 empilhadores verificou-se o pior tempo de operação na casa dos 5 minutos e meio. Já para 2 empilhadores e 8 pórticos e tempo médio de cerca dos 4 minutos e 15 segundos foi o melhor resultado observado.

3.2 Diversos comprimentos de cais e políticas de atribuição

Para o caso médio verificou-se adicionalmente qual a melhor opção no que toca ao comprimento de cais e políticas de atribuição de carga. Estas duas características terão uma grande influência na evolução da carga movimentada pelo terminal a longo prazo. A previsão de uma evolução na ordem de diversos anos é essencial para a avaliação de qualquer tipo de investimentos a longo prazo e a sua análise será efectuada de seguida.

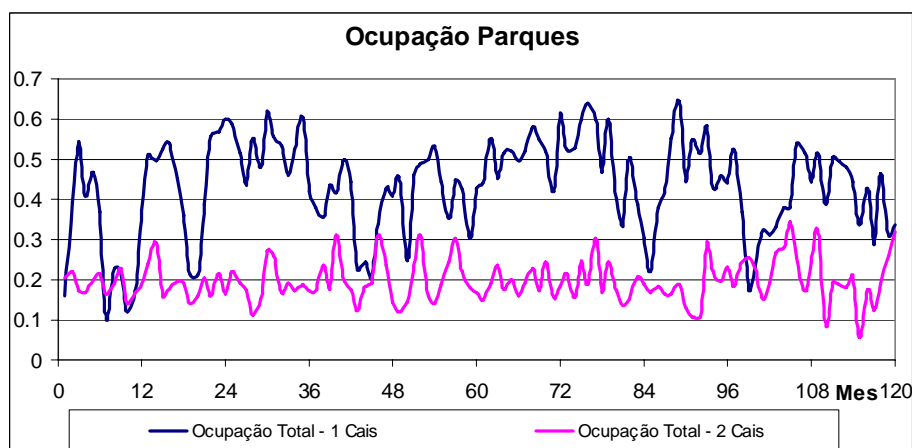


Figura 12: Ocupação dos parques para o caso de 1 e 2 cais

Considerando a existência de somente 1 cais de atracação ou 2 cais, foram realizadas as simulações da ocupação do parque total de contentores do terminal. Diversos resultados podem ser obtidos, mas de momento, com vista a simplificar a análise somente será apresentado estes valores.

Como se pode observar na figura 12, a ocupação do parque contentores varia bastante ao longo do tempo. Para o caso do cais único o valor médio ronda os 43.3 % de ocupação, já para o caso de um cais duplo essa grandeza baixa para os 19.7. Este aspecto revela a interacção que pode existir para o caso de dois cais de atracação. O parque torna-se menos congestionado e mais fluido (relativamente aos níveis de ocupação do parque, visto que operacionalmente existe a necessidade de suportar este aumento de movimento com uma melhor capacidade técnica de movimentar a carga) devido a uma maior capacidade em transferir carga entre navios e o hinterland. As próprias variações do nível de ocupação são de uma amplitude menor indicando uma capacidade maior de absorver as influências do mercado na movimentação da carga.

