



Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



ALOCAÇÃO ÓTIMA DE ITENS BASEADA NO NÚMERO DE CLIENTES E DEMANDA DOS PRODUTOS UTILIZANDO *order picking*

LARISSA LEMOS DE MORAES

João Monlevade MG
2019

LARISSA LEMOS DE MORAES

**ALOCAÇÃO ÓTIMA DE ITENS BASEADA NO
NÚMERO DE CLIENTES E DEMANDA DOS
PRODUTOS UTILIZANDO *order picking***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dra. Mônica do Amaral

Coorientador: Prof. Thiago Geraldo dos Santos

João Monlevade - MG
13 de Dezembro de 2019

M827a Moraes, Larissa Lemos de.
Alocação ótima de itens baseada no número de clientes e demanda dos produtos utilizando order picking [manuscrito] / Larissa Lemos de Moraes. - 2019.

43f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica do Amaral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Pesquisa operacional. 2. Armazéns. 3. Logística. 4. Controle de estoque.
I. Amaral, Mônica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 519.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA

**FOLHA DE APROVAÇÃO****Larissa Lemos de Moraes****Alocação ótima de itens baseada no número de clientes e demanda dos produtos utilizando *order picking***

Membros da banca

Mônica do Amaral - Doutorado - UFOP
Thiago Geraldo dos Santos - Bacharelado - UFOP
Thiago Augusto de Oliveira Silva - Doutorado - UFOP
Diego Dobscha da Cruz Piedade - Bacharelado - UFOP

Versão final

Aprovado em 17 de Dezembro de 2019

De acordo

Professor (a) Orientador (a)



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2019, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0030070** e o código CRC **A067335E**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.204239/2019-62

SEI nº 0030070

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Agradecimentos

Início agradecendo a Deus, por ser essencial em minha vida, por me guiar durante todo meu caminho, por sempre fazer as coisas darem certo, por sempre me dar forças e não me deixar desistir.

Agradeço aos meus pais Marisa e Marcelo. Especialmente minha mãe, por ser meu alicerce, meu exemplo e inspiração. Por me ensinar a ser uma mulher forte, que corre atrás de seus sonhos, que não se deixa desanimar por nenhum percalço da vida. Obrigada mãe, por estar ao meu lado em todas as situações, em todas minhas escolhas e meus sonhos. Ao meu pai por sempre me tranquilizar, me oferecer carinho, me dar suporte, e me lembrar que antes da faculdade existem várias outras coisas importantes nessa vida, como a família! Agradeço ao meu noivo, Rafael, por me ensinar a confiar no meu potencial, por me mostrar quem eu realmente sou e do que sou capaz, por despertar o melhor de mim e por sempre estar ao meu lado em todas as situações. Vocês me ensinam todos os dias a ser uma pessoa melhor. Sem vocês eu nada seria!

A minha orientadora Mônica, por todo tempo dedicado e persistência. Ao meu coorientador Thiago, por sempre me falar que tudo ia dar certo.

Aos grandes amigos que fiz durante essa trajetória: meus amigos do curso de Engenharia Elétrica, as meninas da República Cazamiga, minha família da INCOP, meus colegas do CREA, meu colega Arthur e especialmente minha companheira desde o primeiro dia cursando Engenharia de Produção, Jacqueline. Obrigada por me apoiarem em cada momento!

Agradeço à UFOP por me proporcionar momentos incríveis de aprendizado, autoconhecimento e por me permitir realizar meu sonho de estudar em uma Universidade Federal.

E por fim, a Aciaria da Arcelor Mittal, por me proporcionar o primeiro contato com o mercado de trabalho.

Resumo

Com a evolução do gerenciamento da cadeia de suprimentos, os armazéns cumprem um papel estratégico de alcançar os objetivos logísticos de tempos de ciclo, estoques e custos reduzidos, bem como níveis mais altos de atendimento ao cliente. A otimização das rotas de recolhimento é um dos problemas estudados na literatura para reduzir o custo de operação de armazéns. Neste trabalho, propõe-se uma heurística para estabelecer a política ótima de atribuição da localização de itens em armazéns, promovendo a agregação de produtos em classes com redução da utilização de espaços, baseada no número de clientes e demanda pelos produtos utilizando o sistema *order picking*, visando apoiar o projeto e o controle de processos eficientes de separação de pedidos, levando em consideração questões como estimativa da distância de viagem, projeto de *layout* ideal e formação de classes. Após a realização de testes computacionais, fica evidente que as propostas de alocação baseadas no índice COI (*cube-per-order*) buscam minimização dos custos de *picking* em comando único com base na dimensão do espaço requerido, já o CIC (*cube-per-consumer*) busca coletar os produtos com maior número de clientes à frente, e o COIC (*cube-per-order and consumer*) balanceia estas duas características. Mas com a utilização dos índices é possível obter reduções significativas em relação a utilização do espaço, das distâncias percorridas e dos custos.

