



Desbalanceamento do número de itens das listas de coleta para reduzir o tempo do processo de retirada de itens

Shih Yung Chin

Universidade de São Paulo

José Hamilton Chaves Gorgulho Júnior, MSc.

Universidade Federal de Itajubá

Silmara Nonato, MSc.

Universidade de São Paulo

Arthur José Vieira Porto, Dr.

Universidade de São Paulo

Este trabalho utiliza um modelo de simulação de um Centro de Distribuição de Peças (CDP), implementado com o *software* Arena 5.0, para analisar os efeitos da divisão do pedido em Listas de Coleta (LC) entre funcionários. Foram incluídos no modelo variáveis que representam as velocidades de deslocamento, tempos de identificação, direções de movimentação, dentre outras. Os resultados mostram que dividir igualmente o número de itens do pedido entre os funcionários resulta em desequilíbrio entre os tempos gastos por cada um. Uma vez que um pedido só é consolidado quando todos os funcionários encerram suas coletas, essa diferença entre os tempos faz com que a consolidação leve mais tempo. Por esta razão, é proposta uma forma de desbalancear as LC que busca equilibrar os tempos de processo e, conseqüentemente, minimizar o tempo de consolidação do pedido.

Palavras-chave: armazenamento; simulação e desbalanceamento das listas de coleta.

This paper uses a simulation software ARENA 5.0 to model a Distribution Center (DC) to analyze the impact of separating order in Collecting List (CL) among employees. Several variables are included in the model, such as routing velocity, identifying part times, routing direction and so on. The results show that dividing equally the item numbers among employees may unbalance their retrieving times. Since it is known that one order is consolidated when all of employees finish their tasks, the difference between their retrieving times makes order consolidation longer than necessary. For those reasons this paper proposes an unbalanced CL to balance their times and consequently reduce the order times consolidation.

Keywords: warehousing; simulation and unbalanced of collecting list.

1 Introdução

O processo de retirada de itens é uma das atividades mais importantes dos sistemas de armazenamento, pois é nesta etapa que os itens são retirados das prateleiras pelos funcionários para atender aos pedidos. Comumente, os funcionários utilizam transportadores manuais (carrinhos) para auxiliá-los neste processo, permitindo-lhes que os itens retirados possam ser previamente guardados no transportador para futuramente serem contabilizados e despachados aos clientes.

Em geral, o processo de retirada de itens do CDP (Centro de Distribuição de Peças) é o que consome mais tempo e também mais contribui para o aumento dos custos de armazenamento (TOMPKINS *et al.*, 1996 e DANIELS *et al.*, 1998). Qualquer solução que vise aumentar a eficiência desse processo tem importante papel na redução desses custos (MALTON, 1991) e para que isso aconteça, Frazelle (1989) afirma que deve-se preocupar com a minimização do tempo de retirada de itens.

Roodbergen e De Koster (2001) citam quatro métodos para minimizar o tempo deste processo:

- Redução do percurso: consiste em determinar a rota entre os itens que leva à menor distância percorrida. Hall (1993) criou uma heurística para um CDP com dois corredores horizontais enquanto Ratliff e Rosenthal (1983) desenvolveram um eficiente algoritmo. Alguns pesquisadores trabalham com a variação das larguras dos corredores. Por exemplo, Goetschalckx e Ratliff (1988a, 1988b) focam corredores largos enquanto Rana (1990) propõe um algoritmo para corredores estreitos. Roodbergen e De Koster (2001) estudaram o impacto dos corredores centrais sobre o percurso. Caron *et al.* (2000) avaliaram os diferentes percursos quando existem diferentes posicionamentos das prateleiras, número de corredores e principalmente o número de locais nos quais o transportador deve parar durante a realização da coleta.
- Zoning: o CDP é dividido em zonas e em cada uma delas há um funcionário que fica responsável pela coleta dos itens.
- Alocação por demanda: itens com demandas semelhantes são armazenados próximos uns dos outros.
- Agrupamento dos pedidos: os itens dos pedidos de vários clientes são agrupados em uma única lista de coleta, como em Liu (1999) e Gibson e Sharp (1992). Rosenwein (1996) propõe uma heurística que define, iterativamente, agrupamento entre pedidos que resulte no menor percurso. O trabalho de Lin e Lu (1999) aborda duas estratégias de agrupamento de pedidos. A primeira diz respeito a situações em que o funcionário inicia o processo de retirada de itens sem agrupar pedido, e neste caso trabalha com pedido unitário. A segunda estratégia considera agrupamento de pedidos. A partir disso, é avaliado o tempo do processo e verifica-se que, dependendo do número de itens e quantidade de peças após o agrupamento, pode-se obter a minimização do tempo do processo.

As empresas buscam cada vez mais ferramentas computacionais que também permitam reduzir os seus custos. Vaughan e Petersen (1999) comentam que sistemas computacionais avançados são capazes de converter os pedidos dos clientes em listas de coleta (LC), onde constam o tipo, quantidade e localização dos itens. Dessa forma, proporciona-se ao funcionário informações importantes para que se inicie o processo. Estas listas são ordenadas em uma sequência de coleta que visa minimizar o percurso do funcionário.

A simulação computacional, considerada como uma das ferramentas de apoio à decisão, tem como uma das principais características a criação de modelos que representem os sistemas reais. Law e Kelton (1991) comentam que as ferramentas de simulação permitem interações com os modelos, tornando possível compreender o sistema e avaliar alternativas antes de se tomar qualquer tipo de decisão. Porém, como afirmam Banks *et al.* (1984), devido à complexidade dos sistemas reais torna-se necessário adotar simplificações durante a modelagem. Miller (2000) afirma que a simulação pode ser utilizada para criar e testar diferentes cenários para melhor compreensão do sistema real.

Um pedido com grandes quantidades de itens exige a atuação de diversos funcionários simultaneamente para reduzir o tempo de consolidação e, neste caso, ele é dividido em Listas de Coleta (LC). O pedido só estará consolidado quando todos encerrarem suas respectivas LC. Nota-se que os trabalhos citados não analisam a influência dessa divisão no tempo consumido por cada funcionário.