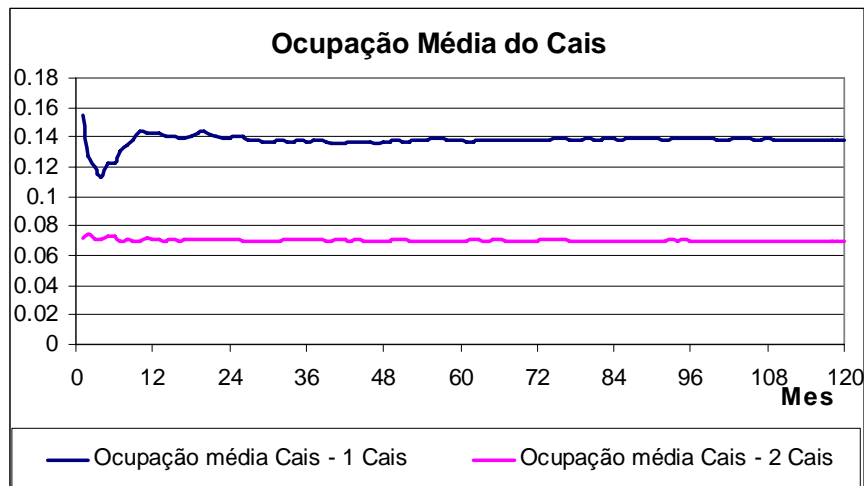


Figura 13: Ocupação média do cais

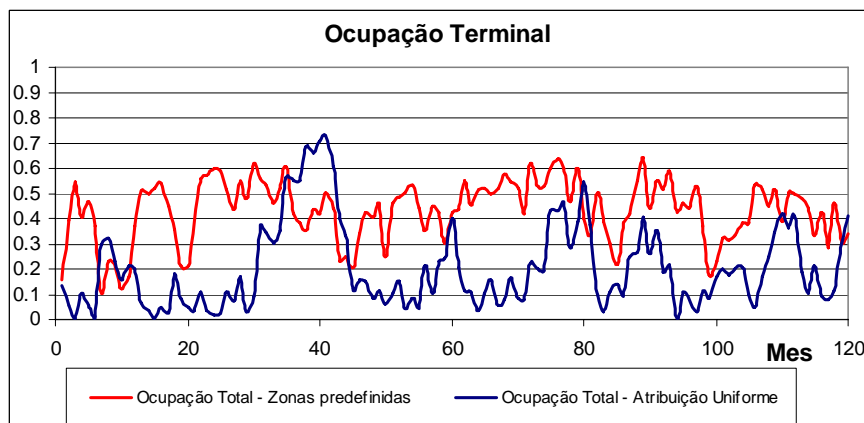


Figura 14: Ocupação média do cais

É usual existirem zonas predefinidas num parque de contentores para: importação, exportação; contentores especiais; contentores danificados; etc. Deste modo será interessante avaliar o impacto que esta politica tem na operação do terminal a longo prazo. Na figura 14 torna-se claro a influencia que vai existir ao serem implementadas estas considerações. Com uma atribuição uniforme e livre por todo o terminal, os níveis de ocupação são inferiores indicando um menor congestionamento. Contudo no que toca a questões de operacionalidade existe uma necessidade considerável em implementar um sistema de controlo activo e eficaz de movimentação de contentores de modo a evitar congestionamentos dos diversos equipamentos existentes.



4. Conclusões

O modelo desenvolvido possibilitou a determinação de diversos parâmetros que seriam difíceis de obter de outra maneira. Mais especificamente pode-se mencionar a análise do desempenho do terminal de contentores por um período de 10 anos, ou o caso ideal de operação para uma gama de diversos transportadores. Adicionalmente verificou-se a importância de existirem diversos cais de atracação assim como a implementação de uma política de distribuição de carga uniforme.

Para além dos resultados obtidos nos casos de estudo que apresentam, hipóteses meramente académicas, demonstram-se as potencialidades de estes métodos poderem ser utilizados para estudar situações concretas que operadores de terminais ou Administrações Portuárias necessitem de considerar.

5. Reconhecimento

O presente caso de estudo adopta as características físicas do porto de Sines, mas as várias hipóteses sobre o número de equipamentos de movimentação e necessidades de carga e descarga foram adoptadas pelos autores para efeitos de estudo, não reflectindo necessariamente o que existe e está em prática no porto de Sines.

Os autores estão agradecidos o Eng. Eduardo Bandeira e Dra. Fernando Albino da Administração do Porto de Sines (APS) por todo o seu interesse e apoio fornecido e ao Eng. Luís Silva da *Port of Singapore Authority* (PSA) por todo o seu apoio no fornecimento de dados e explicação dos diversos processos associados ao terminal intermodal.

6. Referências

Funabashi, A., Nishizaki, J., Kuwada, C., Karasuda, S., Kobayashi, M., Kusano, T., (2004) "Contribution to innovation of port logistics by simulation technique for automated container Terminal.", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.41 No.1.

Gambardella, L. M., Bontempi, G., Taillard, E., Romanego, D., Raso, G., Piermari, P. (2002), "Simulation and forecasting in intermodal terminals", Lugano: Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale, Proceedings of the 8th European Simulation Symposium, SCS International, Ghent, Belgium, pp. 626-630.

Henesey, L., Davidson, P., Persson, J. A. (2003), "Using simulation in evaluating berth allocation at a container Terminal", Proceedings of the *3rd International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*, Sweden.

Parola, F., Sciomachen, A. (2003), "Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation models", International Journal of Production Economics, Volume 97, Issue 1, 18 July 2005, Pages 75-88.

Silva, C.A., Guedes Soares, C., (2007), "Simulação da carga movimentada num terminal Intermodal", Artigo submetido a COPINAVAL: Congresso Ibero-Americano, São Paulo, Brasil, Outubro de 2007.