



OTIMIZAÇÃO DO CARREGAMENTO DE PRODUTOS PALETIZADOS EM CAMINHÕES

Silvia Regina Morales

Departamento de Administração, UFU
38400-185 Uberlândia, MG

Reinaldo Morabito

Departamento de Engenharia de Produção, UFSCar
13565-905 São Carlos, SP (morabito@power.ufscar.br)

João Alexandre Widmer

Departamento de Transportes, EESC-USP
13560-970 São Carlos, SP

Resumo

*Neste artigo analisamos a aplicação de um modelo de otimização para os problemas de arranjar produtos (embalados em caixas) sobre paletes, e de arranjar paletes sobre carrocerias de caminhões. Diversos resultados são apresentados ao resolver milhares de exemplos gerados aleatoriamente, utilizando um microcomputador. A metodologia também é aplicada a três estudos de casos reais: nos centros de distribuição de duas grandes empresas alimentícias e de um grande atacadista. Procuramos ainda mostrar como a metodologia pode ser empregada no dimensionamento e escolha de embalagens, paletes e carrocerias de caminhões. Em particular, analisamos o desempenho do **palete padrão brasileiro (PBR)**, adotado pela **Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS)**, em relação a outros paletes padronizados. Ao examinarmos não apenas o carregamento dos produtos sobre os paletes, mas também o carregamento dos paletes sobre os caminhões, obtivemos índices de aproveitamento global destes dispositivos que são úteis para avaliar o desempenho econômico de sistemas de unitização de cargas na cadeia logística de uma empresa.*

Palavras-chave: logística, carga unitizada, carga paletizada, carregamento de paletes, problemas de corte e empacotamento, palete padrão brasileiro.

1. Introdução

Em todo mundo, a logística tem recebido especial interesse dos empresários e passado por transformações conceituais e tecnológicas. Na concepção atual, a logística não engloba apenas a distribuição física de produtos finais, mas todas as atividades relacionadas com transporte, manutenção de estoques, processamento de pedidos, armazenagem, movimentação e outras atividades de apoio, que facilitam o fluxo de bens e serviços, desde a aquisição de matérias-primas até o consumo de produtos finais. O objetivo da logística é providenciar, com o menor custo possível, os bens e serviços certos, no lugar certo, na hora certa, e na condição desejada pelos clientes, e isso só é possível por meio de uma gestão coordenada das atividades logísticas.

Diversos especialistas acreditam que estas atividades são atualmente a principal fonte de oportunidades para ganhos de eficiência e vantagem competitiva. Atividades como movimentação e armazenagem de materiais chegam a representar 50% dos custos de produção, e a consumir até 80% do tempo total gasto para produzir um bem (MOURA, 1983). Os custos relacionados com as atividades logísticas estão refletidos no Produto Nacional Bruto (PNB). Conforme BALLOU (1985), um estudo nos EUA mostrou que os custos logísticos representam 21% do PNB e desse total, 46% correspondem a transporte, 28% a armazenagem, 18% a manutenção de estoque e 6% a administração (estatísticas mais recentes aparecem em BALLOU, 1997).

Um fator que afeta diretamente os custos logísticos, principalmente a eficiência dos sistemas de transporte e armazenagem, é a chamada *operação formiga* (TORRES, 1990), ou seja, as operações nas quais a carga é manuseada volume por volume ao

longo da cadeia logística (figura 1). Para melhorar o desempenho destas operações, a aplicação do conceito de *carga unitizada* (*unit load*) vem se intensificando e tornando-se, cada vez mais, um importante instrumento no sistema logístico. Basicamente, a unitização de carga consiste em agregar itens individuais de um carregamento em uma unidade maior, também chamada *unidade de carga*, com a finalidade de reduzir os custos logísticos, facilitar e tornar mais eficiente a armazenagem, a movimentação e o transporte, e promover a integração dos diversos *modos* de transportes: rodoviário, marítimo, ferroviário e aéreo.

A crescente preocupação com a racionalização destas atividades tem despertado o interesse de pesquisadores, profissionais e empresários para o chamado *problema do carregamento de paletes* (*pallet loading problem*), que consiste basicamente em como arranjar produtos (embalados em caixas) sobre a superfície dos paletes, da maneira mais eficiente possível. No presente trabalho analisamos, por meio de exemplos aleatórios e de três estudos de casos, a aplicação de um modelo de otimização proposto em MORALES & MORABITO (1997) para resolver tal problema. Os estudos de caso foram realizados em centros de distribuição de três empresas diferentes: duas grandes empresas do setor alimentício (Nestlé e Sanbra) e um grande atacadista (Martins Comp. Imp. e Exp. Ltda).

Procuramos mostrar que a metodologia pode ser útil para auxiliar na tomada de decisões das situações reais de: (i) carregamento de produtos embalados sobre paletes, (ii) carregamento de paletes sobre carrocerias de caminhões, e (iii) dimensionamento de embalagens, paletes e carrocerias. Ao analisarmos não apenas o

carregamento de produtos sobre paletes, mas também o carregamento de paletes sobre caminhões, obtivemos medidas de desempenho globais da utilização destes dispositivos nos sistemas de transporte e armazenagem.

Na próxima seção discutimos brevemente a tendência à paletização de carga no Brasil, suas vantagens e desvantagens, e a padronização do palete. Na seção 3 descrevemos a metodologia empregada e as etapas envolvidas para realizar os estudos de

caso. Na seção 4 apresentamos os resultados obtidos: na seção 4.1 analisamos os resultados obtidos com carregamento de caixas sobre paletes em exemplos gerados aleatoriamente, na seção 4.2 os resultados obtidos com carregamento de caixas sobre paletes nos exemplos das três empresas, e na seção 4.3 os resultados obtidos com carregamento de paletes sobre caminhões nas três empresas. As conclusões deste trabalho aparecem na seção 5.

2. Paletização da Carga

Devido à grande variedade de *dispositivos de unitização de carga* (DUC's), incluindo-se paletes, contêineres, lingas, e outros, existem diversos métodos de unitização de carga, tornando difícil distinguir se o método utilizado conduz efetivamente a um bom desempenho nas operações de movimentação, armazenagem e transporte. Cada método corresponde a um tipo específico de unidade de carga, e a utilização de um ou outro depende dos tipos

de produtos a serem carregados e dos sistemas de movimentação, armazenagem e transporte adotados pela empresa. Os métodos apresentam características particulares, não só no que diz respeito às vantagens e desvantagens, mas principalmente quanto aos equipamentos de movimentação empregados e às especificações de transporte. Dentre os métodos mais conhecidos e utilizados destaca-se *carga paletizada*, ilustrada na figura 2.