Dependendo de como é realizada a divisão do número de itens do pedido em diversas LC, pode-se não estar aproveitando os funcionários da maneira mais adequada. Portanto, o objetivo deste trabalho é modelar um CDP em um *software* de simulação, analisar o tempo consumido por cada funcionário no processo de retirada de itens e apresentar uma proposta de distribuição dos itens.

O *software* disponível para execução do trabalho foi o Arena 5.0.

2 Descrição da empresa

A empresa onde o estudo foi realizado, localizada no Estado de São Paulo, é uma montadora de escavadeiras hidráulicas, compactadoras, carregadeiras de rodas, motoniveladoras, retroescavadeiras e tratores de esteiras, além de ferramentas e acessórios especiais para seus equipamentos. Conta com um CDP responsável pelo fornecimento de peças de reposição. Dentre os diversos setores do CDP, há um responsável pelas peças nacionais com até 20kg, que será o alvo deste estudo.

Este setor possui 30 prateleiras divididas em 15 corredores verticais. Nele são armazenados 30.055 itens, classificados segundo sua frequência de venda. Os produtos mais vendidos são definidos como tipo A e os menos vendidos são tipo C (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de itens armazenados no CDP

Tipo de item	Número de itens
A	1.522
B	3.120
C	25.413
Total	30.055

Tabela 2 – Distribuição dos itens do pedido

Tipo de item	Número de itens	Percentual do pedido
A	606	35,53%
B	330	25,22%
C	669	39,25%

Os dados históricos de um semestre revelam uma média de 1.705 itens por pedido, com uma distribuição entre tipos A, B e C conforme a Tabela 2. Deve ficar claro que o “número de itens” e “quantidade de peças” são denominações distintas. Assim, cada item do pedido pode possuir uma quantidade diferente de peças. Por exemplo, o cliente pode solicitar 25 peças de um item e 2 peças de outro.

O pedido é dividido pelo sistema computacional em Listas de Coleta (LC) e chega aos funcionários com os dados dos itens a serem recolhidos, tais como: local, quantidade e nome. Os itens da lista são ordenados de acordo com a sequência de coleta.

A rotina de trabalho deste CDP é composta de três etapas. Na parte da manhã, os funcionários executam a reposição de itens no estoque. Na parte da tarde, as peças são coletadas para consolidar os pedidos. Os pedidos são despachados à noite por outros funcionários.

O funcionário usa um carrinho para transporte das peças com capacidade de 120kg. Seguindo a sequência da LC, o funcionário desloca-se até o local de recolhimento onde faz a identificação do item e recolhe da prateleira a quantidade de peças definida.

Cada prateleira é designada por um número, como mostra a Figura 1, bem como o sentido de movimentação dos funcionários nos corredores. Neste percurso, cada funcionário leva consigo uma LC e um transportador para auxiliá-lo na coleta. Assim, na medida em que a coleta é realizada, os itens são depositados neste transportador até atingir sua capacidade. Em seguida, o carrinho é levado ao setor de empacotamento.

No setor de empacotamento, os itens são descarregados do transportador para posterior empacotamento e despacho aos clientes. Assim que o transportador é descarregado, o funcionário retorna ao CDP e,

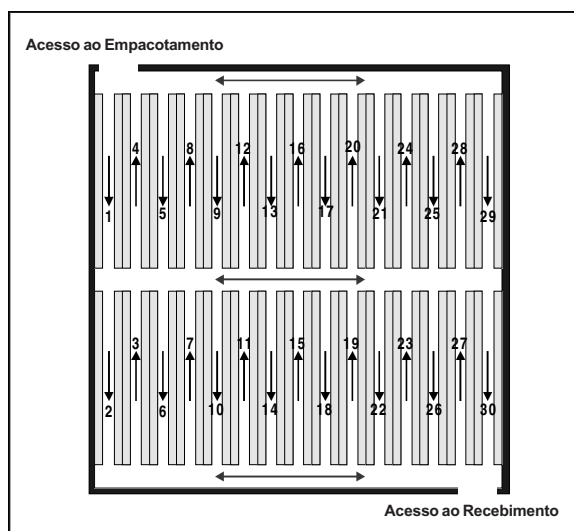


Figura 1 – Sentido de movimentação nos corredores e numeração das prateleiras

partindo do local onde realizou a última coleta, dá continuidade ao processo.

A Figura 2 ilustra as dimensões do CDP em estudo. Devido à sua dimensão, é possível a circulação de apenas um único funcionário (incluindo o transportador) em cada corredor. Sendo assim, os sentidos devem ser seguidos pelos funcionários com rigor. Por exemplo, supondo que seja necessário recolher uma peça no início da prateleira 1 e outra no final da prateleira 4. Apesar da proximidade dos dois locais de coleta, é necessário que o funcionário realize o

3.1. Modelagem do número de itens armazenados no CDP

A densidade de itens dispostos em um CDP é altamente variável devido às diferenças de tamanho das peças. Essa variabilidade tornaria muito complexo o modelo e devido a isso foi adotada uma padronização na densidade de itens. O número total de itens foi aproximado para 30.000. Como o CDP possui 30 prateleiras tem-se uma densidade de 1.000 itens por prateleira. O número de itens ABC foi arredondado de modo que ocupassem prateleiras inteiras (Tabela 3).

