

# Configuração de Armazéns de E-Commerce Considerando Nichos Compartilhados

Petra Bartmeyer<sup>1</sup>

Faculdade de Ciências Aplicadas da Unicamp, Limeira, SP

**Resumo.** Este artigo trata da modelagem e resolução do *Storage Location Assignment Problem* (SLAP), que surge como uma alternativa para ajudar a gerenciar armazéns de e-commerce. O problema considera a alocação de produtos em espaços de armazenamento e a otimização da utilização do espaço disponível. A principal contribuição deste artigo envolve determinar diferentes distribuições de produtos (SKUs) nas prateleiras para melhorar o processo de coleta/separação dos pedidos, estudando o impacto no uso total de gôndulas ao considerar que um mesmo nicho pode receber mais de um SKU. Uma metodologia de solução baseada em programação matemática é usada para tratar a versão do problema introduzida neste artigo. Modelagem e experimentos computacionais são apresentados para validar a proposta.

**Palavras-chave.** SLAP, Logística, Problema da Mochila, Otimização Combinatória

## 1 Introdução

O crescimento do e-commerce modificou significativamente a função da logística na cadeia de suprimentos. Estratégias inteligentes para alocação de produtos, separação e coleta de pedidos automatizados contribuem para uma gestão eficiente nesse contexto. O e-commerce se tornou uma tendência devido à possibilidade de compra a qualquer hora, à ausência de necessidade de lojas físicas, à comparação de características e preços e à personalização do produto em diversas plataformas virtuais. Essa nova forma de consumo foi impulsionada e consolidada durante a pandemia da COVID-19 [1, 4], exigindo das empresas rápida adaptação às mudanças nos padrões de consumo. Plataformas de venda online permitem que empresas vendam uma variedade de produtos para um número significativo de clientes em diferentes plataformas, reduzam a quantidade e as dimensões de lojas físicas, criem canais de comunicação e sobretudo mapeiem o comportamento do consumo em tempo real [2]. A solução do *Storage Location Assignment Problem* (SLAP) surge como uma alternativa para ajudar a gerenciar armazéns de e-commerce. A solução do problema retorna a alocação de produtos em espaços de armazenamento e a otimização da utilização do espaço disponível. O problema é caracterizado por diversos parâmetros, como o *layout* da área de armazenamento, dimensões das prateleiras, características físicas dos produtos, tempos de chegada de produtos no armazém e variações da demanda [5]. Adicionalmente, os custos de movimentação precisam ser otimizados, uma vez que a coleta/separação dos pedidos no armazém é a operação que mais consome tempo e mão de obra [6].

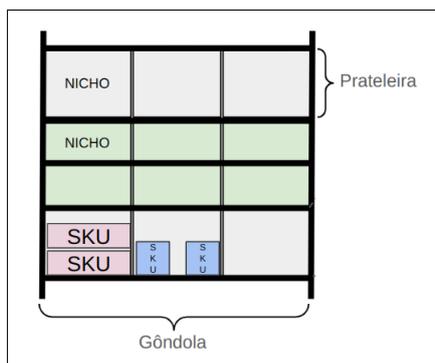
## 2 Descrição do Problema

A Figura 1(a) ilustra algumas possibilidades de alocação de *Stock Keeping Units* (SKUs) nos nichos de uma gôndula enquanto a Figura 1(b) ilustra a complexidade gerencial da alocação de

---

<sup>1</sup>petra@unicamp.br

múltiplos SKUs. A principal contribuição deste artigo envolve encontrar diferentes distribuições de SKUs nas prateleiras para melhorar o processo de coleta/separação dos pedidos. A redundância facilita a retirada de produtos pois a maior dispersão dos SKUs no armazém tem potencial de produzir rotas de coleta mais eficientes e de distribuir melhor o fluxo de coleta nos corredores do armazém (Fig 2).



(a) Organização das gôndolas e do uso de múltiplos SKUs/nicho. Fonte: dos autores.



(b) Configuração física de um armazém. Fonte: www.letsbloom.com

Figura 1: Representação da organização de um armazém de e-commerce. Figura 1 (a) Fonte: dos autores. Figura 1 (b) Fonte: www.letsbloom.com

A metodologia também permite que um mesmo nicho receba diferentes SKUs, chamados de nichos compartilhados. Por fim, o modelo considera a posições estratégicas de cada SKU, determinando uma posição para os produtos nas prateleiras. Experimentos computacionais são realizados para obter uma solução final para o SLAP.

