

3

O Problema do Empilhamento

O surgimento dos contêineres como embalagem de transporte e armazenamento de bens veio a simplificar sobremaneira a homogeneização/padronização no transporte/armazenagem de cargas, permitindo que produtos diversos pudessem receber tratamento logístico análogo. Equipamentos padrão de manuseio passaram a ser utilizados para sua movimentação e estocagem, reduzindo custos pela padronização de processos. A perspectiva de empilhamento, favorecida pela geometria dos contêineres, passou a representar reduções expressivas de custos de espaço físico na estocagem. Por outro lado, elevaram-se os custos de manuseio, proporcionados pela maior dificuldade de acesso às pilhas.

Em problemas desta natureza objetiva-se otimizar uma medida de eficiência na montagem/desmontagem de pilhas, o que não pode ser realizado por métodos de cálculo diferencial, pois se está tratando com situações combinatoriais, sem, portanto um *continuum* que possa representá-las.

Diversos autores vêm estudando o problema de empilhamento ao longo das últimas décadas. Talvez a mais importante e complexa operação desta natureza encontrada na vida real seja na carga/descarga de navios. Aslidis (1987) estudou o problema de empilhamentos e os movimentos improdutivos decorrentes (chamado *stowage problem*), num navio percorrendo uma seqüência de portos. Sua tese representa um referencial para os que se interessam pelo assunto.

Por tratar-se de problema de natureza combinatória, busca-se solução para estes problemas através de métodos de otimização combinatória, mormente programação dinâmica, onde a recorrência das relações estabelecidas favorece a busca de solução na estrutura combinatória, além de soluções via metaheurísticas diversas.

A utilização de Simulação para resolver problemas nesta área é amplamente disseminada, dada a sua natureza flexível, a incerteza presente nas

variáveis e o caráter combinatorial presente nos processos envolvidos de empilhamento.

Deve-se levar em conta que o problema envolve não apenas empilhamento vertical, caso específico de contêineres. O problema pode ser visto em situações também horizontais, como na movimentação de automóveis em um estacionamento. Em Centros de Distribuição, encontra-se também o chamado *picking problem*, com situações de manuseio de itens onde a política **PEPS** se justifica (ex: perecíveis, remédios), fazendo com que o problema de rearranjo típico de pilhas também se apresente.

Castilho e Daganzo (1993) apresentam uma concepção interessante sobre o estudo das pilhas. Concentram-se na movimentação de contêineres em operações de pátio, nosso foco. Seu trabalho estuda inicialmente as relações de valores esperados de movimentações em função de tamanho de pilhas e a influência das variâncias destes tamanhos na quantidade de movimentos. Aplica, posteriormente, estas relações no estudo de duas estratégias de empilhamento diversas nos pátios. Seu estudo sofre porém a limitação de que a estrutura de movimentação de contêineres considerada se baseia em acesso vertical superior a contêineres, típica de equipamentos RTGC's e RMGC's, característicos de grandes instalações. Equipamentos de acesso lateral, como *reach stackers*, fruto desta pesquisa, não se beneficiam de suas conclusões.

Aqui, o foco central está na movimentação de contêineres pré-segregados do pátio de um terminal de contêineres, especificamente contêineres de importação, a serem carregados em carretas, através de *reach stackers*.

Encontra-se na bibliografia pesquisada apenas um único trabalho específico de retirada de contêineres de importação. Trata-se do trabalho de Sgouridis e Angelides (2002). Neste, é construído modelo de simulação em Extended v.3.2.2 da operação de entrega de contêineres de importação com diversos agentes envolvidos. Difere desta pesquisa, principalmente por:

- (a) não operar com *reach stackers* e

(b) não envolver pré-segregação de contêineres, acessando contêineres em diversos endereços no pátio via equipamentos RTGC's e RMGC's.

O fato de não se encontrar na literatura especializada estudo que trate do problema aqui tratado nos moldes desejados, deve-se, segundo nossa concepção, a que instalações de maior porte utilizam equipamentos de acesso vertical – os RTGC's e os RMGC's. Como, na operação destes, a quantidade de movimentos improdutivos é pequena, conforme será visto a seguir, não se justifica estudo específico para sua retirada e entrega.

Castilho e Daganzo (1993), estabeleceram relação entre altura de pilha e quantidade de movimentações para obter determinado contêiner em uma estrutura com acesso vertical. O experimento relaciona-se à variável aleatória

M = quantidade de movimentos necessários para acessar o m -ésimo contêiner, todos os contêineres com mesma probabilidade de serem escolhidos.

O valor esperado de movimentos necessários neste contexto será:

Equação 3.1: $E[M] = (B + 1) / 2$ sendo: M , a quantidade de movimentações,
 B , a altura da pilha.

