

Movimentação otimizada de contêineres de cargas agroindustriais em pátios portuários: um modelo baseado em redes de Petri

Bruno de Athayde Prata (UFC) bruno@nupeltd.ufc.br

Giovanni Cordeiro Barroso (UFC) gcb@fisica.ufc.br

João Bosco Furtado Arruda (UFC) barruda@nupeltd.ufc.br

Resumo

O agronegócio é uma atividade de suma importância para muitas economias regionais e, para que os produtos agro-industriais possam ter preços competitivos nos mercados interno e externo, é necessário reduzir ao máximo os custos de transporte, dentre os quais se pode destacar os custos de movimentação nos portos. Este trabalho tem o objetivo de modelar a movimentação de contêineres de cargas agro-industriais em terminais portuários, visando caracterizar a operação do sistema e dimensionar as frotas de equipamentos de movimentação e transporte de contêineres. Na modelagem, foi empregada a técnica das redes de Petri, uma metodologia bastante usada no meio técnico e acadêmico para a análise de sistemas a eventos discretos. Foram coletados dados referentes ao Porto do Pecém para a caracterização das atividades de manuseio de cargas do terminal, subsidiando o desenvolvimento de uma rede que representasse a sua operação. A modelagem desenvolvida foi capaz de representar o sistema portuário em qualquer instante de sua operação, possibilitando a elaboração de cenários para análise do tempo de ciclo na movimentação e transporte de contêineres no terminal supracitado. Como conclusão, demonstra-se o potencial da modelagem utilizada para contribuir na tomada de decisão com vistas a ganhos de produtividade de instalações portuárias.

Palavras-chave: Redes de Petri, Logística Portuária, Agronegócio.

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

De acordo com Costa (2002), pode-se dizer que o termo agronegócio engloba os fornecedores de bens e serviços para a agricultura, os produtores rurais, os processadores, os transformadores e distribuidores e todos os envolvidos na geração e fluxo dos produtos de origem agrícola até o consumidor final. Nota-se, portanto, a complexidade e a magnitude do planejamento de atividades agroindustriais.

O agronegócio é uma atividade de suma importância para a economia de países em desenvolvimento, especialmente para regiões inseridas em áreas excluídas econômica e politicamente. Segundo ABAG (1993) *apud* Souza (2002), o *agribusiness* brasileiro é o maior negócio do país, representando 40% de suas exportações e é, de longe, o setor da economia que mais emprega mão-de-obra. Está no agronegócio a principal saída, em curto prazo, para acelerar a integração do Brasil à economia internacional e é ele também que oferece a grande oportunidade de descentralização industrial.

O Estado do Ceará, que está inserido no semi-árido nordestino, obteve excelentes resultados ao investir em agricultura irrigada, como pode ser observado em Tomé (2004). Conforme

afirma SEAGRI (2003), o cumprimento dos objetivos traçados para a agricultura irrigada cearense vem elevando o agronegócio local a um novo patamar.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento de produtos como frutas, flores e hortaliças, estão confirmando a vocação do Estado do Ceará para a agricultura irrigada e consolidando a previsão de que, nos próximos anos, serão ainda mais acentuados os impactos sócio-econômicos do agronegócio, desenvolvido de forma competitiva e sustentável. Dentre estes impactos, pode-se destacar a geração de empregos diretos e indiretos, o valor das exportações e a capacitação de técnicos e produtores.

1.2 Importância do tema abordado

Segundo Souza (2002), os portos são elementos de entrada e saída de quase todo o comércio exterior, sendo considerados elos logísticos estratégicos para integração de uma nação à economia globalizada. A competitividade da economia depende, em grande medida, da eficiência e do baixo custo das atividades portuárias. O atraso na modernização do sistema portuário, portanto, compromete todo o esforço do país para melhorar a competitividade dos seus produtos agroindustriais e equilibrar a balança comercial.

Para que as cadeias agroindustriais logrem êxito em seus objetivos, os portos devem operar eficientemente, de modo que os produtos agrícolas possam ter preços competitivos nos mercados interno e externo. Deste modo, tornam-se prementes estudos que visem racionalizar e otimizar o manuseio de cargas em terminais portuários.