Palavras-chave: Atribuição de Localização baseada em Classes, Economia de Espaço, *Order Picking*.

Abstract

As supply chain management evolves, warehouses play a strategic role in achieving the logistics goals of reduced cycle times, inventory and costs, as well as higher levels of customer service. The optimization of collection routes is one of the problems studied in the literature to reduce the cost of operating warehouses. In this paper, a heuristic is proposed to establish the optimal policy for assigning the location of items in warehouses, promoting the aggregation of products in classes with reduced space utilization, based on the number of customers and product demand using the order picking system. , to support the design and control of efficient order picking processes, taking into account issues such as travel distance estimation, optimal layout design and class formation. After performing computational tests, it is evident that the allocation proposals based on the cube-per-order (COI) index seek to minimize single-command picking costs based on the size of the space required, whereas the CIC (cube-per-order) consumer) seeks to collect the products with the largest number of customers ahead, and the cube-per-order and consumer (COIC) balances these two characteristics. But with the use of indexes, significant reductions can be made in terms of space utilization, distances traveled and costs.

Keywords: Warehouse Location Assignment, Space Saving, Order Picking.

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Distribuição típica dos tempos no modelo <i>order de picking</i> | 10 |
| Figura 2 – <i>Layout</i> da área de estocagem do armazém. | 15 |
| Figura 3 – Alocação dos itens no armazém sem economia de espaço. | 17 |
| Figura 4 – Alocação dos itens no armazém com economia de espaço. | 18 |
| Figura 5 – Processo de recolha de itens no armazém para a melhor política obtida no cenário base. | 41 |
| Figura 6 – Processo de recolha dos produtos agregados P3 e P4. | 42 |
| Figura 7 – Processo de recolha do produto P2. | 42 |
| Figura 8 – Processo de recolha do produto P1. | 43 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Exemplo para contextualizar a agregação de produtos. | 16 |
| Tabela 2 – Exemplo de possibilidades de agregação de produtos. | 16 |
| Tabela 3 – Exemplo do cálculo de agregação de produtos com economia de espaço. . . | 17 |
| Tabela 4 – Dados do Cenário 1. | 20 |
| Tabela 5 – Resultado do cálculo dos índices para o Cenário 1. | 20 |
| Tabela 6 – Ordenação dos produtos pelos índices para o Cenário 1. | 21 |
| Tabela 7 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COI para o Cenário 1. | 21 |
| Tabela 8 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice COI para o Cenário 1. | 22 |
| Tabela 9 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice CIC para o Cenário 1. | 23 |
| Tabela 10 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice CIC para o Cenário 1. | 23 |
| Tabela 11 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COIC para o Cenário 1. | 24 |
| Tabela 12 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice COIC para o Cenário 1. | 25 |
| Tabela 13 – Distâncias dos locais no armazém. | 27 |
| Tabela 14 – Melhores resultados obtidos por índice para o Cenário 1. | 28 |
| Tabela 15 – Resumo dos resultados do Cenário 1. | 29 |
| Tabela 16 – Resumo dos Tempos de <i>Picking</i> (em segundos) para cada caso do Cenário 1. | 30 |
| Tabela 17 – Dados do Cenário 2. | 37 |
| Tabela 18 – Resultado do cálculo dos índices para o Cenário 2. | 37 |
| Tabela 19 – Ordenação dos produtos pelos índices para o Cenário 2. | 37 |
| Tabela 20 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COI para o Cenário 2. | 38 |
| Tabela 21 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice COI para o Cenário 2. | 38 |
| Tabela 22 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice CIC para o Cenário 2. | 39 |
| Tabela 23 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice CIC para o Cenário 2. | 39 |
| Tabela 24 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COIC para o Cenário 2. | 40 |

| | |
|--|----|
| Tabela 25 – Espaço Total e Distância Total de <i>Order Picking</i> por classe, calculados pelo índice COIC para o Cenário 2. | 40 |
|--|----|