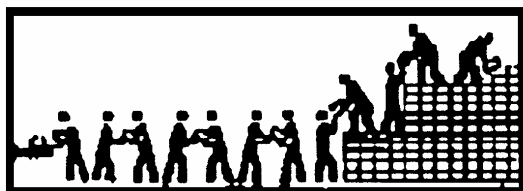


Figura 1 - Carga fracionada

O *palete* (do inglês *pallet*) é uma plataforma de madeira, metal, fibra ou outro

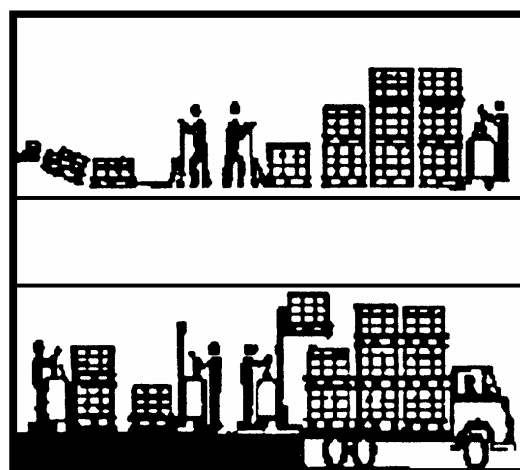


Figura 2- Carga paletizada

material, disposta horizontalmente, na qual a carga pode ser empilhada e estabilizada.

Geralmente é projetado para ser movimentado mecanicamente por meio de guindastes, empilhadeiras ou veículos de garfo (MAHONEY, 1985).

2.1 Vantagens e Desvantagens da Paletização

As vantagens em trabalhar com carga paletizada são inúmeras e estão relacionadas com todas as fases e aspectos do sistema global de distribuição. As mais importantes são:

- Redução nos custos de transporte, movimentação e armazenagem;
- Diminuição nos tempos de carregamento e descarregamento.

Outras vantagens são: facilidade para manusear e movimentar a carga fracionada, facilidade no carregamento de veículos e na transferência intermodal, redução do número de itens a ser controlado e movimentado, redução do número de itens roubados ou perdidos e dos danos no produto.

Apesar da crescente tendência em utilizar carga paletizada e as vantagens de sua aplicação, uma empresa ao adotar em seu sistema a paletização deve estar consciente de que muitas mudanças são necessárias e que existem, por outro lado, algumas desvantagens, tais como: custo da paletização, equipamentos necessários (palete e equipamentos de movimentação), espaços vazios não utilizados dentro da carga unitizada, falta de padronização dos veículos de transporte.

No Brasil, a experiência de empresas que adotaram sistemas de paletização mostra que as vantagens relacionadas à sua aplicação superam as desvantagens, sendo a utilização

do palete nas operações de transporte, armazenagem e movimentação de carga cada vez mais intensa e, ao que tudo indica, de caráter irreversível. Várias empresas tais como Nestlé, Gessy Lever, COFESA e Martins aderiram à paletização, e garantem que houve um ganho significativo em agilidade e racionalização do trabalho.

Por exemplo, segundo o gerente de um dos centros de distribuição da Nestlé, o tempo médio de descarregamento de uma carreta era de 2 horas; com a paletização, esse tempo caiu para 15 minutos. Segundo um dos gerentes da Braspelco, distribuidora exclusiva dos produtos McDonald's, com a paletização a empresa passou a realizar, em média, três entregas e três coletas por dia com cada caminhão; sem a paletização, esse número era igual à metade. Outra vantagem observada foi a maior proteção das embalagens, garantindo a qualidade do produto (TECNOLOGÍSTICA, 1996).

Apesar dos aspectos positivos da paletização, parece ainda não existir no Brasil uma cultura de distribuição paletizada, a exemplo do que ocorre em países desenvolvidos, principalmente nos EUA e Europa. Outro obstáculo à paletização é que há uma excessiva particularização quanto às suas dimensões e formas, gerando uma enorme quantidade de modelos, nem sempre compatíveis entre si.

2.2 Padronização do Palete

Um estudo visando a implementação de um palete padronizado nas operações entre empresas fornecedoras e supermercadistas foi realizado pelo Grupo Palete de Distribuição, criado pela *Associação Brasileira dos Supermercados* (Abras), em abril de 1988. Por meio de um levantamento feito pelo grupo (SUPERHIPER, 1990), detectou-se que havia mais de mil modelos

de paletes diferentes no Brasil. Esse estudo propôs para o setor supermercadista um modelo padrão para carga geral, o chamado *palete padrão brasileiro* (PBR), cujas especificações são: face dupla não reversível, 4 entradas, com blocos, de madeira e com dimensões 1.200 x 1.000 milímetros (mm).

A padronização do PBR apresenta vantagens para este setor, tanto no plano operacional quanto estratégico. Por exemplo, no plano operacional, uma das principais vantagens é a intercambialidade, que elimina a necessidade de remontar a carga ao recebê-la. Como consequência, têm-se uma maior velocidade de carga/descarga e a eliminação de quebras que ocorrem em grande número na movimentação. No plano estratégico, a adoção do PBR vem definir uma medida padrão que pode auxiliar desde o dimensionamento de embalagens de produtos, o *layout* e o planejamento de centros de distribuição, até o projeto de

equipamentos de movimentação e transporte.

Com a tendência à padronização, cresce a importância do problema do carregamento de paletes, permitindo novas perspectivas de estudo. Neste artigo, procuramos mostrar como os resultados relativamente recentes de técnicas de modelagem do problema tratadas na literatura de pesquisa operacional, podem ser utilizados para gerar soluções otimizadas para o problema de seleção de paletes de uma empresa e eventualmente também no dimensionamento das embalagens de produtos, assim como no problema de otimização do carregamento de produtos paletizados em caminhões.

3. Metodologia

3.1 Definição do Problema e do Método de Solução

O projeto de carga paletizada deve incluir, entre outros (MORALES, 1995):

- Dimensionamento do palete, isto é, determinar as melhores dimensões para o palete (ou simplesmente escolher o melhor dentre os paletes padronizados);
- Carregamento do palete, isto é, determinar a melhor maneira de arranjar a carga sobre o palete.

HODGSON (1982), ao estudar este último problema, distinguiu dois possíveis casos: o *problema do produtor* e o *problema do distribuidor*. No primeiro caso, produtos iguais embalados em caixas do mesmo tamanho devem ser arranjados em camadas horizontais sobre a superfície do palete. No segundo caso, os produtos são diferentes e portanto, as caixas podem ter tamanhos diferentes. Os estudos de caso a serem analisados neste trabalho pertencem ao primeiro caso. Para uma análise do problema do distribuidor, veja p.e. HODGSON (1982) e ARENALES & MORABITO (1995).