Psaraftis (1998) *apud* Rios e Maçada (2000), enfatiza a importância do desenvolvimento de estudos com aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional em problemas de movimentação de contêineres em pátios portuários. O uso de técnicas de simulação tem sido frequentemente aplicado para planejar e gerenciar o sistema portuário e auxiliar os executivos no processo de tomada de decisão.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é elaborar um modelo, baseado nas Redes de Petri, que simule a movimentação de contêineres contendo carga agroindustrial em pátios portuários, tendo como principal variável de decisão o tempo total de deslocamento destas cargas dentro de um porto e suas implicações no tamanho da frota dos equipamentos de transporte utilizados.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do estudo em questão, podem ser destacados:

- i) Realizar uma revisão bibliográfica da aplicação de técnicas de redes de Petri em sistemas dinâmicos;
- ii) Conhecer a estrutura lógica das operações de manuseio de contêineres em pátios portuários, com vistas a reduzir o tempo de atividades, melhorar a integração entre elas e eliminar aquelas que não agregam valor; e
- iii) Elaborar e aplicar uma modelagem, baseada na técnica das redes de Petri, no intuito de otimizar a movimentação de contêineres no Terminal Portuário do Pecém.

3. Operação Portuária

3.1 Elementos da operação de um porto

Um Sistema Terminal de Contêineres (STC) é composto de três subsistemas: acessos terrestres, pátios de contêineres e berços. Os equipamentos de movimentação neste sistema são basicamente portêineres, transtêineres, tratores de terminal e carretas. As tarefas básicas na operação de um STC consistem no recebimento, entrega, carregamento e descarregamento de contêineres. Estas operações ocorrem simultaneamente e interativamente (Yun e Choi, 1999):

i) Operação de recebimento: transportar contêineres para exportação, trazidos por caminhões ou trens vindos de fora do porto, até os equipamentos de movimentação vertical.

ii) Operação de entrega: erguer contêineres para importação através de equipamentos de movimentação vertical, colocando-os em caminhões ou trens estacionados no pátio de contêineres que levarão as cargas para fora do porto.

iii) Operação de carregamento: erguer contêineres para exportação através de equipamentos de movimentação vertical, colocando-os em tratores de terminal localizados no pátio de contêineres e transportando-os até o berço, onde serão embarcados através de equipamentos de embarque e desembarque.

iv) Operação de descarregamento: descer contêineres para importação do navio através de equipamentos de embarque e desembarque, colocando-os em tratores de terminal com a finalidade de transportar as cargas até o pátio de contêineres.

3.2 Por que modelar a operação de um porto?

A princípio, pode-se imaginar que estudar a operação de um porto é uma atividade com foco pontual; no entanto, tal análise é muito mais abrangente do que inicialmente se pode imaginar. Um porto que opere de forma eficiente e eficaz pode induzir o desenvolvimento na região onde está inserido, captando novos clientes e mantendo os já existentes, de modo a facilitar o escoamento da produção local. Contudo, para atingir altos níveis de eficiência operacional, um planejamento rígido das atividades logísticas deve ser realizado nos terminais portuários de modo a reduzir ao máximo os custos logísticos e os tempos de permanência das embarcações.

Conforme reportam Paixão e Marlow (2003) e Marlow e Paixão Casaca (2003), os órgãos de administração portuária e as universidades de todo o mundo fazem uso de diversas metodologias para planejar e gerir as operações de um porto, dentre as quais se pode salientar: filosofia *Just-in-Time*, produção enxuta, gestão da qualidade total, programação matemática e simulação.

Rios e Maçada (2000) apontam que vários estudos já foram realizados visando a elaboração e validação de modelos que possam diminuir tempo de operação de equipamentos e, conseqüentemente, o custo operacional de um terminal portuário. Dentre eles, as técnicas de modelagem matemática mostram-se de grande valia para auxiliar a tomada de decisão na gestão de um porto.