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|-------|---|
| FIFO | <i>First-in First-out</i> (Primeiro que entra, primeiro que sai) |
| LIFO | <i>Last-in First-out</i> (Último que entra, primeiro que sai) |
| BFIFO | <i>Batch First-in First-out</i> (Lote que entra primeiro, sai primeiro) |
| SKU | <i>Stock Keeping Unit</i> (Unidade de Manutenção de Estoque) |
| COI | <i>Cube-per-order</i> |
| CIC | <i>Cube-per-consumer</i> |
| COIC | <i>Cube-per-order and consumer</i> |
| I/O | <i>In/Out</i> (Entrada/Saída) |
| OPS | <i>Order Picking System</i> (Sistema de Seleção de Pedidos) |

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Considerações Iniciais | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.2.1 | Objetivos gerais | 2 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 | Justificativa | 2 |
| 1.4 | Metodologia | 3 |
| 1.5 | Organização do Texto | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 2.1 | Armazéns e o Sistema Logístico | 5 |
| 2.2 | Atribuição da localização de itens em armazéns | 6 |
| 2.2.1 | <i>Layout</i> do Armazém | 6 |
| 2.2.2 | Sistema de Localização do Armazém | 7 |
| 2.2.3 | <i>Order Picking</i> | 9 |
| 2.3 | Modelo de Formação de Classe e Localização | 11 |
| 3 | HEURÍSTICA PROPOSTA | 14 |
| 3.1 | Justificativa | 14 |
| 3.2 | Detalhamento do Problema e da Heurística | 14 |
| 3.3 | Validação da Heurística | 20 |
| 4 | RESULTADOS COMPUTACIONAIS | 26 |
| 4.1 | Detalhes da Implementação | 26 |
| 4.2 | Simulação | 26 |
| 4.3 | Resultados e Análise | 27 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 31 |
| 5.1 | Conclusão | 31 |
| 5.2 | Trabalhos Futuros | 32 |
| | Referências | 33 |
| | Apêndices | 36 |
| | APÊNDICE A – CENÁRIO 2 | 37 |

| | |
|--|-----------|
| APÊNDICE B – MODELO COMPUTACIONAL | 41 |
|--|-----------|

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

O processo de retirada de produtos do armazém em função de uma solicitação específica do cliente, é denominado coleta de pedidos ou *order picking*. Essa operação exige mais mão-de-obra em armazéns com sistemas manuais, e demanda muito capital em armazéns com sistemas automatizados. Por conseqüente, quando o objetivo é melhorar a produtividade, a área de seleção de pedidos é onde as empresas comumente atuam para reduzir custos e melhorar o desempenho (LE-DUC, 2005).

O armazém assume a responsabilidade de garantir que exista estoque das matérias-primas necessárias para atender as necessidades dos clientes com o menor tempo possível. Os objetivos principais estimados ao implementar um sistema de *order picking* envolvem maximizar o nível de serviço prestado ao cliente, minimizar a média de distâncias percorridas nos trajetos de picking e minimizar os custos totais (BIDGOLI, 2010).

Segundo Tompkins, White e Bozer (2003), o tempo que o operador leva para completar um trajeto de recolha dos artigos no estoque, corresponde ao tempo de processamento de uma encomenda. Esse período é composto pelo tempo de setup, referente ao tempo despendido em tarefas administrativas e de preparação; pelo tempo de *picking*, que é o tempo necessário para mover os artigos de onde estão até ao local de recolha; pelo tempo de procura, que diz respeito ao tempo necessário para identificar os itens; e pelo tempo de deslocamento, referente ao tempo que o operador emprega durante os percursos de recolha de artigos. Além disso, engloba também possíveis atrasos, imprevistos, paragens diversas, etc.

Existem vários sistemas de localização de itens em estoques, para conseguir o sincronismo entre a identificação e a facilidade de localização dos mesmos, temos índices que estabelecem qual a melhor política deve ser adotada de acordo com os objetivos, que podem estar relacionados aos tipos dos produtos estocados, aos tipos de instalações necessárias, aos tipos de processamento e ao tamanho dos pedidos (SANTOS; SILVA; LIMA, 2008).

A política de localização de itens em armazéns é uma questão amplamente discutida no cenário atual, uma vez que se pretende estabelecer uma relação ideal entre identificação e otimização da localização dos itens estocados, para que as organizações consigam utilizar o máximo da sua capacidade de armazenagem e atender as demandas dos clientes de forma ágil e eficiente. Com isso, torna-se evidente a relevância do aprimoramento da alocação dos itens em um armazém, levando em consideração o protagonismo de cada produto no pedido do cliente, para reduzir os mais diversos custos e tempos que envolvem esse processo. Barros (2005), afirma que a utilização de métodos e equipamentos são fundamentais para a redução de custo de manuseio

de objetos em um armazém e ainda contribuem na melhoria operacional.