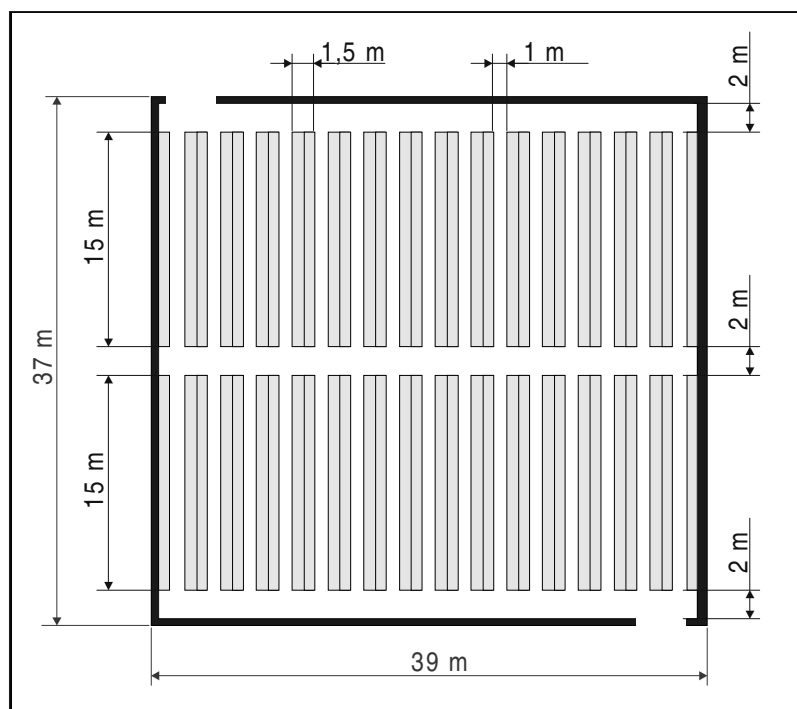


Figura 2 – Dimensões das prateleiras e dos corredores do CDP

percurso de todo o corredor (*subaisle*) da prateleira 1 e em seguida da prateleira 4 para que obedeça os sentidos de movimentação. Além disso, o corredor permite que o funcionário retire os itens das prateleiras dos 2 lados do corredor vertical. Já no corredor horizontal (*cross aisle*), é permitido o fluxo dos funcionários em ambos os sentidos.

3 Modelo de simulação

Para a simulação leva-se em consideração apenas o período da tarde (4 horas), quando a coleta de itens é realizada. Além disso, pressupõe-se que haja itens suficientes nas prateleiras para serem coletados pelos funcionários.

Tabela 3 – Número de itens adotados para o modelo de simulação.

Tipo de item	Número de itens	Percentual
A	2.000	6,67%
B	4.000	13,33%
C	24.000	80,00%
Total	30.000	100,00%

Com as informações da distribuição dos itens conforme Tabela 3, estabeleceu-se a divisão das prateleiras (Figura 3). Dessa forma, dos 1.000 itens por prateleira, tem-se 500 no lado direito e 500 no esquerdo do *subaisle*. Cabe notar que as peças com maior frequência de venda estão mais próximas do setor de empacotamento.

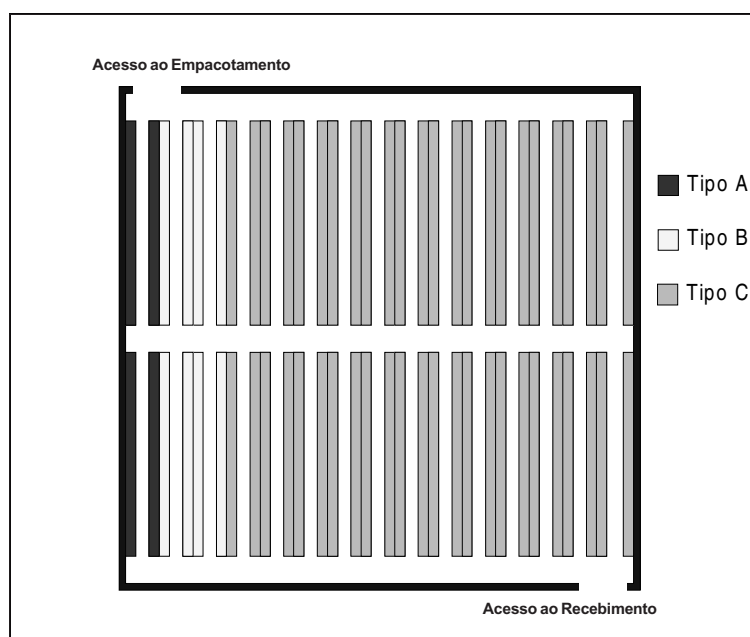


Figura 3 – Divisão ABC das prateleiras

3.2. Modelagem das subseções das prateleiras

Os *subaisles* (subcorredores) são divididos em 10 seções, gerando uma densidade de 100 itens/seção (50 itens do lado direito e 50 itens do lado esquerdo). Cada lado da seção, também chamada de subseção, possui 25 gavetas (com dois compartimentos).

A Figura 4 ilustra o formato adotado para as gavetas e dimensões das subseções. Em cada gaveta tem-se 2 itens. Assim, quando o funcionário chega à seção onde está localizado o item, este escolhe a subseção desejada e arrasta a gaveta em sua direção para a coleta dos itens.