3.3 Como modelar a operação de um porto?

Conforme o descrito no item 3.1, um porto é um sistema complexo que muda de estados ao longo do tempo, ou seja, trata-se de um sistema dinâmico. Os estados dos subsistemas do porto são discretos e variam ao longo do tempo. Logo, equações diferenciais não se mostram eficientes para representar a operação de um terminal portuário.

Conforme Degano e Di Febbraro (2001), devido às suas características, um terminal intermodal de contêineres pode ser representado como um Sistema a Eventos Discretos

(SED), o que permite o projeto e a implementação de estratégias de controle embutidas no próprio sistema.

Os trabalhos de Yun e Choi (1999), Legato e Mazza (2001) e Fernandes (2001) apresentam modelos bastante atualizados de simulação em terminais portuários de contêineres. Estes modelos, além de considerarem a aleatoriedade da operação do sistema portuário, fornecem parâmetros importantes para o gerenciamento do terminal, tais como as taxas de ocupação dos berços e dos equipamentos.

Uma crítica a estes modelos é que eles, apesar de utilizarem programas de computador que permitem a visualização da simulação da operação do porto, não propiciam ao analista do sistema uma visão da estrutura operacional do terminal, bem como dos seus possíveis gargalos.

Degano e Di Febbraro (2001) utilizam um modelo baseado em redes de Petri para diagnosticar falhas em um terminal intermodal de contêineres, apresentando as redes de Petri como uma técnica bastante promissora para modelar a operação de terminais portuários.

4. Redes de Petri

A teoria das Redes de Petri (RdP) nasceu da tese defendida por Carl Adam Petri na Faculdade de Matemática e Física da *Technical University of Darmstadt* (Alemanha), em 1962, intitulada “Comunicação com autômatos” (Costa, 2002). No final da década de sessenta e início da década de setenta, pesquisadores do renomado *Massachusetts Institute of Technology* – MIT (EUA) idealizaram as bases do conceito das Redes de Petri como a conhecemos hoje.

Segundo Palomino (1995), as Redes de Petri são um modelo do tipo estado-evento, onde cada evento possui pré-condições, que vão permitir sua ocorrência, e pós-condições, as quais são, por sua vez, pré-condições de outros eventos posteriores. A técnica em questão pode ser vista como uma evolução do conceito da Teoria dos Grafos, pois nas RdP existem dois tipos de nós (P e T) e dois tipos de arcos (Pre e $Post$). Formalmente, uma Rede de Petri é uma quádrupla (Cardoso e Valette, 1997).

$$R = \langle P, T, Pre, Post \rangle \quad (1)$$

em que:

- P é um conjunto finito de lugares de dimensão n ;
- T é um conjunto finito de transições de dimensão m ;
- $Pre: P \times T \rightarrow \mathbf{N}$ é a aplicação de entrada (lugares precedentes ou incidência anterior), com \mathbf{N} sendo o conjunto dos números naturais;
- $Post: P \times T \rightarrow \mathbf{N}$ é a aplicação de saída (lugares seguintes ou incidência posterior).

Uma Rede de Petri marcada é uma dupla

$$N = \langle R, M \rangle \quad (2)$$

em que:

- R é uma rede de Petri;
- M é uma marcação dada pela aplicação $M: P \rightarrow \mathbf{N}$.

A marcação é um número inteiro não-negativo associado a cada lugar, sendo representada por um vetor n -dimensional

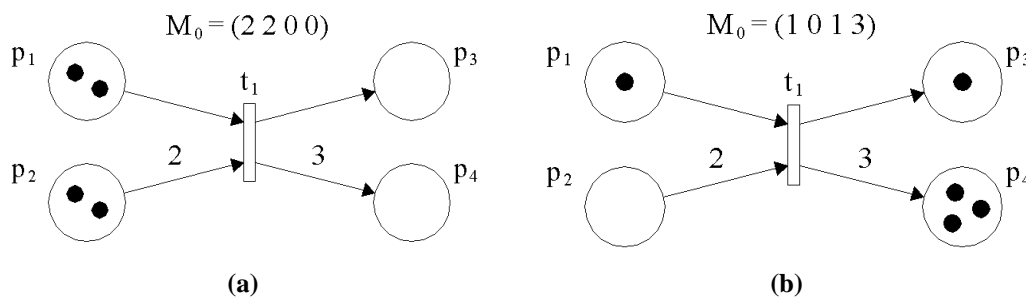
$$M = (m_1, m_2, \dots, m_j)^T \quad (3)$$

em que:

m_j = é o número de fichas do lugar p_j .