O objetivo geral deste trabalho é, portanto, fornecer um modelo para estabelecer a política ótima de atribuição da localização de itens em armazéns, baseada no número de clientes e demanda pelos produtos, visando apoiar o projeto e o controle de processos eficientes de separação de pedidos, levando em consideração questões como estimativa da distância de viagem, projeto de layout ideal e formação de classes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

Propor uma heurística baseada no trabalho de [Fontana e Cavalcante \(2013\)](#) para análise do processo de *order picking*, promovendo a agregação de produtos em classes baseada na ordenação dos mesmos em relação aos valores obtidos por índices, para reduzir o espaço total utilizado e as distâncias percorridas. Como o modelo de referencia possui uma região convexa de viabilidade pouco definida, torna-se interessante propor uma estrutura de vizinhança mais simples. Sob a perspectiva prática, analisar se existe comportamento dominante, antagônico ou indiferente quanto à priorização das coletas, de acordo com os diferentes índices para alocação de produtos dentro do armazém. Dessa forma, o trabalho pode contribuir com o desenvolvimento de novas políticas de coleta mais eficientes dos itens do pedido, reduzindo os tempos de deslocamento e movimentação, o custo, e, possivelmente a área de armazenamento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Implementar uma heurística de atribuição de locais em armazéns;
- Analisar estatisticamente o comportamento de diferentes índices e a influência dos mesmos na alocação de produtos utilizando simulação a eventos discretos;
- Comparar o trabalho de [Fontana e Cavalcante \(2013\)](#) com a heurística proposta validando sua utilidade prática.

1.3 Justificativa

O presente estudo justifica-se pela relevância do aprimoramento da alocação dos itens em um armazém, levando em consideração o protagonismo de cada produto no pedido do cliente, para reduzir os mais diversos custos e tempos que envolvem esse processo. [Barros \(2005\)](#), afirma que a utilização de métodos e equipamentos são fundamentais para a redução de custo de manuseio de objetos em um armazém e ainda contribuem na melhoria operacional.

Para Gapski et al. (2003), a armazenagem é imprescindível nos níveis de eficiência e eficácia dos objetivos das organizações, é um componente na geração de custos, e é um obstáculo na busca da melhoria do nível de serviço associado à logística. Além disso, é fundamental para o atendimento efetivo à gestão da cadeia de suprimentos (GASNIER; BANZATO, 2001).

Segundo Muppani e Adil (2008), poucos trabalhos na literatura levam em consideração a redução do espaço de armazenagem e os custos dispendidos com espaço e atividades de *picking* na formação de classes, em geral os modelos apenas enfatizam a relação do tempo de armazenagem e *order picking*.

O principal fator motivador deste estudo foi a premissa de que a logística associada a um adequado sistema de informação é uma atividade indispensável à redução de custos nas empresas. Considerando que quando as entidades não utilizam as ferramentas de análise que lhes são disponíveis para mensurar o custo de seus produtos, serviços e atividades, estas tendem a cometer sérios erros de posicionamento estratégico.

1.4 Metodologia

O presente trabalho apresenta-se como uma pesquisa científica de natureza básica, cuja abordagem envolve uma pesquisa formal, direcionada à geração e aplicação de conhecimentos teóricos sem aplicação prática prevista (TURRIONI; MELLO, 2012).

Possui objetivo de caráter normativo uma vez que o enfoque é otimizar resultados que já existem na literatura, viabilizando a comparação entre os mesmos e o estabelecimento de instancias mais eficientes (MORABITO et al., 2018).

Além disso, apresenta uma metodologia de pesquisa baseada em uma modelagem quantitativa, com ênfase na metodologia em pesquisa operacional no contexto da engenharia de produção. Os modelos quantitativos podem ser definidos como:

Modelos abstratos descritos em linguagem matemática e computacional, que utilizam técnicas analíticas (matemáticas e estatísticas) e experimentais (simulação) para calcular valores numéricos das propriedades do sistema em questão, podendo ser usados para analisar os resultados de diferentes ações possíveis no sistema (MORABITO et al., 2018).

O método a ser utilizado se baseia na modelagem e simulação, uma vez que um sistema real, com diversas variáveis, foi representado por meio de um modelo matemático analítico conceitual, cujos processos do sistema serão interpretados em forma de funções matemáticas. Com isso, espera-se avaliar o comportamento do sistema real perante as modificações que lhe serão propostas (TURRIONI; MELLO, 2012).