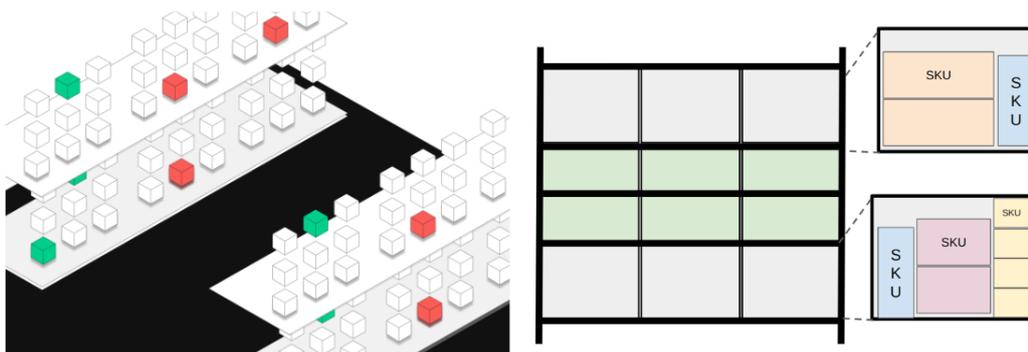


Figura 2: (Esquerda) Representação de um *layout* considerando redundância de posições de um mesmo SKU. Fonte: figura adaptada de <https://www.ware.ai/blog/automated-inventory-cycle-counting-new-ware-cloud-release>. (Direita) Representação de nichos compartilhados com diferentes números de SKUs. Fonte: dos autores

### 3 Modelagem Matemática

A modelagem matemática desenvolvida para o SLAP é constituída dos seguintes parâmetros e variáveis de decisão:  $p_{ij}$  é a quantidade de SKU  $i$  que cabe no nicho  $j$ ;  $D_i$  é a demanda para o SKU  $i$ ;  $R_i$  é a redundância, ou seja, a quantidade mínima de nichos que deve conter o SKU  $i$ ;  $BF_j$  é a quantidade máxima de SKUs alocada no nicho  $j$ ;  $w_i$ ,  $c_i$  e  $h_i$  são o peso, o comprimento e a altura do SKU  $i$ , respectivamente; se  $NS$  é um subconjunto de nichos que pode receber um determinado limite de peso, então  $W_{\max}$  é o maior peso permitido em cada nicho selecionado;  $C_j$  e  $H_j$  é o comprimento total e a altura máxima do nicho  $j$ , respectivamente;  $d_{jj'}$  é a distância entre dois nichos  $j$  e  $j'$ , considerando a norma-1;  $x_{ij}$  é a variável binária igual a 1 se o SKU  $i$  é alocado no nicho  $j$ ; e  $y_j$  é a variável binária igual a 1 se o nicho  $j$  é usado.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_j y_j \quad (1)$$

$$\text{Maximizar} \quad \sum_j \sum_{j'} d_{jj'} x_{ij} x_{ij'} \quad (2)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_j p_{ij} x_{ij} \geq D_i \quad \forall i, \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ij} \geq R_i \quad \forall i, \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij} \leq BF_j y_j \quad \forall j, \quad (5)$$

$$w_i x_{ij} \leq W_{\max} \quad \forall i, \quad \forall j \in \{NS\}, \quad (6)$$

$$\sum_i c_i x_{ij} \leq C_j \quad \forall j, \quad (7)$$

$$h_i x_{ij} \leq H_j \quad \forall i, \quad j, \quad (8)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, \quad (9)$$

onde (1) minimiza a quantidade de nichos utilizados. A demanda e a dispersão mínima de SKUs são atendidas em (3) e (4), respectivamente. (5) limita a quantidade máxima de SKUs distintos por nicho. As restrições (6)–(8) são de factibilidade das dimensões do conjunto de SKUs em cada nicho. Por fim, (9) fornece o domínio das variáveis.

A solução do modelo fornece a alocação de cada SKU  $i$  no seu respectivo nicho compartilhado  $j$ , respeitando a distribuição exigida nos diferentes nichos. As informações desta solução são usadas como parâmetros na próxima fase. A maximização das distâncias entre posições escolhidas para os nichos é alcançada em (2).