A rigor, a marcação é um vetor coluna, sendo o vetor transposto ao vetor linha apresentado na equação (3). Na prática, é usual ser omitida a denotação de vetor transposto.

De acordo com Palomino (1995), a marcação num determinado instante representa o estado da Rede de Petri ou, mais precisamente, o estado do sistema descrito pela Rdp; assim, a evolução do estado do sistema corresponde a uma evolução da marcação, a qual é causada pelo disparo de transições como veremos posteriormente. Um exemplo de representação gráfica de uma rede de Petri é apresentado na Figura 1.



Fonte: YAMADA *et al.*, 2001.

Figura 1 - Exemplo do disparo de uma transição.

Os círculos representam os lugares, o retângulo representa a transição, as setas que saem dos lugares e chegam na transição representam *Pre*, as setas que saem da transição e chegam nos lugares representam *Post* e os discos negros representam as marcações. A estas marcações damos o nome de *fichas*.

Yamada *et al* (2001) afirmam que um lugar pode ser utilizado como indicação de um *estado* do sistema (conjunto dos valores atuais dos parâmetros que definem um dado sistema, num dado instante) a ser modelado. Um lugar possui os seguintes atributos: identificação, marcação e capacidade.

A identificação diferencia um lugar dos demais, a marcação equivale ao número de fichas contidas em um lugar e capacidade é o número máximo de fichas que um lugar pode armazenar por um determinado tempo, não sendo denotada para lugares de capacidade infinita. As fichas simplesmente indicam que as condições associadas aos lugares são verdadeiras.

As transições podem representar operações ou ações realizadas pelo sistema, possuindo os seguintes atributos: identificação e, para as Redes de Petri temporais, o tempo, que indica quanto tempo é gasto no seu disparo. Um arco que sai de um lugar que chega a uma ou mais transições indica, juntamente com as fichas, as condições para que uma ação seja realizada.

Um arco originado em uma transição que se destina a um ou mais lugares representa as funções que geram os estados após a execução da ação. Um arco com peso k , em que k é um número inteiro positivo, pode ser interpretado como um conjunto k de arcos paralelos. Os arcos com peso um usualmente têm seu peso omitido na representação gráfica.

Uma transição é considerada apta a disparar quando o número de fichas contidas em um lugar é maior ou igual ao peso dos arcos de precedência. Quando isto ocorre, a transição t_i é dita *habilitada*, estando pronta para o disparo. Como podemos verificar pela Rdp apresentada na

Figura 1, ao disparar t_1 , uma ficha é retirada do lugar p_1 , duas fichas são retiradas do lugar p_2 , uma ficha é adicionada ao lugar p_3 e três fichas são adicionadas ao lugar p_4 .

Como apontam Berthomieu e Diaz (1991), existem sistemas que se comportam baseados em parâmetros temporais explícitos. Utilizar e ampliar o conceito das redes de Petri clássicas, ou seja, adicionar características de tempo às transições, possibilita a aplicação desta técnica na modelagem de sistemas inerentes a diversos campos do conhecimento.

A rede de Petri temporal (RPT) é obtida associando-se a cada transição um intervalo (θ_{\min} , θ_{\max}), ou seja, a duração de sensibilização da transição deve ser maior do que θ_{\min} e menor do que θ_{\max} .

Segundo Cardoso e Valette (1997), pode-se associar um intervalo $[a,a]$ a uma transição para representar uma duração a . Se a transição estiver sensibilizada no tempo τ , ela irá disparar no tempo $\tau + a$, caso continue, nesta data, sensibilizada pela marcação.