Além disso, será desenvolvida uma heurística construtiva para desenvolvimento dos objetivos do trabalho. Para Cordenonsi (2008), uma heurística é um procedimento algorítmico

desenvolvido através de um modelo cognitivo, usualmente através de regras baseadas na experiência dos desenvolvedores. Ao contrário dos métodos exatos, que buscam encontrar uma forma algorítmica de achar uma solução ótima através da combinação ou busca de todas as soluções possíveis, as heurísticas normalmente tendem a apresentar um certo grau de conhecimento acerca do comportamento do problema, gerando um número muito menor de soluções. Os métodos heurísticos englobam estratégias, procedimentos e métodos aproximativos com o objetivo de encontrar uma boa solução, mesmo que não seja a ótima, em um tempo computacional razoável.

1.5 Organização do Texto

A construção do presente trabalho se deu da seguinte forma: na Introdução são apresentados os elementos de introdução ao contexto da pesquisa bem como seus objetivos, a justificativa da elaboração, a metodologia utilizada e explicita a organização do texto ao longo do desenvolvimento do trabalho. Na sequência, a Revisão Bibliográfica apresenta a fundamentação teórica trazendo a base para os métodos de programação aplicados. Posteriormente, foi apresentada a Heurística Proposta, com a explicação detalhada da formulação e modelagem da heurística. Em seguida, são apresentados os Resultados Computacionais, obtidos pelos testes realizados através da utilização de diferentes técnicas de programação. Por fim, as Considerações Finais apresentam a conclusão, as inferências feitas sobre os resultados e as propostas de trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Armazéns e o Sistema Logístico

Para Lambert, Stock e Ellram (1998) os armazéns tem diversas funcionalidades, entre elas alcançar economias de transporte e de produção, aproveitar descontos de compra em quantidade ou à prazo, manter uma fonte de suprimento, apoiar políticas de atendimento ao cliente da empresa, atender incertezas ou mudanças nas condições do mercado, superar as diferenças de tempo e espaço entre os produtores e os clientes, proporcionar um nível de serviço desejado ao cliente, apoiar programas de *just-in-time*, fornecer um mix de produtos por pedido do cliente, propiciar a logística reversa de materiais e por fim, fornecer um local de *buffer* para as remessas de produtos.

Operacionalmente falando, o armazém possui três funções principais que são movimento, armazenamento e transferência de informações. Em que a função movimento consiste nas atividades de recebimento, incluindo desde o descarregamento de produtos, atualização de registros e inspeção; atividade de transferência e armazenamento, que dizem respeito à transferência do produto ao local em que o mesmo será armazenado, podendo incluir também movimentos físicos e reembalagem; atividade de coleta de pedidos, que é considerada a principal atividade dentro de um armazém, pois é responsável pela obtenção da quantidade certa de produtos referentes ao pedido do cliente; atividade de classificação de pedidos, quando os pedidos são colhidos em lotes; por fim, atividade de *crossdocking* que acontece quando os produtos recebidos são transferidos diretamente para as docas de expedição. A função de armazenamento compreende na contenção física dos produtos enquanto eles aguardam as demandas dos clientes. Por fim, a função de transferência de informações, é essencial para auxiliar na administração das operações do armazém, pois envolve dados sobre nível de estoque, locais de manutenção de estoque, dados do cliente, remessas de entrada e saída, etc (TOMPKINS et al., 2003).

Então, pode-se considerar a gestão da armazenagem como um dos pilares da cadeia logística, uma vez que sua atuação envolve o gerenciamento de produtos estocados, a identificação das necessidades de reposições, redução da perda de produtos por motivos de validade e má armazenagem, melhor aproveitamento do espaço dentro dos armazéns, facilidade nas fiscalizações e inventários. Se essa gestão for realizada de forma eficiente, é capaz de reduzir prejuízos financeiros e relativos ao espaço, trazendo benefícios à empresa e aos colaboradores.

2.2 Atribuição da localização de itens em armazéns

Para Crespo (2012), o fato da produção e do consumo ocorrerem em lugares diferentes e de não existir um transporte completamente eficaz (com curto tempo de entrega e baixo custo) que realizem a entrega do produto ao cliente, culmina na necessidade dos armazéns. Logo, os armazéns possibilitam que o produto esteja mais perto do mercado, permitindo uma resposta mais rápida e melhorando o serviço prestado ao cliente, além de reduzir os custos totais do sistema logístico.