### 4 Experimentos Computacionais

Os modelos foram implementados no pacote JuMP do Julia (v1.10) e resolvido no Gurobi (v10.01). Os exemplares foram retirados do banco de dados Olist, incluindo dados de produtos e pedidos de um e-commerce brasileiro. 3600s foi o tempo limite para cada teste em cada modelo resolvido. Como o modelo apresentado é multi-objetivo, a estratégia de resolução emprega foi o  $\epsilon$ -restrito, onde a Função Objetivo (2) foi substituída pelo conjunto de restrições (10), sendo o parâmetro  $dist$  atualizado a cada novo valor de  $\epsilon$  testado. A escolha pelo método de  $\epsilon$ -restrito por facilitar a abordagens de funções objetivos com grandezas distintas [3].

$$\sum_j \sum_{j'} d_{jj'} x_{ij} x_{ij'} \geq dist, \quad \forall i, \quad (10)$$

O conjunto de restrições (10) computam a distância entre todos os pares de SKUs iguais que estejam em nichos distintos.

No que se refere a relação entre a redundância mínima de cada SKU e o número de nichos utilizados, foi observada uma relação direta porém, o crescimento do número de nichos tende a se apresentar com um fator de crescimento menor que o o fator de redundância, como mostra a Figura 3.

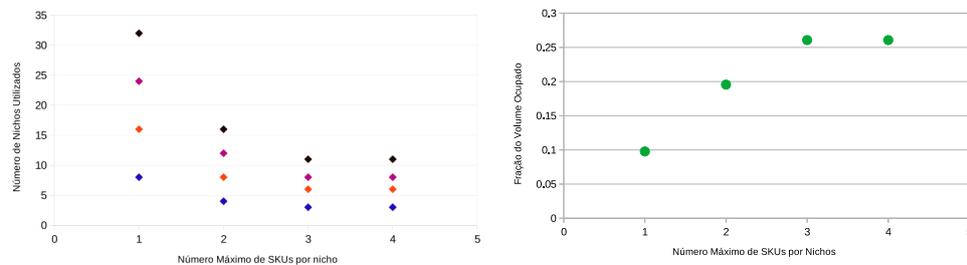


Figura 3: (Esquerda) Análise do comportamento do número de nichos utilizados em relação a redundância de cada SKU. Pontos em preto, rosa, laranja e azul representam redundâncias de 12, 10, 8 e 6 nichos, respectivamente. (Direita) Saturação dos benefícios do aumento do número máximo de SKUs por nicho. Fonte: dos autores.

## 5 Considerações Finais

Os estudos computacionais apontaram para a existência de conflito entre a redução do número de nichos utilizados e a maximização do espalhamento dos SKUs. Investigações futuras podem considerar o impacto da alocação nos custos de retiradas de pedidos, como a distância das rotas e os fluxos nos corredores do armazém.

## Referências

- [1] R. Bravo, M. Gonzalez Segura, O. Temowo e S. Samaddar. “How does a pandemic disrupt the benefits of eCommerce? A case study of small and medium enterprises in the US”. Em: **Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research** 17.2 (2022), pp. 522–557.
- [2] J. Jedrzejczak-Gas, A. Barska e M. Siničáková. “Level of development of e-commerce in EU countries”. Em: **Management** 23.1 (2019), pp. 209–224.
- [3] K. Miettinen. **Nonlinear multiobjective optimization**. Vol. 12. Springer Science & Business Media, 1999.
- [4] D. Paraschiv, E. Titan, D. Manea, C. Ionescu, M. Mihai e O. Șerban. “The change in e-commerce in the context of the Coronavirus pandemic”. Em: **Management & Marketing** 17.2 (2022), pp. 220–233.
- [5] J. Reyes, E. Solano-Charris e J. Montoya-Torres. “The storage location assignment problem: A literature review”. Em: **International Journal of Industrial Engineering Computations** 10.2 (2019), pp. 199–224.

- [6] I. Zennaro, S. Finco, M. Calzavara e A. Persona. “Implementing E-commerce from logistic perspective: Literature review and methodological framework”. Em: **Sustainability** 14.2 (2022), p. 911.