Formalmente, uma rede de Petri temporal é um par:

$$NtI = \langle N, I \rangle \quad (4)$$

em que:

- N é uma rede Petri $\langle P, T, Pre, Post \rangle$ com uma marcação inicial M_0 ;
- $I = \theta(t) = [\theta_{\min}(t), \theta_{\max}(t)]$ é uma função que, a cada transição t , associa um intervalo racional que descreve uma duração de sensibilização.

5. Descrição do modelo

Foi proposto um modelo baseado em redes de Petri temporais, para modelagem, análise e simulação da operação de terminais portuários de contêineres. Este modelo, que é uma extensão de uma Rede Petri convencional apresentada no item 4 deste texto, pode ser aplicado em qualquer terminal portuário de contêineres, com pequenas e fáceis adaptações.

Foram coletadas informações acerca do Porto do Pecém de modo a caracterizar o sistema portuário como um todo, determinar as formas de entrada e saída de cargas no terminal, conhecer as atividades de manuseio de células unitizadas e obter as especificações técnicas dos equipamentos utilizados.

Após coletadas as informações que propiciaram o conhecimento da estrutura operacional do Porto do Pecém, foi concebido um modelo, baseado em redes de Petri, que permitiu representar a dinâmica operacional do terminal supracitado em cada instante, propiciando também a elaboração de cenários de operação. O modelo desenvolvido foi ajustado para representar a realidade modelada, no sentido de utilizar tempos de operação que condizem com a operação do terminal.

Foram simulados diversos cenários de operação nos quais se variou a quantidade de contêineres movimentada e os equipamentos utilizados nessa movimentação. Foi utilizado o *software* de análise de redes de Petri denotado TINA. Este *software* possui uma interface gráfica que possibilita não somente o fácil manuseio das informações do modelo, como a visualização gráfica das simulações realizadas. Os cenários gerados foram analisados sob a ótica do desempenho operacional do sistema.

Foram modelados a entrada de caminhões no terminal, o descarregamento de contêineres no pátio e o embarque de cargas em navios. A rede ilustrada na Figura 2 apresenta o modelo da recepção de cargas via modal rodoviário enquanto que a rede ilustrada na Figura 3 modela o embarque de contêineres.

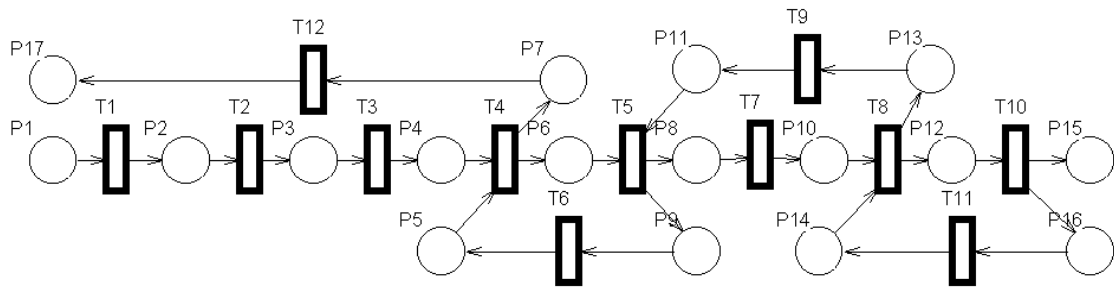


Figura 2 - Operação de descarga de caminhões.

Lugares	
P ₁ :	Caminhão externo chegando no porto
P ₂ :	Caminhão externo no Plano de Serviço Operacional
P ₃ :	Caminhão externo no GATE
P ₄ :	Caminhão externo na área de descarga
P ₅ :	Empilhadeira 1 pronta para manuseio de carga
P ₆ :	Contêiner na empilhadeira 1
P ₇ :	Caminhão externo descarregado
P ₈ :	Contêiner no caminhão do Porto
P ₉ :	Empilhadeira 1 livre
P ₁₀ :	Caminhão do Porto no pátio
P ₁₁ :	Caminhão do Porto livre
P ₁₂ :	Contêiner na empilhadeira 2
P ₁₃ :	Caminhão do Porto livre
P ₁₄ :	Empilhadeira 2 pronta para manuseio de carga
P ₁₅ :	Contêiner no pátio
P ₁₆ :	Empilhadeira 2 livre
P ₁₇ :	Caminhão externo fora do porto

Tabela 1- Legenda dos lugares da rede apresentada na Figura 2.