Armazenagem e estocagem são erroneamente definidas como similares, porém a estocagem diz respeito à alocação estática de materiais dentro do armazém e a armazenagem se refere à estrutura física utilizada para estocagem e distribuição (MOURA, 2006). Como nos concentramos na coleta de pedidos, o termo armazém se aplica melhor no presente estudo.

Existem vários sistemas de localização de itens em estoques, para conseguir o sincronismo entre a identificação e a facilidade de localização dos mesmos durante as operações de *order picking*. As operações de coleta de pedidos afetam diretamente o desempenho da cadeia de suprimentos, pois o intervalo de tempo existente entre a liberação de um pedido no armazém e sua chegada ao seu destino, está propenso a ocorrência de diversas falhas e perdas, mas também melhorias. Diversos estudos vem sendo desenvolvidos para preencher a lacuna entre a pesquisa acadêmica e a prática referente a todos os processos que envolvem a coleta de pedidos, pois nem todas as combinações possíveis de *layout* ou todos os métodos possíveis de *picking* ainda foram estudados. Existem diversas formas de atribuição de armazenamento, roteamento, métodos de agrupamento e liberação de pedidos que precisam ser melhor desenvolvidos (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

A coleta de pedidos é uma tarefa de rotina demorada que contribui significativamente para os custos logísticos. Logo, o processo de *order picking* precisa ser traçado com robustez e controlado de forma otimizada (TOMPKINS et al., 1996). Sua eficiência depende de fatores como *racks* de armazenamento, *layout* do armazém e mecanismos de controle, e para que isso ocorra, em geral são utilizadas algumas abordagens que estabelecem mecanismos de controle mais eficazes, que promovem a redução de tempos ou distâncias de viagens (ROODBERGEN; KOSTER, 2001). Existem índices que estabelecem a melhor política a ser adotada em função dos objetivos do armazém, que podem ser relativos ao tamanho dos pedidos, ao tipo de processamento, ao tipo de produto estocado ou ao tipo de instalação necessárias (SANTOS; SILVA; LIMA, 2008).

2.2.1 *Layout* do Armazém

Segundo Costa (2005) o *layout* consiste na organização de máquinas, materiais e homens, ou seja, é a associação do fluxo de materiais, da operação dos equipamentos de movimentação, incorporados às características que agregam maior produtividade ao elemento humano com o máximo de economia. O arranjo físico de uma área de armazenagem, consiste em integrar

os caminhos dos componentes de um produto ou serviço, visando obter o planejamento mais eficiente. Moura (1997) afirma que um *layout* eficiente é aquele cujo objetivo consiste em aumentar a velocidade do fluxo de materiais e reduzir os tempos de trabalho.

Em geral os armazéns alocam uma posição próxima a I/O para separação física de produtos com alta demanda, uma vez que possuem movimentação rápida. Apesar dessa prática reduzir os custos de *order picking*, ela necessita da determinação específica de quais SKU's devem ser armazenados nesse local e a quantidade exata, uma vez que o tamanho da área da frente é limitada (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

Nesse contexto, Koster, Le-Duc e Roodbergen (2007) reiteram que o projeto do *layout* envolve dois subproblemas: o *layout* da instalação e o *layout* do sistema de separação de pedidos. O *layout* da instalação se refere ao local que contém o sistema de separação de pedidos, envolve a localização dos departamentos e a relação de atividades entre os mesmos, como por exemplo, recebimento, *picking*, armazenamento, classificação e expedição, onde o objetivo de ambos é minimizar o custo de manuseio, representado por uma função objetivo linear da distância de viagem. Já o *layout* do sistema de separação de pedidos, ou problema de configuração de corredor, consiste em determinar o número de blocos, o comprimento e a largura dos corredores em cada bloco de uma área de *picking*. Também é comumente representado por uma função objetivo linear da distância da viagem, mas com o intuito de encontrar uma melhor opção em relação a uma determinada função objetiva entre os *layouts* que atendem a um determinado conjunto de restrições e requisitos.

2.2.2 Sistema de Localização do Armazém

Existem diversos sistemas para localização de itens em estoque, cuja aplicação varia de acordo com características específicas de cada contexto. Para determinar qual sistema ou combinação de sistemas é mais adequado, deve-se levar em consideração os tipos dos produtos estocados, os tipos de instalações necessárias, os tipos de processamento e o tamanho dos pedidos (SANTOS; SILVA; LIMA, 2008).