O problema do produtor pode ser definido por: como combinar retângulos (i.e. caixas) de dimensões conhecidas (l,w) ou (w,l), dentro de um retângulo maior (i.e. palete) de dimensões conhecidas (L,W), sem sobreposição, de maneira a maximizar o número total de retângulos arranjados dentro de (L,W). Aparentemente simples de ser resolvido otimamente, este problema é em geral difícil do ponto de vista da teoria de complexidade (embora ainda não tenha sido provado, diversos autores acreditam que este problema seja *NP-completo*, conforme NELISSEN, 1995).

Um modelo de programação inteira foi apresentado em MORALES & MORABITO (1997) para o problema do produtor. Para resolvê-lo, diversos algoritmos foram discutidos, entre eles, um algoritmo heurístico denominado *procedimento recursivo 1* (PR1). Tal algoritmo foi utilizado no presente trabalho. Admitimos que as caixas devem ser carregadas conforme uma orientação vertical pré-fixada, e que restrições como estabilidade e limite de empilhamento

das camadas são levadas em conta somente depois que o arranjo bidimensional foi definido pelo algoritmo. Para maiores detalhes deste procedimento, veja MORALES & MORABITO (1997).

O procedimento PR1 foi implementado na linguagem Pascal (compilador Turbo-Pascal) em um microcomputador 486DX (33 Mhz, 640 Kbytes, DOS versão 6.3).

3.2 Etapas do Estudo e Coleta dos Dados

O estudo foi realizado em três etapas. Na primeira, procuramos mostrar como esta metodologia pode ser útil no dimensionamento e escolha de paletes. Para isso, geramos milhares de exemplos aleatórios contendo as dimensões das caixas e analisamos a qualidade dos *padrões de carregamento* (i.e. arranjos bidimensionais) obtidos para diferentes paletes padronizados (veja seção 4.1).

Na segunda etapa, com o objetivo de verificar o desempenho do algoritmo em situações reais de carregamento, realizamos estudos de caso em três empresas (seção 4.2). O primeiro foi realizado com dados de 1992 do centro de distribuição da Nestlé, em São Carlos, SP (seção 4.2.1). Coletamos uma amostra contendo as dimensões das embalagens de 148 produtos diferentes, com os respectivos padrões de carregamento utilizados pela empresa naquele ano. O segundo estudo de caso foi realizado com dados de 1994 do centro de armazenagem da Sanbra, situado em São Paulo (seção 4.2.2).

Coletamos uma amostra com 20 produtos diferentes e os respectivos padrões de carregamento utilizados pela empresa. Finalmente, o terceiro estudo de caso foi realizado com dados de 1995 do centro de distribuição do atacadista Martins Com. Imp. e Exp. Ltda, situado em Uberlândia, MG (seção 4.2.3). Coletamos uma amostra contendo 78 caixas com os respectivos padrões de carregamento.

Na terceira etapa, mostramos como a metodologia pode ainda ser aplicada para auxiliar no problema do carregamento de paletes sobre a carroceria de caminhões (seção 4.3), o que nos permite analisar os desempenhos globais em termos do aproveitamento da capacidade de paletes e carrocerias. Assim como esta metodologia pode ser aplicada para auxiliar no dimensionamento de carrocerias em função das dimensões de paletes padronizados, também podemos aplicá-la para auxiliar no dimensionamento das embalagens dos produtos a serem carregados nesses paletes.

4. Estudos de Casos

4.1 Carregamento de Caixas Sobre Paletes em Exemplos Aleatórios

Inicialmente geramos 30 amostras de 1.000 exemplos cada uma, considerando as dimensões (l,w) das caixas uniformemente distribuídas nos intervalos sugeridos por WRIGHT (1984):

$$200 \leq l \leq 600 \quad \text{e} \quad 150 \leq w \leq 450$$

Segundo Wright, esses intervalos representam satisfatoriamente casos reais

nos EUA. Observamos que as amostras coletadas nas três empresas também pertencem a esses intervalos (veja seção 4.2).

Para testarmos a hipótese de uniformidade da distribuição dos números aleatórios do gerador, realizamos o teste de qui-quadrado em uma das amostras, ao nível de significância de 5%.

Numa primeira fase dos experimentos, para cada uma das 30 amostras, aplicamos o procedimento PR1 utilizando quatro paletes padronizados P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , e construímos intervalos de confiança de 95% para a utilização média da área do paleta, utilizando a distribuição t-Student (conforme NEAVE, 1988). O paleta P_1 é o PBR e também o padrão recomendado pela ISO série 2 (International Standards Organization) a partir de 1980. O paleta P_2 é o padrão ISO para compatibilização com as dimensões internas dos contêineres ISO série 1. O paleta P_3 é o Europaleta adotado pela UIC (Union International des Chemins de Fer) desde 1961, no transporte intermodal rodoferroviário. E o paleta P_4 é uma proposta da empresa Dom Vital (AZEVEDO, 1990), uma das grandes

transportadoras de carga fracionada de São Paulo.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada um dos 4 paletes. As colunas “Paleta”, “L”, “W”, “L/W” e “Área” indicam respectivamente o paleta, suas dimensões (comprimento e largura em milímetros), a relação comprimento/largura, e a área do paleta (em metros quadrados). A coluna “Util. Média Área” refere-se à utilização média percentual da área do paleta obtida pelo procedimento PR1 com as 30 amostras de 1000 exemplos cada, e o número entre parênteses indica o respectivo desvio padrão. A coluna “Intervalo de confiança” apresenta o intervalo obtido com 95% de confiança. A média e o desvio padrão dos comprimentos e larguras das caixas gerados nas amostras aparecem logo abaixo da tabela.

Tabela 1 - Desempenho teórico dos paletes P_1 a P_4 para 30.000 carregamentos aleatórios

| Paleta | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Média Área (%) | (dp) | Intervalo de confiança a 95 % para util. média da área |
|--------|--------|--------|-----|------------------------|----------------------|---------|--|
| P_1 | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 84,29 | (0,195) | (84,22 - 84,37) |
| P_2 | 1100 | 1100 | 1,0 | 1,21 | 80,94 | (0,282) | (80,84 - 81,05) |
| P_3 | 1200 | 800 | 1,5 | 0,96 | 78,92 | (0,366) | (78,79 - 79,06) |
| P_4 | 1200 | 1200 | 1,0 | 1,44 | 83,52 | (0,330) | (83,40 - 83,65) |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 400$ (117,7) e $\bar{w} = 300$ (86,3)

Devido à grande quantidade de exemplos analisados (30.000) e com base nos dados apresentados na tabela 1, podemos afirmar que, com pelo menos 95% de confiança, o paleta P_1 apresenta o melhor nível de utilização média, isto é, 84,29% (note que os intervalos de confiança dos paletes não se sobrepõem entre si). Naturalmente, isso não quer dizer que P_1 é o melhor em todos os exemplos (veja um contra-exemplo na seção 3), mas que ele é o que tem o melhor desempenho *em média*. Note também que o menor desvio padrão foi obtido para P_1 , o

que significa que a variação das dimensões das caixas tem um efeito menor para P_1 , em relação aos outros paletes.