Transição	Tempo mínimo de disparo(s)	Tempo máximo de disparo(s)
T ₁ : Entrada de caminhões no porto	1200	1200
T ₂ : Inspeção no PSO	600	600
T ₃ : Inspeção no GATE	300	300
T ₄ : Empilhadeira erguendo contêiner	72	72
T ₅ : Carregamento de contêiner	72	2
T ₆ : Retorno da empilhadeira	0	30
T ₇ : Caminhão trafegando com contêiner	120	120
T ₈ : Empilhadeira erguendo contêiner	72	72
T ₉ : Retorno do caminhão	120	120
T ₁₀ : Colocação do contêiner no pátio	72	72
T ₁₁ : Retorno da empilhadeira	30	30
T ₁₂ : Saída do caminhão do terminal	600	600

Tabela 2- Legenda das transições da rede apresentada na Figura 2.

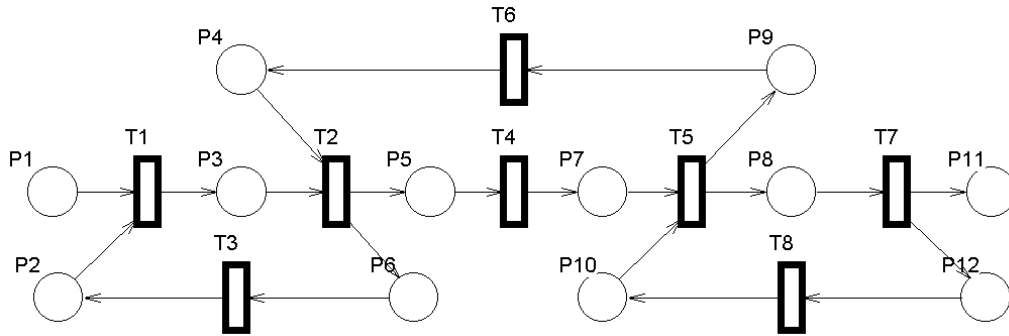


Figura 3 - Operação de embarcação de navios.

Lugares
P ₁ : Contêiner no pátio
P ₂ : Empilhadeira livre
P ₃ : Contêiner na empilhadeira
P ₄ : Caminhão livre
P ₅ : Contêiner no caminhão
P ₆ : Empilhadeira livre
P ₇ : Caminhão no píer
P ₈ : Contêiner sendo embarcado
P ₉ : Caminhão livre
P ₁₀ : Guindaste à espera
P ₁₁ : Contêiner no navio
P ₁₂ : Guindaste livre

Tabela 3 - Legenda dos lugares da rede apresentada na Figura 3.

Transição	Tempo mínimo de disparo(s)	Tempo máximo de disparo(s)
T ₁ : Retirada de contêiner do pátio	72	72
T ₂ : Colocação de contêiner no caminhão	72	72
T ₃ : Retorno da empilhadeira	0	0
T ₄ : Transporte de contêiner até o píer	600	600
T ₅ : Guindaste erguendo contêiner	120	120
T ₆ : Retorno do caminhão	600	600
T ₇ : Colocação do contêiner no navio	120	120
T ₈ : Retorno do guindaste	0	0

Tabela 4 - Legenda das transições da rede apresentada na Figura 3.

Como simplificações do modelo proposto, podem ser destacadas: (i) só foram considerados contêineres do tipo TEU; (ii) o modelo é determinístico, ou seja, o disparo das transições é sempre o mesmo para uma determinada ação; e (iii) os equipamentos do porto (empilhadeiras, caminhões e guindastes) foram considerados com capacidades constantes e idênticas para cada tipo de equipamento.

6. Análise de resultados

A quantidade de cenários que pode ser gerada pelo modelo proposto é, na prática, ilimitada, cabendo aos técnicos que gerenciam o porto modelado escolher quais situações operacionais devam ser simuladas, de modo a que os cenários gerados possam subsidiar a tomada de decisão na gestão do terminal.