Alguns critérios de desempenho e limitação, como a capacidade de armazenamento, o tempo de resposta, a compatibilidade entre produtos e locais de armazenamento e a política de recuperação de itens (FIFO, LIFO e BFIFO), impactam diretamente na atribuição do local de armazenamento dos produtos dentro do armazém (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007). Para auxiliar este processo, existem três categorias de localização de produtos que levam em consideração esses fatores. Elas foram apresentadas por Hausman et al (1976 apud Li et al, 2008), e são: estocagem dedicada ou fixa; estocagem variável ou aleatória (randomizada) e estocagem classe-base.

Na política de armazenamento dedicada, cada unidade de manutenção de estoque (SKU) tem uma localização específica de onde deve ser armazenada, e nenhum outro item pode ser

guardado nesse local, independente de qualquer circunstância (ROUWENHORST et al., 2000). Já na política aleatória, os produtos são colocados nos espaços livres existentes. Esse sistema de localização é utilizado devido à necessidade de otimização da área de armazenamento, mas exigem alto controle sobre as informações referentes ao posicionamento, pois podem aumentar os custos de *picking* (COSTA, 2002). Esses modelos de localização representam casos extremos da estocagem classe-base, onde a política dedicada considera uma classe para cada item e a política aleatória considera uma única classe (MUPPANI; ADIL, 2008).

Segundo Muppani e Adil (2008) o armazenamento classe-base consiste em determinar o número de classes, produtos atribuídos às classes e os locais de armazenamento para cada classe. Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) afirmam que a implementação da classe-base de armazenamento afeta consideravelmente o custo de manuseio do material e a necessidade de espaço de armazenamento.

Além disso, Heskett (1963 apud BRYNZÉR; JOHANSSON, 1996), propôs para a formação das classes, o índice *cube-per-order* (COI), que segundo Muppani e Adil (2008), estabelece uma sequência de ordenação dos itens para posteriormente serem alocados em lugares específicos nos armazéns, relacionando as dimensões (*cube*) e a demanda (*order*) dos itens do pedido, conforme a Equação 2.1:

$$COI_p = \frac{F_p * [Max I_p^t]}{D_p} \quad (2.1)$$

onde:

- F_p - área necessária para estocar uma unidade de carga do produto p (em metros quadrados - m^2);
- I_p^t - espaço utilizado para o armazenamento do produto p durante o período t (em metros - m);
- D_p - demanda do produto p (em unidades).

Porém, esse índice não leva em consideração o número de clientes que demandam cada produto. Na visão de Jane e Laih (2005), a regra do COI classifica os itens em uma ordem crescente do índice, onde produtos com menor requerimento de espaço e alta demanda são alocados próximos da *I/O*, e produtos com maior requerimento de espaço e baixa demanda são dispostos distante da *I/O*, a fim de reduzir o custo com *order picking*. Além disso, essa metodologia considera a existência de *order picking* único, ou seja, cada produto é pego um por vez.

No entanto, em armazéns reais, são comumente formados lotes de produtos firmados pelas ordens de cada cliente. Frente a isso, existem dois índices que estabelecem a política de

alocação dos produtos nos armazéns considerando o número de clientes, seguindo os princípios de ordenação crescente e restrição de agregação somente de produtos na sequência da ordenação (MUPPANI; ADIL, 2008). O *cube-per-consumer* (CIC), que é a razão entre o espaço requerido e o número de clientes, como apresentado na Equação 2.2:

$$CIC_p = \frac{Fp * [MaxI_p^t]}{C_p} \quad (2.2)$$

em que:

- C_p - número de clientes que demandam do produto p .

E o *cube-per-order and consumer* (COIC), que é a razão do espaço requerido pela demanda multiplicada pelo número de clientes, como mostrta a Equação 2.3 abaixo:

$$COIC_p = \frac{Fp * [MaxI_p^t]}{D_p * C_p} \quad (2.3)$$

Outra abordagem para a política classe-base consiste na classificação ABC, que segundo Garcia et al. (2006) é uma metodologia baseada na Lei de Pareto, onde uma pequena parte de um grupo representa a maior para de determinada característica. Basicamente, a classificação é realizada através da identificação e do escalonamento dos itens em classes A, B e C, levando em consideração o volume financeiro representado por cada um no fluxo das atividades da empresa.