Numa segunda fase dos experimentos, geramos uma amostra contendo 1.000 exemplos, nas mesmas condições anteriores, e analisamos, além dos paletes P_1 , P_2 , P_3 e P_4 , os paletes P_5 , P_6 , P_7 e P_8 . Note que estes últimos têm área igual à do paleta P_2 (i.e., 1,21 m²), porém têm relação L/W variando entre 1,25 e 2, podendo ser vistos como “retangularizações” do paleta quadrado P_2 .

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos com o procedimento PR1, incluindo a utilização média percentual da área do palete (Util. Média Área), o número médio de caixas acomodadas por camada (cx/camada), e a percentagem mínima de

soluções ótimas (sol. ótimas) obtida nesta amostra de 1.000 exemplos. Esses resultados são compatíveis com os encontrados anteriormente em MORABITO & WIDMER (1991).

Tabela 2 - Desempenho teórico dos paletes P₁ a P₈ para 1.000 carregamentos aleatórios

| Paleta | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Média Área (dp) (%) | cx./camada (dp) | sol. ótimas (%) |
|----------------|--------|--------|------|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| P ₁ | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 84,39 (8,69) | 10,2 (5,30) | 24,8 |
| P ₂ | 1100 | 1100 | 1,0 | 1,21 | 81,03 (11,47) | 10,0 (5,53) | 18,0 |
| P ₃ | 1200 | 800 | 1,5 | 0,96 | 78,44 (13,19) | 7,7 (4,25) | 19,1 |
| P ₄ | 1200 | 1200 | 1,0 | 1,44 | 83,32 (10,61) | 12,2 (6,48) | 18,3 |
| P ₅ | 1230 | 984 | 1,25 | 1,21 | 84,10 (8,63) | 10,3 (5,4) | 22,1 |
| P ₆ | 1347 | 898 | 1,5 | 1,21 | 82,96 (8,93) | 10,1 (5,5) | 16,0 |
| P ₇ | 1455 | 831 | 1,75 | 1,21 | 82,55 (10,87) | 10,1 (5,5) | 16,8 |
| P ₈ | 1556 | 778 | 2,0 | 1,21 | 80,92 (13,01) | 10,0 (5,5) | 17,4 |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 400$ (117,7) e $\bar{w} = 300$ (86,3)

Comparando os resultados dos paletes P₁ e P₂ na tabela 2, verificamos que o número médio de caixas por camada é praticamente igual (10,2 e 10,0 respectivamente), porém, o primeiro apresenta uma maior utilização média da área (84,39% contra 81,03%) e, aparentemente, uma percentagem de soluções ótimas também superior (note que as percentagens mínimas de P₁ e P₂ são 24,8% e 18,0% respectivamente).

O paleta P₃ apresenta a menor média de caixas por camada (7,7), pois possui a menor área de carregamento (0,96 m²). Apesar de apresentar também a menor utilização média da área (78,44%), obteve-se uma percentagem mínima de soluções ótimas (19,1%) superior às obtidas com P₂ e P₄ (18,0% e 18,3%). O paleta P₄, por possuir

a maior área de carregamento (1,44 m²), apresenta a maior média de caixas por camada (12,2). Contudo, apresenta uma utilização média da área (83,32%) e uma percentagem mínima de soluções ótimas (18,3%) inferiores às obtidas com P₁.

Comparando os paletes P₅, P₆, P₇ e P₈, verificamos que P₅ (L/W=1,25) obteve o melhor desempenho (84,10%), inclusive melhor que o paleta quadrado P₂ (L/W=1,0), porém ainda pior que P₁ (L/W=1,2). Desconfiando que a relação ótima para esta amostra esteja em torno de L/W=1,2, definimos outros quatro paletes P₉, P₁₀, P₁₁ e P₁₂, novamente com área igual a de P₂ (1,21 m²), porém, com a relação L/W variando agora entre 1.1 e 1.3. Os resultados obtidos ao aplicar o procedimento PR1 aparecem na tabela 3.

Tabela 3 - Desempenho teórico dos paletes P₉ a P₁₂ para 1.000 carregamentos aleatórios

| Paleta | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Média Área (dp) (%) | cx./camada (dp) | sol. ótimas (%) |
|--------|--------|--------|-----|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
|--------|--------|--------|-----|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|

| | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|-------|--------|------|-------|------|
| P ₉ | 1154 | 1049 | 1,10 | 1,21 | 83,16 | (9,68) | 10,3 | (5,6) | 19,4 |
| P ₁₀ | 1180 | 1026 | 1,15 | 1,21 | 83,84 | (9,04) | 10,3 | (5,4) | 21,2 |
| P ₁₁ | 1205 | 1004 | 1,20 | 1,21 | 84,27 | (8,74) | 10,3 | (5,3) | 23,4 |
| P ₁₂ | 1255 | 965 | 1,30 | 1,21 | 83,57 | (9,06) | 10,3 | (5,5) | 21,4 |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 400$ (117,7), $\bar{w} = 300$ (86,3)

Note na tabela 3 que o palete P₁₁, com relação L/W=1,2, foi o melhor entre eles (84,27%), apresentando resultados muito próximos de P₁ (84,39%), e melhores que o palete quadrado P₂ (81,03%) (apesar de ambos os paletes P₁ e P₁₁ terem relação L/W=1,2, o primeiro é ligeiramente menor

que o segundo). A figura 3 ilustra graficamente o desempenho de paletes com área igual a 1,21 m² e várias relações L/W, sugerindo que a maior utilização média para esta amostra é obtida em torno da relação L/W=1,2, o que coincide com a relação do palete PBR.