Considera-se uma estrutura de seis pilhas de contêineres com altura de cinco contêineres, representada na estrutura abaixo (Quadro 3.A).

Observe neste Quadro 3.A. que os números associados a cada contêiner representam a quantidade de movimentos para acessá-lo.

Quadro 3.A

ESTRUTURA DE PILHAS ACESSO VERTICAL					
QUANTIDADE DE MOVIMENTAÇÕES PARA ACESSAR CONTEINERES					
ACESSO VERTICAL					
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5

Aplicando na equação 3.1 para uma estrutura com esta conformação (B = 5), obtém-se:

$$E[M] = 3$$

Ou seja, independente da pilha em que se encontre o contêiner desejado, com um valor esperado de 3 (três) movimentos, um contêiner pode ser acessado verticalmente.

Objetiva-se aqui estabelecer padrão de comparação entre equipamentos de acesso vertical e equipamentos de acesso lateral (fruto desta pesquisa).

No que tange à dinâmica operacional dos *reach stackers*, as variáveis relevantes não estão associadas às alturas das pilhas, intrínseco à movimentação vertical superior (equipamentos de movimentação de contêineres RTGC e RMGC) e sim à quantidade de contêineres a serem movimentadas lateralmente, para acesso a contêineres mais internos a esta estrutura.

Assim sendo, numera-se sequencialmente, de cima para baixo, das pilhas mais externas às mais internas. Tais números correspondem à quantidade de movimentações necessárias (típicas dos *reach stackers*), para acessar cada um dos contêineres desta estrutura, conforme Quadro 3.B.

Quadro 3.B

ESTRUTURA DE PILHAS ACESSO LATERAL						
QUANTIDADE DE MOVIMENTAÇÕES PARA ACESSAR CONTEINERES						
	1ª PILHA	2ª PILHA	3ª PILHA	3ª PILHA	2ª PILHA	1ª PILHA
	1	6	11	11	6	1
	2	7	12	12	7	2
ACESSO LATERAL ESQUERDO	3	8	13	13	8	3
	4	9	14	14	9	4
	5	10	15	15	10	5
						ACESSO LATERAL DIREITO

O valor esperado de movimentação via *reach stackers* nesta estrutura seria de:

Equação 3.2:
$$E[M] = \sum_{i=1}^{15} C_i \cdot p(C_i) ,$$

onde:

$C_i = N^\circ$ de movimentações para retirar contêiner i da estrutura de pilhas e

$P(C_i) =$ probabilidade do contêiner desejado ser o i (considera-se o evento de cada contêiner ser o desejado, como equiprováveis, igual a $1/15$).

Obtém-se assim a soma dos termos de uma P.A. com razão $1/15$.

Logo $E[M] = 8$

Observa-se, em uma análise preliminar que, para se obter melhor desempenho da configuração nestas circunstâncias (acesso lateral), deve-se operar com menor quantidade de pilhas em largura ou pilhas menos elevadas. Em contrapartida, o preço a pagar seria a redução de produtividade, representada aqui pelo menor aproveitamento de espaços, no pátio de contêineres.

Com quatro pilhas de largura, mantendo as cinco de altura (Quadro 3.C), este valor esperado seria reduzido para:

$$E[M] = [(1+10) \times 4] / 2 = 5,5$$

Quadro 3.C

ESTRUTURA DE PILHAS ACESSO LATERAL					
QUANTIDADE DE MOVIMENTAÇÕES PARA ACESSAR CONTEINERES					
	1	6	6	1	
	2	7	7	2	
ACESSO LATERAL	3	8	8	3	ACESSO LATERAL
	4	9	9	4	
	5	10	10	5	

O *lay-out* do pátio deveria levar tais informações em consideração, em busca de eficiência. Caso haja espaço físico disponível em excesso, o que não costuma ser a realidade destas instalações, configurações de pilhas menos densas (em relação à largura ou à altura), certamente são mais indicadas.

Como se pretende comparar *reach stackers* a RTGC's e RMGC's em uma configuração de seis contêineres de largura por cinco de altura, o dado a ser considerado relativamente à movimentação via *reach stacker* seria $E[M] = 8$.

Nestas bases, pode-se concluir, grosso modo, que *reach stackers* apresentam nível de eficiência médio em relação aos RTGC's ou RMGC's de $-166,7\%$ em termos de $E[M]$ de movimentação/contêiner. Adianta-se aqui que conclusões bastante diversas destas serão obtidas posteriormente como resultado da simulação.

Caso não houvesse previsão, neste novo processo, de pré-segregação dos contêineres e de área *buffer* para movimentá-los, a operação, consideradas:

(a) a diversidade de endereços e rotas nas operações de pátio para resgatar contêineres de importação, associada a

(b) a dinâmica operacional pouco eficiente típica dos *reach stackers*, certamente resultaria em extremamente baixos níveis de desempenho.