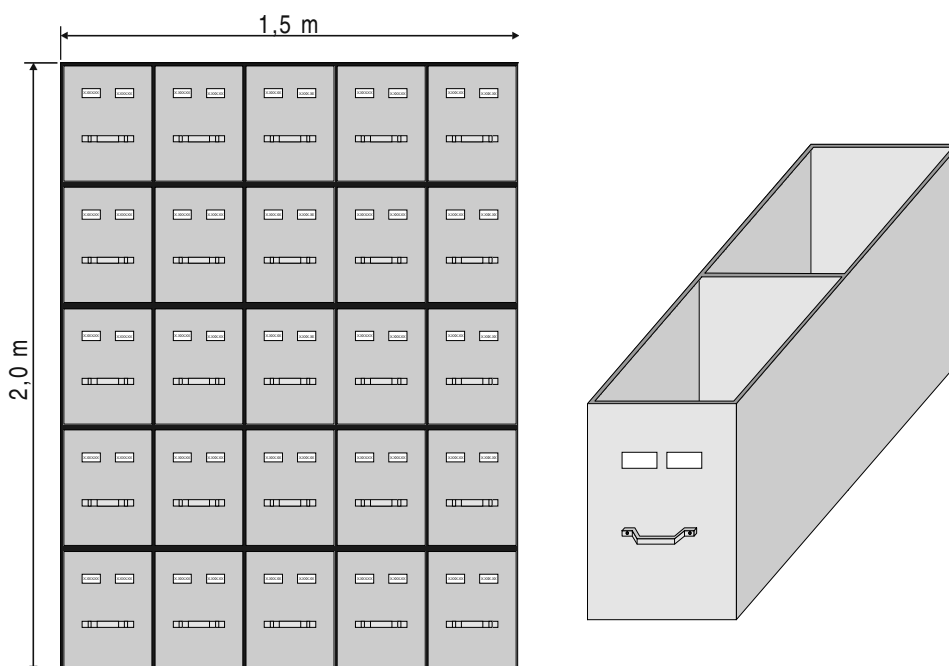


Figura 4 – Definição das dimensões da subseção da prateleira e das gavetas

3.3. Modelagem do número total de itens do pedido

O número total de itens contido em um pedido será modelado segundo a distribuição triangular (TRIA) com valores 1.000, 1.700 e 1.850. Essa distribuição indica o valor mais provável como sendo a média dos pedidos. Os dados históricos revelam que muito dificilmente um pedido possui menos de 1.000 ou mais de 1.850 itens. Como a distribuição triangular gera números reais e o número de itens deve ser um valor inteiro, é necessário usar uma função que retorna apenas a parte inteira (AINT).

$$\text{Número de itens} = \text{AINT}(\text{TRIA}(1.000 \ 1.700 \ 1.850))$$

3.4. Modelagem do número de itens por tipo ABC

Após definir-se o número total de itens do pedido o modelo definirá quantos são tipo A, B e C. Os dados da Tabela 2 são dados médios de números de itens solicitados. Para a simulação adotam-se algumas aproximações que representem melhor esta variabilidade para o modelo. Estas aproximações, baseadas em uma distribuição uniforme (UNIF), podem ser vistas na Tabela 4. A partir destas informações, os itens tipo A, B e C podem ser obtidos a partir das equações 1, 2 e 3.

Tabela 4 – Divisão percentual do pedido (aproximações para a modelagem).

Item tipo	Percentual do pedido
A	30 a 40%
B	20 a 30%
C	30 a 50%

$$\text{Itens_A} = \text{AINT}(\text{UNIF}(0,3 \text{ a } 0,4) * \text{Número de itens}) \quad (1)$$

$$\text{Itens_B} = \text{AINT}(\text{UNIF}(0,2 \text{ a } 0,3) * \text{Número de itens}) \quad (2)$$

$$\text{Itens_C} = \text{Número de itens} - \text{Itens_A} - \text{Itens_B} \quad (3)$$

3.5. Modelagem da quantidade de peças de cada item do pedido

O número de peças de cada item do pedido é muito variável. Há itens em que apenas 1 ou 2 unidades são solicitadas, enquanto há outros em que são solicitadas, por exemplo, 50 unidades. Em uma primeira abordagem utilizou-se apenas uma única distribuição uniforme para o número de peças, variando entre 1 e 50. Contudo, na prática, peças pesadas (tendendo a 20kg) não são solicitadas em grandes quantidades. Para resolver este problema e aproximar a simulação da realidade, foram adotadas quatro distribuições diferentes conforme a faixa de massa do item solicitado (Figura 5). Uma dessas distribuições é exponencial (EXPO).

Massa de cada peça	Quantidade de peças do item
Até 1kg	$\text{AINT}(\text{EXPO}(7))+1$
De 1 até 5kg	$\text{AINT}(\text{UNIF}(1;8))$
De 5 até 10kg	$\text{AINT}(\text{UNIF}(1;4))$
De 10 até 20kg	$\text{AINT}(\text{UNIF}(1;3))$

Figura 5 – Quadro com distribuição da quantidade de peças em função de suas massas

3.6. Tempo total do processo de remoção de itens

Algumas das principais atividades dos sistemas de armazenagem citadas por Moura (1997) são: recebimento, endereçamento para o estoque ou alocação, armazenagem, remoção de itens e distribuição. Em particular, os componentes do tempo total do processo de remoção de itens podem ser classificados da seguinte forma:

- Tempo de deslocamento ou percurso: é o tempo despendido pelo funcionário para percorrer os corredores do CDP;
- Tempo de identificação do local: na maioria dos casos, pela grandiosidade do CDP, os funcionários despendem um certo tempo para localizar a seção onde se encontra um determinado tipo de item. Considera-se para este trabalho que o funcionário não é capaz de se locomover nos corredores e de localizar a seção simultaneamente, pois se fosse assim, este tempo de identificação do local seria tão reduzido a ponto de restar apenas o tempo de deslocamento.
- Tempo de identificação da peça: uma vez identificada a seção onde o item está armazenado, é comum o funcionário despende um certo tempo para localizar o item em uma determinada seção, pois em uma seção há diversos tipos de itens.
- Tempo de coleta de itens: é o ato de retirar os itens das prateleiras, conforme solicitado na LC.

3.6.1. Modelagem do tempo de identificação do local e tempo de identificação da peça

Law e Kelton (1991) afirmam que a distribuição triangular pode ser utilizada quando existem poucos dados disponíveis. Para aproximar a simulação da realidade foram adicionadas duas distribuições triangulares. Uma representa o tempo gasto para identificar o local onde se encontra o item. A outra refere-se ao tempo que se leva para identificar a peça no local de recolhimento. Na impossibilidade de realizar experimentos para determinar os valores

reais, as distribuições foram definidas em conjunto com funcionários responsáveis pela coleta, dadas em segundos [s].