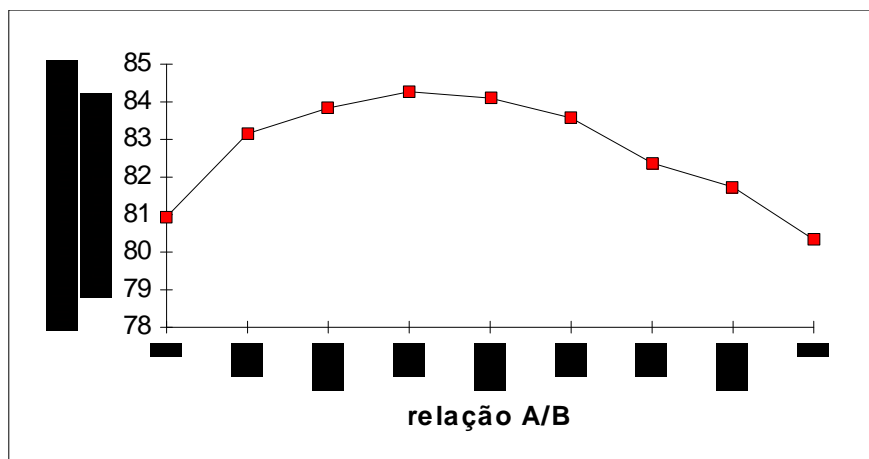


Figura 3 - Desempenho percentual dos paletes com área igual a 1,21 m²

Note que esta metodologia pode ser aplicada para auxiliar no dimensionamento de um palete em função do mix de produtos a

ser carregado, ou simplesmente escolher o melhor dentre um conjunto de paletes padronizados para carregar tal mix de produtos.

4.2 Estudos de Casos Reais em Centros de Distribuição

4.2.1 Centro de Distribuição da Nestlé

Numa primeira análise, tomamos a amostra coletada contendo as 148 caixas do centro de distribuição da Nestlé, e aplicamos o procedimento PR1 para os paletes P₁, P₂,

P₃ e P₄. Na época em que esta amostra foi coletada, a Nestlé já utilizava o palete P₁. Os resultados obtidos estão na tabela 4; observe que eles privilegiam o palete P₁ (86,0%).

Tabela 4 - Resultados computacionais da amostra com 148 caixas da Nestlé

| Palete | L | W | L/W | Área | Util. Média Área (dp) | cx./camada (dp) | sol. ótimas |
|--------|---|---|-----|------|-----------------------|-----------------|-------------|
|--------|---|---|-----|------|-----------------------|-----------------|-------------|

| | (mm) | (mm) | | (m ²) | (%) | | | (%) | |
|----------------|------|------|-----|-------------------|------|--------|------|-------|------|
| P ₁ | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 86,0 | (7,3) | 9,9 | (5,7) | 29,7 |
| P ₂ | 1100 | 1100 | 1,0 | 1,21 | 84,7 | (9,6) | 9,8 | (5,9) | 27,7 |
| P ₃ | 1200 | 800 | 1,5 | 0,96 | 80,1 | (10,1) | 7,4 | (4,7) | 17,6 |
| P ₄ | 1200 | 1200 | 1,0 | 1,44 | 84,4 | (8,1) | 11,7 | (6,9) | 13,5 |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 436$ (85) e $\bar{w} = 279$ (61)

Ao analisarmos os padrões de carregamento utilizados pela empresa, verificamos que em 77 padrões do total de 148, as caixas estavam em média 50 mm fora do palete. Assim, levando em consideração essa tolerância, procedemos novamente com dois novos experimentos: o primeiro contendo 71 padrões sem tolerância e o segundo contendo os 77 padrões com tolerância.

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos com o primeiro conjunto de 71 caixas (sem

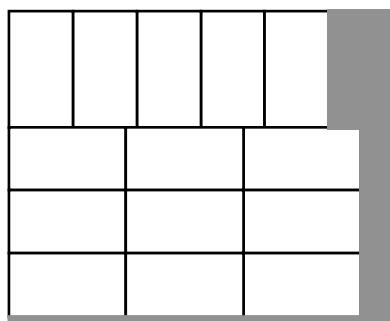
tolerância). Note que, por meio do procedimento PR1, obtivemos uma utilização média da área superior à da empresa (88,1% contra 87,5%). Ao compararmos o padrões gerados pelo procedimento com os adotados pela empresa, verificamos que o procedimento gera 7 padrões (dentre os 71) melhores que os utilizados pela empresa. A Figura 4 ilustra um desses padrões.

Tabela 5 - Resultados computacionais da amostra com 71 caixas (sem tolerância)

| L (mm) | W (mm) | L/W | Área | Util. Média Área (%) | (dp) | cx./camada (dp) | sol. ótimas (%) |
|---------|--------|-----|------|----------------------|-------|-----------------|-----------------|
| 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 88,1 | (7,3) | 10,6 (6,7) | 45,1 |
| Empresa | | | | 87,5 | (7,1) | 10,5 (6,5) | |

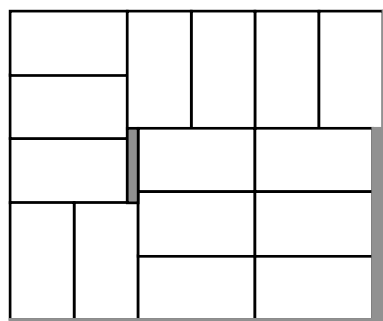
(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 435$ (85) e $\bar{w} = 272$ (65)



(a)

(a) padrão utilizado pela empresa (14 caixas por camada)



(b)

(b) padrão obtido pelo procedimento (15 caixas por camada)

Figura 4 - Palete (1200, 1000) e caixas (348, 208)

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos ao aplicarmos o procedimento PR1 para o outro conjunto com 77 caixas (com tolerância). Note que a utilização média do palete P_1 sem considerar a tolerância (84,0%) é inferior à utilização média da empresa (85,9%). Entretanto, ao considerarmos a tolerância (note na tabela 6 o palete P_{13} com dimensões $L=1250$ e $W=1050$ mm), a utilização média obtida

(87,3%) supera a da empresa. Ao analisarmos cada um dos 77 padrões gerados pelo procedimento PR1 para o palete P_{13} , verificamos que 22 deles são melhores que os padrões da empresa. Similarmente, ao analisarmos cada um dos 77 padrões gerados pelo procedimento para o palete P_1 , verificamos que 5 deles ainda são melhores que os da empresa.

Tabela 6 - Resultados computacionais da amostra com 77 caixas (com tolerância)

| Palete | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Média Área (%) | (dp) | cx./camada | (dp) | sol. ótimas (%) |
|----------|--------|--------|------|------------------------|----------------------|-------|------------|-------|-----------------|
| P_1 | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 84,0 | (6,8) | 9,2 | (4,5) | 15,6 |
| P_{13} | 1250 | 1050 | 1,19 | 1,31 | 87,3 | (6,0) | 10,5 | (5,3) | 27,3 |
| Empresa | | | | | 85,9 | (4,6) | 10,6 | (4,9) | |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 437$ (84) e $\bar{w} = 285$ (57)

4.2.2 Centro de Armazenagem da Sanbra

Também aplicamos o procedimento PR1 para a amostra de 20 caixas coletada na Sanbra. Na época em que esta amostra foi

coletada, a Sanbra já utilizava o palete P_1 . Os resultados para cada um dos quatro tipos de paletes P_1 , P_2 , P_3 e P_4 , aparecem na tabela 7.