A seguir, são comentados os resultados de alguns cenários estabelecidos quando da análise do processo de movimentação de contêineres no Terminal Portuário do Pecém. Admitiu-se que

seriam embarcados 50 contêineres, contendo cargas agrícolas, que seriam exportados. É importante ressaltar que os contêineres da agro-indústria são frigorificados e ocupam uma área pré-definida do pátio portuário, onde são disponibilizadas tomadas elétricas.

A Tabela 5 apresenta os equipamentos utilizados em cada cenário e o seu respectivo tempo de ciclo.

Cenário	Número de contêineres	Número de empilhadeiras	Número de caminhões	Número de guindastes	Tempo de ciclo (s)	Tempo de ciclo (h)
1	50	1	1	1	69672	19,35
2	50	2	1	1	69672	19,35
3	50	2	2	1	49872	13,85
4	50	2	4	1	30864	8,57
5	50	2	6	1	30864	8,57
6	50	2	6	2	30864	8,57
7	50	4	4	1	30864	8,57
8	50	4	4	2	18168	5,05
9	50	4	4	4	18168	5,05
10	50	6	6	2	15864	4,41
11	50	6	8	2	15864	4,41
12	50	8	8	2	15864	4,41

Tabela 5 - Resumo dos cenários de embarcação de contêineres.

Mantendo-se constante a quantidade de contêineres a ser movimentada e variando-se a quantidade de equipamentos utilizados na operação, pode-se avaliar qual a melhoria, expressa em termos da redução do tempo de ciclo, oriunda da ampliação da quantidade de recursos empregados.

O cenário 10 apresenta uma melhor combinação entre maquinário empregado e tempo de operação, ou seja, propicia um menor tempo de ciclo para uma menor frota de equipamentos utilizada.

Observe-se que a modelagem permite buscar combinações ótimas de frotas específicas, do ponto de vista da eficiência e da eficácia, bem como analisar o impacto de diferentes equipamentos de movimentação e transporte, com diversas capacidades unitárias, na produtividade do terminal portuário.

É imprescindível comentar a importância do grafo de alcançabilidade de estados para a análise de uma rede, pois, através deste grafo, pode-se conhecer todos os estados do sistema modelados. Tal informação é extremamente valiosa e caracteriza-se como uma vantagem das redes de Petri sobre outras técnicas de simulação a eventos discretos. Para sistemas complexos, entretanto, o número de estados pode explodir, dificultando a análise do grafo de alcançabilidade. O grafo de alcançabilidade de estados é um dado de saída usual dos editores de rede Petri correntes no meio corporativo como, por exemplo, o INA e o TINA.

7. Conclusões

Este trabalho apresentou uma modelagem da operação de um terminal portuário de contêineres, visto como um sistema a eventos discretos. Na modelagem foi utilizada a técnica das redes de Petri temporais.

A modelagem proposta apresenta diversos aspectos relevantes, dentre os quais podem ser destacados:

i) Através da modelagem efetuada obteve-se uma maior compreensão da dinâmica da operação de um terminal portuário de contêineres, onde a operação do sistema portuário pode ser acompanhada a cada instante, ao contrário do que ocorre com outros modelos de simulação;

ii) A aplicação ao caso do Terminal Portuário do Pecém mostra ser possível dimensionar e caracterizar frotas ótimas de equipamentos de movimentação e transporte, trazendo ganhos à produtividade portuária; e

iii) A modelagem pode ser aplicada, *mutatis mutandis*, a qualquer terminal portuário de contêineres.

No que diz respeito aplicabilidade do modelo proposto, podem ser feitos os seguintes comentários. Apesar da teoria das redes de Petri estar calcada em um arcabouço matemático complexo, manusear um modelo já estabelecido não se caracteriza como uma atividade difícil. A existência de softwares com interface orientada a objetos, como, por exemplo, o TINA e o STPNPlay, torna plenamente plausível o emprego do modelo proposto no planejamento da operação de terminais portuários. Para tanto, basta a realização de um treinamento do corpo técnico do terminal para que este possa realizar, com autonomia, simulações em um editor de redes de Petri que subsidiem a tomada de decisão na gestão do porto.