Tempo de Identificação do Local [s] = TRIA(1,5 2,5 4,0)

Tempo de Identificação da Peça [s] = TRIA(1,0 1,5 3,0)

3.6.2. Modelagem do tempo de coleta

O tempo de coleta de um item é influenciado por três componentes: a quantidade de peças deste item, a sua posição na prateleira e a sua massa. Dessa forma, é importante buscar uma forma de representar estas influências no modelo, como mostra a equação (4). Quanto maior a massa do item a ser coletado, maior o tempo consumido na tarefa e, de acordo com Maynard (1970), essa influência pode ser representada por um fator, que será denominado neste trabalho de Fator_M. Assumindo-se que o tempo individual de cada peça durante a coleta seja uma distribuição triangular (1 3 4), com a dificuldade imposta pela massa das peças, o Fator_M é multiplicado ao tempo total de coleta de todas as peças, como descrito em (4):

$$\text{Tempo de Coleta [s]} = \text{TRIA}(1 \ 3 \ 4) * \text{Quantidade_de_Peças} * \text{Fator_M} \quad (4)$$

Para incluir uma influência da massa no tempo de coleta foi definido um fator linear, apresentado na equação (5). Este fator tem valor 1 para massas de 1kg. Para massas menores o fator diminui, reduzindo o tempo de coleta. Para massas acima de 1kg o valor do fator se eleva.

$$\text{Fator_M} = 0,5 + \frac{10 * \text{Massa_da_peça [kg]}}{20} \quad (5)$$

3.7. Modelagem da velocidade de deslocamento

O modelo proposto irá considerar a velocidade do transportador como sendo uma distribuição triangular (0,75 1,00 1,20) em metros por segundo, como mostrado em (6). Porém, na prática, observa-se que conforme a carga depositada no transportador vai aumentando, a sua velocidade de deslocamento tende a diminuir. Para representar esta situação adotou-se um fator denominado Fator_V.

$$\text{Velocidade de Deslocamento [m/s]} = \text{TRIA}(0,75 \ 1,00 \ 1,20) * \text{Fator_V} \quad (6)$$

Na equação (7) observa-se que, quando a carga do transportador tende a um valor nulo, o Fator_V tende ao valor unitário, e portanto não influencia na velocidade de deslocamento (transportador vazio). Por outro lado, conforme a carga vai se elevando, o valor do Fator_V vai sendo reduzido até 0,75, representando a redução na velocidade do transportador.

$$\text{Fator_V} = 0,75 + 0,25 \left(\frac{120 - \text{Carga [kg]}}{120} \right) \quad (7)$$

4 Resultado do modelo de simulação e identificação da necessidade de desbalancear a LC

Os resultados correspondem à média de 30 replicações. Na Figura 5 são apresentados os tempos médios de cinco funcionários quando as LC possuem o mesmo número de itens. Nota-se que, apesar de cada funcionário coletar o mesmo número de itens, há uma diferença de aproximadamente 1 hora entre o tempo total médio do processo de retirada de itens do primeiro e do último funcionário.