Tabela 7 - Resultados computacionais da amostra com 20 caixas da Sanbra

| Palete | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Média Área (%) | (dp) | cx./camada | (dp) | sol. ótimas (%) |
|--------|--------|--------|-----|------------------------|----------------------|---------|------------|--------|-----------------|
| P_1 | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 84,38 | (8,16) | 11,00 | (3,64) | 10 |
| P_2 | 1100 | 1100 | 1,0 | 1,21 | 87,15 | (10,71) | 11,60 | (4,22) | 35 |
| P_3 | 1200 | 800 | 1,5 | 0,96 | 82,60 | (8,58) | 8,65 | (2,93) | 15 |
| P_4 | 1200 | 1200 | 1,0 | 1,44 | 84,04 | (8,08) | 13,25 | (4,77) | 20 |

(dp) desvio padrão

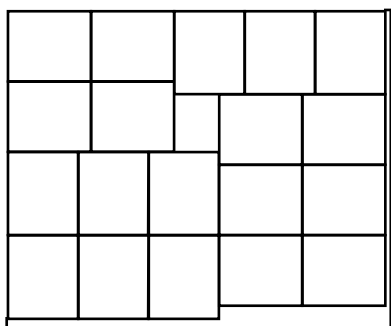
comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 375$ (71,1), $\bar{w} = 264,4$ (46,2)

Note que, nesta empresa, ao contrário da anterior, os dados privilegiam o palete P_2

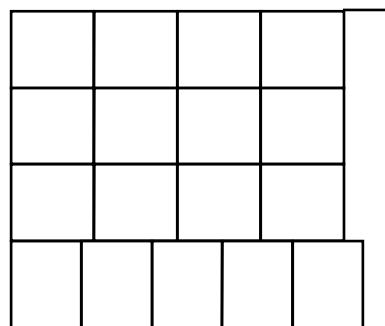
(87,15%), ao invés do palete P_1 (84,38%) adotado pela empresa. Assim, comparando

os padrões obtidos com o procedimento PR1 para o palete P₁, com os utilizados pela empresa, verificamos que o procedimento

gerou 7 padrões melhores que os da empresa (os demais foram iguais). A Figura 5 ilustra um desses padrões.



(a) padrão obtido pelo procedimento
(19 caixas por camada)



(b) padrão utilizado pela empresa
(17 caixas por camada)

Figura 5 - Palete (1200, 1000) e caixas (267, 220)

4.2.3 Centro de Distribuição do Atacadista Martins

Inicialmente, tomamos a amostra contendo as 78 caixas do atacadista Martins e aplicamos o procedimento PR1 para os

paletes P₁, P₂, P₃, P₄, analisados na seção anterior. Os resultados obtidos estão na tabela 8.

Tabela 8 - Resultados computacionais da amostra com 78 caixas do Martins

| Palete | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Área (%) | (dp) | cx./camada | (dp) | sol. ótimas (%) |
|----------------|--------|--------|-----|------------------------|----------------|--------|------------|--------|-----------------|
| P ₁ | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 89,49 | (6,16) | 15,1 | (8,23) | 24,36 |
| P ₂ | 1100 | 1100 | 1,0 | 1,21 | 86,62 | (8,65) | 14,9 | (8,25) | 23,08 |
| P ₃ | 1200 | 800 | 1,5 | 0,96 | 85,98 | (8,49) | 11,7 | (6,51) | 20,51 |
| P ₄ | 1200 | 1200 | 1,0 | 1,44 | 88,25 | (7,28) | 17,9 | (9,80) | 17,95 |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 330 (107,4)$, $\bar{w} = 270 (85,7)$

Como podemos observar, esses resultados são semelhantes aos obtidos na tabela 2 e privilegiam o palete P₁ (89,49%). Esse já era o palete adotado pela empresa. Ao analisarmos os 78 padrões utilizados pela empresa, verificamos que em 22 deles, as caixas estavam em média 50 milímetros fora do palete. Assim, levando em consideração essa tolerância, fizemos dois

novos experimentos: um contendo 56 caixas sem tolerância e outro contendo 18 caixas com tolerância (excluímos 4 padrões do segundo experimento pois apresentavam tolerâncias muito superiores a 50 milímetros).

A tabela 9 mostra os resultados obtidos com o primeiro conjunto (sem tolerância). Ao comparamos os padrões gerados pelo

procedimento PR1 (91,0%) com os padrões adotados pela empresa (87,41%), observamos que 22 padrões, dentre os 56,

são melhores que os da empresa. Note que a diferença na utilização média é significativa, ou seja, mais de 3,5%.

Tabela 9 - Resultados computacionais da amostra com 56 caixas (sem tolerância)

| Paleta | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Área (%) | (dp) | cx./camada (dp) | sol. ótimas (%) |
|----------------|--------|--------|-----|------------------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|
| P ₁ | 1200 | 1000 | 1,2 | 1,20 | 91,00 | (4,83) | 15,89 (8,51) | 32,14 |
| Empresa | | | | | 87,41 | (6,24) | 15,11 (7,90) | |

(dp) desvio padrão

comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 361$ (101), $\bar{w} = 233$ (62,05)

Os resultados obtidos para a segunda amostra de 18 caixas (com tolerância) aparecem na tabela 10. Novamente, P₁₃ é o paleta que inclui as tolerâncias médias (i.e. L=1250 e W=1050 mm). Este paleta

apresentou uma maior utilização média da área (90,48%) em relação aos padrões da empresa (87,93%). Dentre os 18 padrões gerados pelo procedimento PR1, 5 são melhores que os da empresa.

Tabela 10 - Resultados computacionais da amostra com 18 caixas (com tolerância)

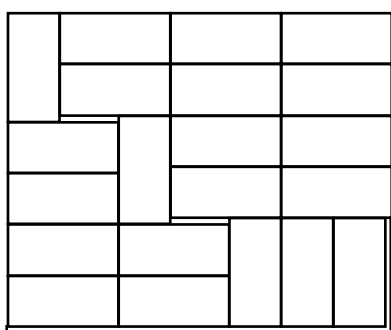
| Paleta | L (mm) | W (mm) | L/W | Área (m ²) | Util. Área (%) | (dp) | cx./camada (dp) | sol. ótimas (%) |
|-----------------|--------|--------|------|------------------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|
| P ₁ | 1200 | 1000 | 1,20 | 1,20 | 85,77 | (7,15) | 13,39 (7,48) | 0 |
| P ₁₃ | 1250 | 1050 | 1,19 | 1,31 | 90,48 | (3,62) | 15,17 (7,66) | 22,22 |
| Empresa | | | | | 87,93 | (5,93) | 14,83 (7,56) | |