O modelo apresenta algumas limitações intrínsecas ou que decorreram de simplificações no escopo da pesquisa, cabendo ressaltar a não consideração de atividades burocráticas, tais como inspeções alfandegárias, que interferem na operação do porto. Também, trata-se de um modelo determinístico, onde as incertezas não são consideradas.

O aprofundamento do estudo do tema em foco e o aperfeiçoamento da modelagem tem levado os autores a considerar, nas próximas etapas da pesquisa, a utilização de redes de Petri estocásticas generalizadas - RPEG a fim de levar em conta a aleatoriedade do sistema bem como a utilização das redes de Petri coloridas - RPC, buscando-se uma modelagem mais compacta e abrangente.

Finalmente, outros tópicos podem vir a ser considerados no âmbito da pesquisa, tais como a inclusão de atividades alfandegárias, de custos operacionais necessários a indicadores de viabilidade econômica de operações portuárias, de taxas de ocupação de berços do Terminal, dentre outros.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao *Núcleo de Pesquisa em Logística, Transportes e Desenvolvimento* (NUPELTD/UFC), e à *Companhia de Integração Portuária* (CEARAPORTOS) pelos dados que viabilizaram a elaboração da modelagem. O primeiro autor agradece ao CNPq pela Bolsa PIBIC, fundamental para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

Referências

BERTHOMIEU, B.; DIAZ, M. *Modeling and Verification of Time Dependent Systems Using Time Petri Nets*. IEEE Transactions on Software Engineering, v. 17, n. 3, 1991.

CARDOSO, J.; VALETTE, R. *Redes de Petri*. Florianópolis: Editora UFSC, 1997.

COSTA, E.J.S.C. *Avaliação do Desempenho Logístico de Cadeias Produtivas Agroindustriais: Um Modelo com Base no Tempo de Ciclo*. Fortaleza, 2002. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - PETRAN, Universidade Federal do Ceará.

DEGANO, C.; DI FEBBRARO, A. *Fault diagnosis in an intermodal container terminal*. Torino, Italy. 2001.

- FERNANDES, M. G. *Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos*. São Paulo, 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- LEGATO, P.; MAZZA, R.M. *Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation*. European Journal of Operational Research 113, 537-547, 2001.
- MARLOW, P.B.; PAIXÃO CASACA, A.C. *Measuring lean ports performance*. International Journal of Transport Management. Elsevier Science, v.1, p. 189-202, 2003.
- PAIXÃO, A.C.; MARLOW, P.B. (2003) *Fourth generation ports – a question of agility?* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Emerald, v.33, n. 4, p. 355-376, 2003.
- PALOMINO, R.C. *Uma Abordagem para a Modelagem, Análise e Controle de Sistemas de Produção Utilizando Redes de Petri*. Florianópolis, 1995. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – EPS - CTC, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RIOS, L.R.; MAÇADA, A.C.G. *Modelo de decisão para o planejamento da capacidade: o caso do terminal de container*. Porto Alegre, 2002.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA E PECUÁRIA – SEAGRI. *O agronegócio da agricultura irrigada no Ceará (1999 a 2003)*. Fortaleza, 2003.
- SOUZA, F.A.F. *Elaboração de um modelo de localização de cargas unitizadas agroindustriais em pátios portuários: Aplicação ao caso do terminal Portuário do Pecém*. Fortaleza, 2002. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - PETRAN, Universidade Federal do Ceará.
- TOMÉ, L.M. *Avaliação do desempenho logístico - operacional de empresas no setor de floricultura: um estudo de caso no Ceará*. Fortaleza, 2004. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - PETRAN, Universidade Federal do Ceará.
- YAMADA, C.M.; PORTO, A.J.V; INAMASU, R.Y. *Aplicação dos conceitos de modelagem e de redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 6, p. 809-820, 2002.
- YUN, W.Y.; CHOI, Y.S. *A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach*. International Journal of Production Economics, v 59, p. 221-230, 1999.