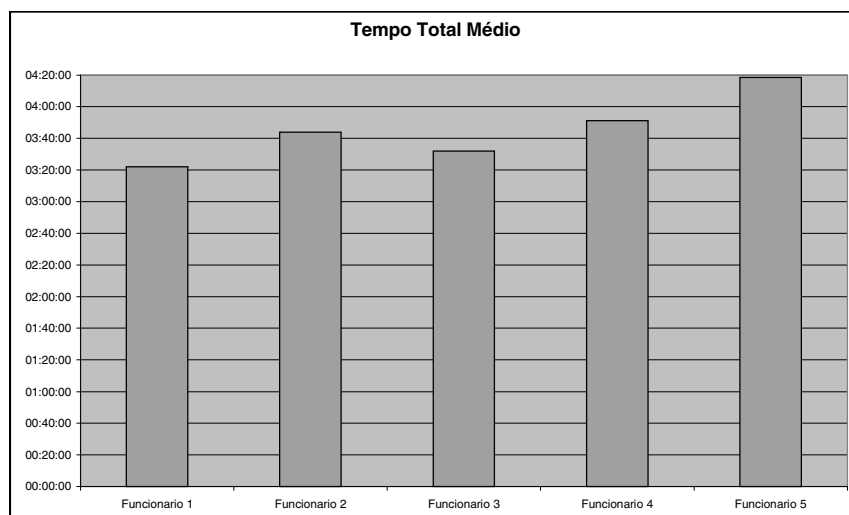


Figura 5 – Tempo total médio de 5 funcionários

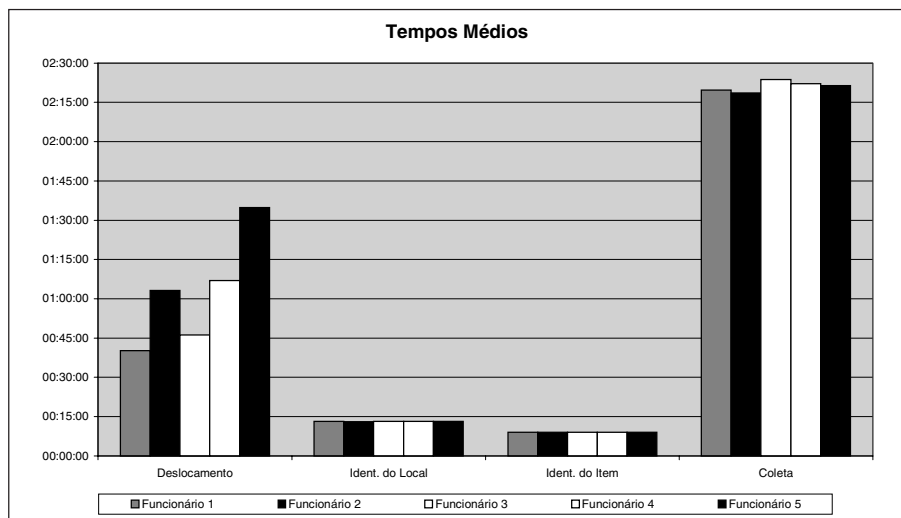


Figura 6 – Composição do tempo total do processo de retirada de itens

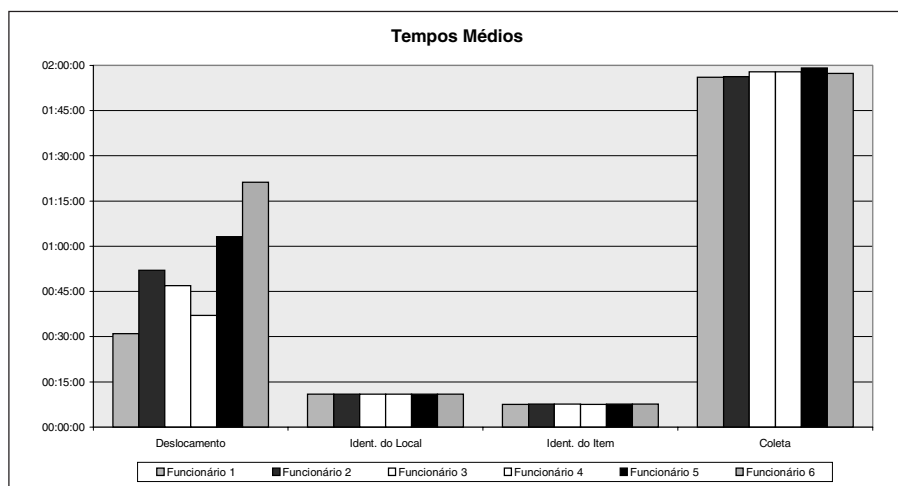


Figura 7 – Composição do tempo total 6 funcionários

Pela Figura 6, que mostra as componentes do tempo total, é possível concluir que a diferença nos tempos é proveniente da diferença das distâncias a serem percorridas entre o setor de empacotamento e as prateleiras.

A Figura 7 mostra o mesmo experimento realizado com 6 funcionários. Nota-se o mesmo comportamento, ou seja, o desequilíbrio entre os tempos de deslocamento.

5 Modelagem do desbalanceamento

O funcionário que é responsável por recolher as peças das prateleiras iniciais irá se deslocar menos do que o funcionário que irá recolher as peças do final. A principal razão é que as prateleiras das peças iniciais estão próximas da porta de acesso do setor de empacotamento, enquanto que os itens

finais estão distantes dessa porta. O resultado disso é que a parte inicial do pedido será recolhida em menos tempo do que a parte final.

Isto leva à necessidade de desbalancear as LC entre os funcionários. O primeiro funcionário receberia mais itens e o último menos. A Tabela 6 exemplifica este raciocínio com uma LC dividida entre 5 funcionários. No caso da divisão balanceada, cada funcionário deverá recolher 100 itens, gerando, portanto, deslocamentos desiguais entre os funcionários.

Para desbalancear esta lista, será adotada uma variação linear entre o primeiro e o último. Uma parcela dos itens que seriam coletados pelo último funcionário será adicionada ao primeiro. O mesmo procedimento é aplicado aos demais funcionários proporcionalmente.

Tabela 6 – Exemplo de desbalanceamento da LC

Funcionário	Itens balanceados	Itens desbalanceados em 50%	Varição
1	100	150	100 + 50% de 100
2	100	125	100 + 25% de 100
3	100	100	100 + 0% de 100
4	100	75	100 - 25% de 100
5	100	50	100 - 50% de 100

O desbalanceamento de 50% indica que o primeiro funcionário recebe 50% a mais de itens enquanto o último recebe 50% menos. Os funcionários intermediários trocam percentuais proporcionais. Para introduzir este procedimento no modelo computacional é necessário definir uma forma de variar o percentual adotado entre os funcionários. Adotou-se um Fator que varia linearmente de -1 a 1 e que é multiplicado pelo percentual de desbalanceamento desejado. Para 5 funcionários têm-se: Fator=1 para o primeiro funcionário, Fator=0,5 para o segundo, Fator=0 para o terceiro, Fator=-0,5 para o quarto e Fator=-1 para o quinto. O número de itens desbalanceados da Tabela 6 pode ser calculado a partir da equação (8).

5.1. Curvas do desbalanceamento

Como o modelo permitirá escolher entre 2 e 8 funcionários, serão necessárias 7 equações distintas para o cálculo dos Fatores. A Figura 8 apresenta um gráfico contendo as 7 equações lineares plotadas. Ao definir-se o número de funcionários está sendo escolhida uma das retas do gráfico. No caso da Tabela 6, com 5 funcionários, a reta a ser usada para obter os valores dos Fatores é a central.

5.2. Equações do desbalanceamento

Ao invés de implementar as 7 equações de desbalanceamento, pode-se buscar uma equação genérica para o cálculo dos fatores de acordo com o número de funcionários.

$$\text{Itens Desbalanceados} = \text{Itens Balanceados} * (1 + \text{Fator} * \text{Percentual de Desbalanceamento}) \quad (8)$$