(dp) desvio padrão

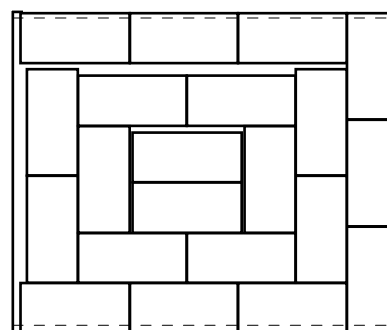
comprimento e largura média das caixas e respectivos desvios padrões: $\bar{l} = 320$ (104,4), $\bar{w} = 292$ (79,5)

A figura 6 ilustra um padrão encontrado pelo procedimento PR1 para o paleta P₁ (sem tolerância) e o correspondente utilizado pela empresa (com tolerância). Observe que ambos os padrões acomodam o

mesmo número de caixas (i.e. 21 caixas), entretanto, o padrão utilizado pela empresa envolve uma área de carregamento de dimensões L=1200 e W=1035 mm.



(a) padrão obtido pelo procedimento
Palete (L=1200, W=1000)



(b) padrão utilizado pela empresa
Palete (L=1200, W=1035)

Figura 6 - Padrões de carregamento com caixas (345, 160)

Os tempos computacionais requeridos para resolver cada um dos exemplos das três empresas não foram significativos pois foram, em média, menores que 1 segundo. Também verificamos que, em todos os exemplos analisados, as dimensões das

caixas estão dentro dos intervalos sugeridos por WRIGHT (1984), utilizados na seção 4.1 (compare as médias e os desvios-padrões dos comprimentos e larguras das caixas das tabelas 4-10, com os das tabelas 1-3).

4.3 Carregamento de Paletes Sobre Caminhões nas Empresas

Para analisar o problema do carregamento de paletes sobre carrocerias de caminhões, aplicamos novamente o procedimento PR1, agora considerando os retângulos menores (i.e. os paletes P_1 , P_2 , P_3 e P_4) de dimensões (L,W) ou (W,L), e o retângulo maior com as dimensões (B, 2.480) mm das carrocerias disponíveis no mercado, sendo B o comprimento e 2.480 a largura útil para carregamento dos paletes na carroceria.

As regulamentações relevantes para as carrocerias analisadas podem ser encontradas em WIDMER (1990, 1992). A tabela 11 apresenta os resultados obtidos em termos de aproveitamento da área de carregamento e do número de paletes de cada tipo que são carregados em cada configuração. Esses resultados são compatíveis com os apresentados em WIDMER & MORALES (1994).

Tabela 11 - Resultados Comparativos de Carregamento de Paletes sobre Caminhões

| Tipo de Veículo | | Dimensões do Palete (mm) | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | B | P_1 | | P_2 | | P_3 | | P_4 | |
| Furgão S. Reboque | | C | D | C | D | C | D | C | D |
| 14.500 | 14.370 | 28 | 93,88 | 26 | 87,90 | 35 | 93,88 | 22 | 88,52 |
| 13.500 | 13.370 | 26 | 93,88 | 24 | 87,39 | 33 | 95,33 | 22 | 95,33 |
| 12.600 | 12.470 | 24 | 92,75 | 22 | 85,73 | 31 | 93,88 | 20 | 92,75 |

onde,

A = Comprimento Nominal das Carrocerias (mm)

B = Comprimento Interno Efetivo das Carrocerias (mm)

C = Paleta/Camada

D = Utilização da Área da Carroceria (%)

A largura nominal externa e interna utilizável são respectivamente 2.600 e 2.480 mm.

Note na tabela 11 que, para todos os veículos, o carregamento feito com o palete P_1 apresenta um melhor aproveitamento da área do caminhão em relação ao palete P_2 . Por exemplo, para o furgão semi-reboque de comprimento nominal $A=14.500$ mm (e largura nominal 2.480 mm), a diferença é expressiva (93,88% contra 87,90%), ultrapassando 5%.

A partir dos resultados da tabela 11, calculamos o índice de aproveitamento global

da carga paletizada para as empresas Nestlé, Sanbra e Martins, analisadas na seção 4.2. Para calcularmos esse índice, multiplicamos os índices de aproveitamento da área dos paletes (tabelas 4, 7 e 8) pelos índices de aproveitamento da área de carga do caminhão (tabela 11). Os resultados estão apresentados na tabela 12 para o centro de distribuição da Nestlé, na tabela 13 para o centro de armazenagem da Sanbra, e na tabela 14 para o centro de distribuição do Atacadista Martins.

Tabela 12 - Desempenho global da paletização no Centro de Distribuição da Nestlé

| Tipo de Veículo | Dimensões do Paleta (mm) | | | |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 |
| Furgão S. Reboque | Aproveitamento (%) e (número de paletes/camada) | | | |
| 14.500 | 80,7 (28) | 74,5 (26) | 75,2 (35) | 74,7 (22) |
| 13.500 | 80,7 (26) | 74,0 (24) | 76,4 (33) | 80,5 (22) |
| 12.600 | 79,8 (24) | 72,6 (22) | 75,2 (31) | 78,3 (20) |

Tabela 13 - Desempenho global da paletização no Centro de Armazenagem da Sanbra.

| Tipo de Veículo | Dimensões do Paleta (mm) | | | |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 |
| Furgão S. Reboque | Aproveitamento (%) e (número de paletes/camada) | | | |
| 14.500 | 79,2 (28) | 76,6 (26) | 77,5 (35) | 74,4 (22) |
| 13.500 | 79,2 (26) | 76,2 (24) | 78,7 (33) | 80,1 (22) |
| 12.600 | 78,3 (24) | 74,7 (22) | 77,5 (31) | 77,9 (20) |

Tabela 14 - Desempenho global da paletização no Centro de Distribuição Martins

| Tipo de Veículo | Dimensões do Paleta (mm) | | | |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 |
| Furgão S. Reboque | Aproveitamento (%) e (número de paletes/camada) | | | |
| 14.500 | 84,0 (28) | 76,0 (26) | 80,7 (35) | 78,1 (22) |
| 13.500 | 84,0 (26) | 75,7 (24) | 81,9 (33) | 84,1 (22) |
| 12.600 | 83,0 (24) | 74,3 (22) | 80,7 (31) | 81,9 (20) |

Associando os dados da tabela 11 aos resultados obtidos para o carregamento de caixas sobre o palete (tabela 4, 7 e 8), temos que, para as três empresas, o palete P_1 apresenta um desempenho global superior a P_2 (compare os dados das tabelas 12, 13 e 14). Lembremo-nos que na seção anterior verificamos que, para o centro de armazenagem da Sanbra, o palete P_2 teve desempenho 3% superior, em média, ao palete P_1 . Apesar disso, o melhor desempenho global é do palete P_1 . Para as outras empresas analisadas, a diferença do desempenho global varia de 5 a 9% para os caminhões semi-reboques comumente utilizados na distribuição dos produtos.