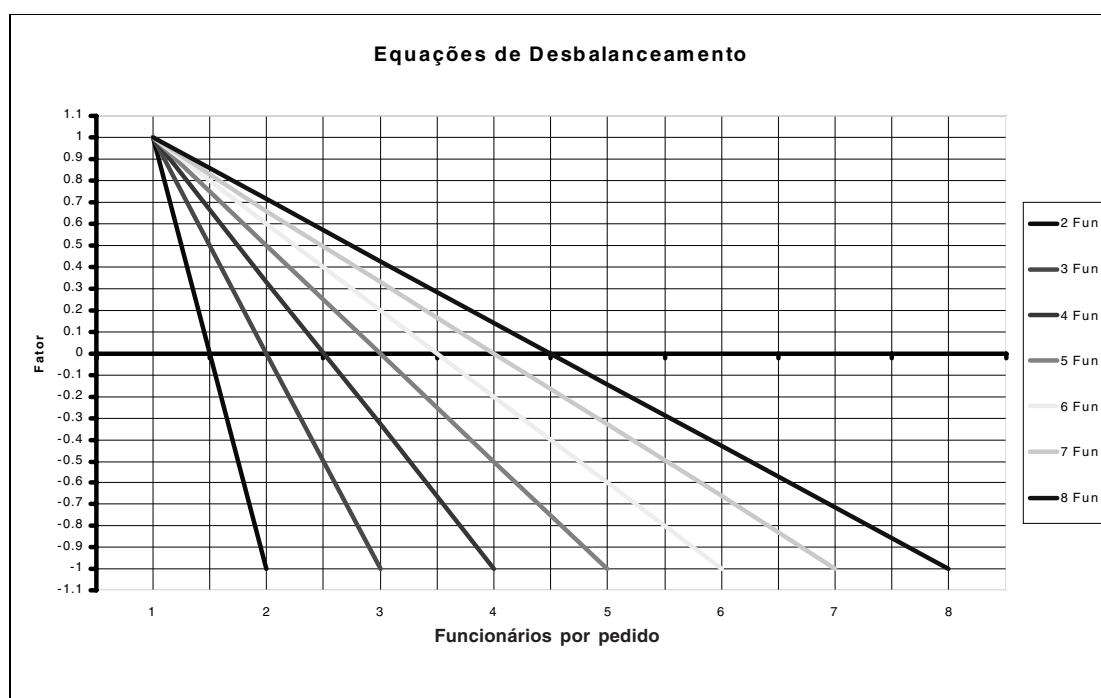


Figura 8 – Curvas de desbalanceamento

A Tabela 7 apresenta todas as 7 equações, na forma $Y=a.X+b$ para permitir uma comparação e buscar uma regra de formação em comum, onde Y é o fator de desbalanceamento e X representa o número do funcionário.

Observando as informações da Tabela 7, nota-se que todas equações mantêm a mesma relação entre os coeficientes a e b. Esta relação é definida por (9).

$$a = -b + 1 \quad (9)$$

É necessário então relacionar o coeficiente b com o número de funcionários. Esta relação é apresentada por (10).

$$b = 1 + \frac{2}{\text{Número_de_Funcionários} - 1} \quad (10)$$

Em (11) apresenta-se a equação completa que leva em consideração todas as variáveis. Para simplificar a notação, foram adotados os seguintes padrões:

NIP = Número de Itens da LC

NF = Número de Funcionários

F = Funcionário Atual

PD = Percentual de Desbalanceamento

$$\text{Itens} = \text{AINT} \left(\frac{\text{NIP}}{\text{NF}} + (a * F + b) * \frac{\text{NIP}}{\text{NF}} * \text{PD} \right) \quad (11)$$

Pode-se agora verificar a funcionalidade do cálculo, comparando com a Tabela 6 que dividiu 500 itens para 5 funcionários com 50% de desbalanceamento. Para este caso têm-se os seguintes valores:

NIP=500 NF=5 PD=0,5 a=-0,5 b=1,5

Número de Funcionários	Equação
2	$Y = -2 * X + 3$
3	$Y = -1 * X + 2$
4	$Y = -0,667 * X + 1,667$
5	$Y = -0,5 * X + 1,5$
6	$Y = -0,4 * X + 1,4$
7	$Y = -0,333 * X + 1,333$
8	$Y = -0,2857 * X + 1,2857$

Figura 10 – Quadro com equações de desbalanceamento

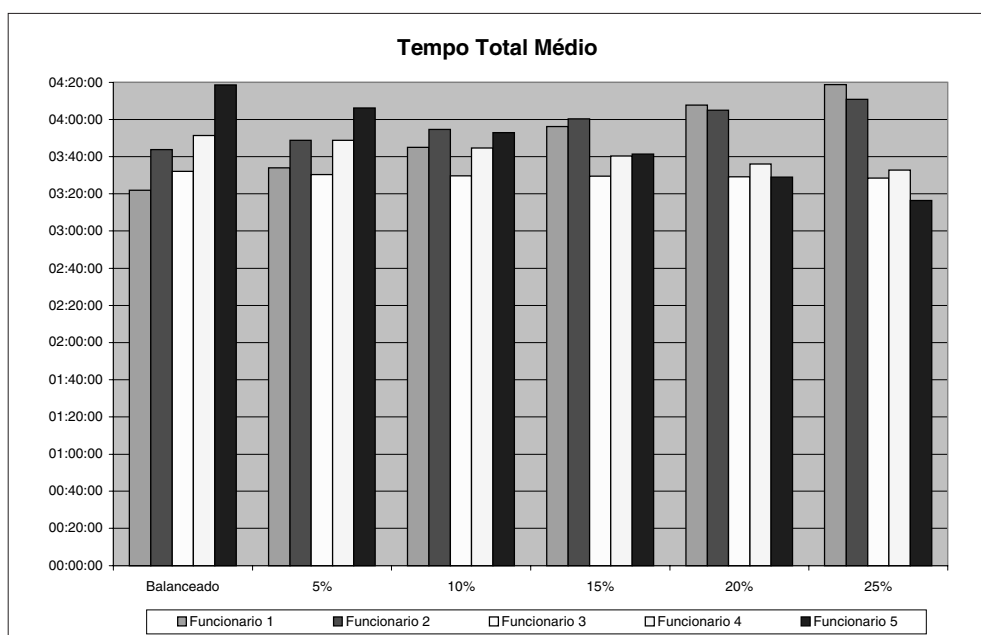


Figura 9 – Tempos totais médios para 5 funcionários com diversos desbalanceamentos

6 Busca pelo desbalanceamento ideal

Com o desbalanceamento do número de itens por funcionário implantado no modelo de simulação é possível executar diversas simulações com diferentes desbalanceamentos e número de funcionários. A Figura 9 mostra os resultados dos tempos do processo de retirada de itens obtidos com 5 funcionários em seis condições de balanceamento (30 replicações em cada condição).

Os resultados da Figura 9 indicam que o desbalanceamento de 10% é o que melhor permitiu equilibrar o tempo total de coleta de todos os funcionários. Conforme já explicado, a coleta de um pedido só é completada quando todos os funcionários encerram a coleta de suas partes da LC. Assim, na situação balanceada a coleta é encerrada às 4h 18m e 31s, que é o tempo gasto pelo funcionário 5. Com o desbalanceamento de 10%, a coleta encerra-se quando o funcionário 2 termina a sua parte da LC com 3h 54m e 31s. Comparando-se estas duas situações verifica-se uma redução de 9,28% no tempo de finalização do pedido.

É importante notar que, quando o número de funcionários é ímpar, o funcionário central não sofre nenhuma alteração (Figura 9), pois o Fator que multiplica o percentual de desbalanceamento fica nulo.

Nota-se que o efeito de um valor alto de desbalanceamento, por exemplo 25%, resulta em efeitos opostos comparados ao da LC balanceada, ou seja, o tempo despendido pelos funcionários que realizam as coletas das peças nos corredores finais do CDP praticamente são transferidos aos que realizam as coletas nos corredores iniciais.

Com a divisão da LC de forma balanceada verifica-se que há diferença em torno de 1 hora nos tempos que os funcionários levam para encerrar suas atividades. Um dos funcionários chega a ultrapassar o período de 4 horas do expediente da tarde.

Vale ressaltar que em todos os valores dos desbalanceamentos analisados, incluindo a LC balanceada, as desigualdades dos tempos totais médios entre os funcionários se referem aos corredores percorridos e não às diferenças do número de itens.

7 Conclusões

A divisão dos itens de um pedido em Listas de Coleta (LC) entre os funcionários se deve ao fato da necessidade de consolidá-lo dentro de um período de no máximo 4 horas. É importante que haja um desbalanceamento da LC para aproximar os

tempos consumidos por cada funcionário e, por consequência, reduzir o tempo total de consolidação do pedido.

O desbalanceamento da LC deve ser analisado com atenção, pois valores inadequados podem acarretar em aumento no tempo total médio de certos funcionários.

O desbalanceamento de 10%, que obteve bons resultados no CDP estudado, ainda não é considerado ideal, porque os tempos totais médios, poderiam estar mais próximos. Porém, dificilmente estes tempos irão coincidir, pois dependem de diversas variáveis, tais como: divisão do pedido realizada pelo computador, capacidade do transportador, disposição e formato dos corredores, velocidade de deslocamento e até mesmo da experiência dos funcionários.

A execução e análise de simulações em torno de 10% poderão definir um valor de desbalanceamento que aproxime ainda mais os tempos médios de coleta para o CDP em estudo. Além disso, podem ser propostas novas formas de desbalanceamento, diferentes da linear analisada neste trabalho.

Referências

- BANKS, J.; CARLSON, J. S. e NELSON, B. L. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice-Hall. 2ª Edição. New Jersey, 1984.
- CARON, F.; MARCHET, G. e PEREGO, A. Layout Design in Manual Picking Systems: A Simulation Approach. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 11, n. 2, p. 94-104, 2000.
- DANIELS, R. L.; RUMMEL, J. L. e SCHANTZ, R. A Model for Warehouse Order Picking. *European Journal of Operational Research*, v. 105, p. 1-17, 1998.
- FRAZELLE, E. H. *Stock Location Assignment and Order Picking Productivity*. Ph.D thesis, 1989.
- GIBSON, D. R.; SHARP, G. P. Order Batching Procedures. *European Journal of Operational Research*, v. 58, p. 57-67, 1992.
- GOETSCHALCKX, M. e RATLIFF, H. D. An Efficient Algorithm to Cluster Order Picking Items in a Wide Aisle. *Engineering Costs and Production Economics*, v. 13, p. 263-271, 1988a.
- GOETSCHALCKX, M. e RATLIFF, H. D. Order Picking in an Aisle. *IIE Transactions*, v. 20, p. 53-62, 1988b.
- HALL, R. W. Distance Approximations for Routeing Manual Pickers in a Warehouse. *IIE Transactions*, v. 25, p. 76-87, 1993.

- LAW, A.M.; KELTON, W.D. *Simulation Modeling and Analysis*. Editora Mc Graw Hill. 2ª Edição. New York, 1991.
- LIN, C. H. e LU, I. Y. The Procedure of Determining the Order Picking Strategies in Distribution Center. *International Journal of Production Economics*, v. 60-61, p. 301-307, 1999.
- LIU, C. M. Clustering Techniques for Stock Location and Order-Picking in a Distribution Center. *Computers & Operations Research*, v. 26, n.10-11, p. 989-1002, 1999.
- MALTON, I. Efficient Order Picking – The Need for it and Possible Solutions. *Proceedings of the 11th International Conference on Automation in Warehousing*, p. 97-109, 1991.
- MAYNARD, H. B. *Manual de Engenharia de Produção: Padrões de Tempos Elementares Pré-Determinados*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1970.
- MILLER, S. Introduction to Manufacturing Simulation in *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, 2000.
- MOURA, R. A. *Armazenagem e Distribuição Física*. São Paulo: Editora IMAM, 1997, vol.2.
- RANA, K. Order Picking in Narrow-Aisle Warehouses. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, v. 20, n. 2, 1990.
- RATLIFF, H. e ROSENTHAL, A. Order Picking in a Rectangular Warehouse. *Operations Research*, v. 31, p. 507-521, 1983.
- ROODBERGEN, K. J. e DE KOSTER, R. Routing Order Pickers in a Warehouse with a Midle Aisle. *European Journal of Operational Research*, v. 133, p. 32-43, 2001.
- ROSENWEIN, M. B. A Comparison of Heuristics for the Problem of Batching Orders for Warehouse Selection. *International Journal of Production Research*, v. 34, n. 3, p.657-664, 1996.
- VAUGHAN, T. S. e PETERSEN, C. G. The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency. *International Journal of Production Research*, v. 37, n. 4, p. 881-897, 1999.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; FRAZELLE, E. H.; TANCHOCO, J. M. A. e TREVINO, J. *Facilities Planning*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. ■

Submetido em março/2004

Aprovado em setembro/2004