Do ponto de vista de carregamento do palete no caminhão, note na tabela 11 que o palete P_3 apresenta os melhores índices de aproveitamento. No entanto, ao considerarmos seu desempenho no carregamento de caixas, o desempenho global é inferior ao do palete P_1 como podemos verificar nas tabelas 12, 13 e 14.

Cabe notar também que esta metodologia, além de indicar tendências em termos da otimização global no transporte rodoviário de carga paletizada, pode ser útil também na escolha de carrocerias em função dos paletes utilizados, ou vice-versa, na escolha de paletes em função das carrocerias disponíveis.

Similarmente, ela também pode ser aplicada para auxiliar no projeto de embalagens de produtos em função dos paletes padronizados na cadeia logística de uma empresa. Neste caso, os tempos muito pequenos para a geração de um padrão otimizado de carregamento por meio da heurística PR1, permitem a avaliação de dimensões alternativas das embalagens por meio da enumeração explícita das combinações de comprimento e largura (pares l,w) tecnicamente viáveis, e de seu desempenho em termos de ocupação do palete padrão da empresa.

5. Conclusões

Neste trabalho analisamos o problema do carregamento de produtos sobre paletes e dos paletes sobre caminhões. Por meio de três estudos de caso em empresas diferentes, procuramos mostrar que a metodologia pode ser utilizada com sucesso em situações reais. Os padrões de carregamento gerados também podem ser úteis para auxiliar no processo de dimensionamento e escolha de embalagens, paletes e carrocerias.

Em relação às dimensões do palete, os resultados aqui obtidos privilegiam o palete padrão brasileiro PBR de dimensões

(1200, 1000) mm, adotado pela Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS) e recomendado pela Associação Brasileira de Logística (ASLOG). Um aspecto interessante aqui explorado é a importância da análise de um índice de aproveitamento global dos dispositivos de transporte e armazenagem, isto é, do produto no palete e do palete no caminhão.

Para os produtos transportados em caixas pelas três empresas estudadas, os ganhos resultantes da utilização do palete PBR (1200, 1000) no lugar do palete ISO série 1 (1100, 1100) variaram de 3 a 9%.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos três revisores anônimos pelos seus úteis comentários e sugestões. Esta pesquisa foi parcialmente

financiada pelo CNPq (processos 522973/95-7 e 680082/95-6) e pela FAPESP (processo 9522-0).

Referências Bibliográficas:

- ARENALES, M. & MORABITO, R.:** "An AND/OR-graph approach to the solution of two-dimensional non-guillotine cutting problems", *European Journal of Operational Research* 84, 599-617, 1995.
- AZEVEDO, N.:** "A Dificil Padronização", *Transporte Moderno*, julho, 18-21, 1990.
- BALLOU, R.H.:** *Business Logistics Management: Planning and Control*, Prentice-Hall, NY, 1985.
- BALLOU, R.H.:** "Business logistics---Importance and some research opportunities", *Gestão & Produção* 4(2), 117-129, 1997.
- HODGSON, T.:** "A Combined Approach to the Pallet Loading Problem", *IIE Transactions* 14(3), 176-182, 1982.
- MAHOMEY, J.H.:** *Intermodal Freight Transportation*, ENO Foundation for Transportation Inc, Westport, Conn, 1985.
- MORABITO, R. & WIDMER, J.A.:** "O Problema do Carregamento de Paletes - Uma Metodologia para o Carregamento com Embalagens de Dimensões Iguais". *Anais do Vº Encontro Anual da ANPET*, Belo Horizonte, 1991, 161-162 (resumo). Publicado na versão completa na Publicação STT ACN 40-91 da EESC-USP, São Carlos, 1991.
- MORALES, S.R.:** "Otimização no Carregamento de Paletes: Uma Abordagem Heurística para Resolver o Problema do Produtor", *Dissertação de Mestrado*, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 1995.
- MORALES, S.R. & MORABITO, R.:** "Uma Heurística Simples e Eficaz para Resolver o Problema do Carregamento de Paletes do Produtor", *Gestão & Produção* 4(1), 52-75, 1997.
- MOURA, R.:** *Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais*, IMAM, Santo André, 1983.
- NEAVE, H.R.:** *Elementary Statistics Tables*, Ed. George Allen & Unwin, 1988.
- NELISSEN, J.:** "How to Use Structural Constraints to Compute an Upper Bound for the Pallet Loading Problem", *European Journal of Operational Research* 84, 662-680, 1995.
- SUPERHIPER:** *Paleta*, ano 16, no.7, julho, 1990.
- TECNOLOGÍSTICA:** "A Logística do BIG MAC", ano 1, no. 8, maio, 1996.
- TORRES, C.L.:** "Mecanização a Passos Lentos", *Transporte Moderno*, ano 27, n. 313, fevereiro, 1990.
- WIDMER, J.A.:** "Transporte Rodoviário de Carga - Evolução da Legislação de Dimensões e Pesos no Exterior", *Anais do IV Encontro Nacional da ANPET*, Porto Alegre, outubro, 1990.
- WIDMER, J.A.:** "Uma Proposta Pobre e Superada", *Transporte Moderno*, ano 29, n. 341, 1992.
- WIDMER, J.A & MORALES, S.R.:** "Aspectos Dimensionais do Carregamento de Paletes em Carrocerias de Vários Tipos de Veículo Rodoviários de Carga", *Anais do VIIIº ANPET*, Recife, 291-298, 1994.
- WRIGHT, P.:** "Pallet Loading Configurations For Optimal Storage and Shipping", *Paperboard and Packing*, december, 46-4, 1984.

LOADING OPTIMIZATION OF PALLETIZED PRODUCTS ON TRUCKS

Abstract

This paper presents applications of an optimization model to solve problems of arranging products (packed in boxes) on pallets, and arranging pallets on trucks. Different results are presented by solving thousands of randomly generated examples on a microcomputer. The methodology is applied to three case studies: two food industry distribution centers and one

large wholesale distribution center. The use of the methodology to define optimal sizes of packages, pallets and trucks is also discussed. In particular, the performance of the Brazilian standard pallet (PBR), adopted by the Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), in comparison with other pallet types, is analyzed. Examining not only the loading of products on pallets, but also the loading of pallets on trucks, global utilization indices, which are useful to evaluate the economical performance of unit load systems in the logistic chain of a company, are obtained.

Key words: logistics, unit load, pallet loading, cutting and packing problems, Brazilian standard pallet.