2.2.3 Order Picking

Segundo Jane e Laih (2005), o sistema de *order picking* adquiriu um papel fundamental nos centros de distribuição, devido a crescente necessidade de redução do tempo de entrega dos produtos. Além disso, há um constante interesse por parte dos gestores na redução das distâncias percorridas e conseqüentemente dos custos (CHEN et al., 2005). Tudo isso está estreitamente relacionado à atribuição do inventário e ao sequenciamento das decisões de localização (DANIELS; RUMMEL; SCHANTZ, 1998)

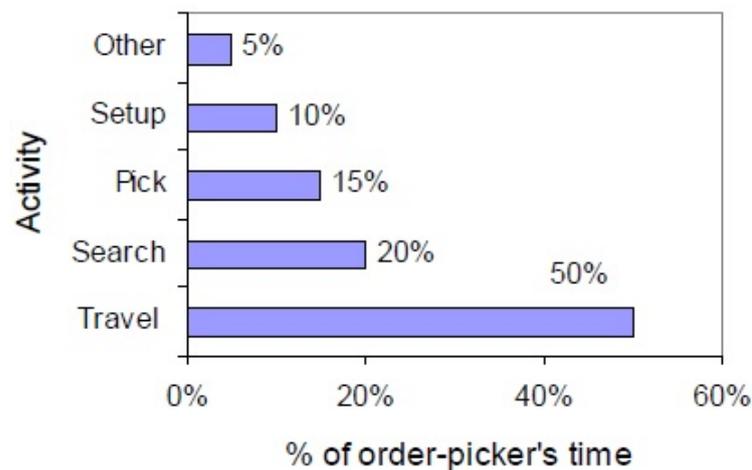
O aumento da diversificação de produtos no mercado, faz com que os mesmos apresentem curto ciclo de vida, alterando o comportamento do armazém, que antes acumulava um grande volume de poucos itens, e agora retém um pequeno volume de muitos itens. O atendimento a essas necessidades só foi possível graças aos novos programas de redução de inventário (CHEW; TANG, 1999).

Frente a isso, os sistemas de *order picking* possuem o objetivo de maximizar o nível de serviços prestados aos clientes, levando em consideração as limitações dos recursos (mão-de-obra, máquinas e capital) (GOETSCHALCKX; ASHAYERI, 1989). Quanto mais rápido um pedido pode ser recuperado, mais rapidamente ele estará disponível para envio ao cliente.

Se o pedido perde o prazo de entrega, muito provavelmente terá que esperar até o próximo período de envio, causando atrasos na entrega. Portanto, é necessário minimizar o tempo de recuperação ou separação de pedidos em qualquer sistema de *order picking* (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

Analisando a Figura 1 é possível identificar as componentes do tempo e suas respectivas porcentagens despendidas no *picking*, onde 50% do tempo é consumido durante a viagem, ou seja, no deslocamento para coleta dos itens, 20% na procura, 15% no processo de recolha, 10% é gasto com tempo de *setup*, e 5% do tempo é empregado com outras atividades, como por exemplo atrasos, imprevistos e algumas paragens (TOMPKINS et al., 2003).

Figura 1 – Distribuição típica dos tempos no modelo *order de picking*.



Fonte: Tompkins et al. (2003)

Fica evidente que outras atividades além da viagem podem contribuir substancialmente para o tempo de coleta de pedidos (DEKKER et al., 2004), porém a viagem é frequentemente o componente dominante. Segundo Bartholdi e Hackman (2008), o tempo de viagem é desperdício, pois custa horas de trabalho, mas não agrega valor, logo esse é um aspecto evidente para melhoria.

O planejamento de um Sistema de Seleção de Pedidos, ou *Order Picking System* - OPS, é não estático, devido à constante evolução das necessidades do mercado que torna o modelo rapidamente obsoleto. Logo a programação do mesmo deve ser contínua, havendo sempre atualizações baseadas nas novas exigências (YOON; SHARP, 1995). Para Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007), a escolha de um método de *order picking* é uma decisão estratégica, pois impacta diretamente em diversas outras decisões referentes ao *layout* do armazém de do seu funcionamento.

Os métodos de recolha dos artigos permitem determinar quais os artigos que são colocados na lista de *picking* e como são recolhidos dos seus locais de armazenagem. Carvalho et al. (2012) afirmam que existem quatro métodos para reduzir as distâncias de *picking*, que consistem em:

- *Picking by Order (Picking discreto)*: é uma metodologia de recolha simples, com tempo de resposta para preparação de pedidos relativamente rápida e baixa probabilidade de erro. Nesse modelo o operador se desloca para recolher todos os artigos de uma mesma encomenda, fazendo com que o mesmo gaste muito tempo com deslocamento. Ao término de uma encomenda, passa imediatamente para encomenda seguinte. Este modelo não é recomendado para pequenas encomendas;
- *Picking By Line (Picking por linha ou produto)*: esta metodologia apresenta produtividade elevada e risco de ocorrência de erros alta, pois após a recolha dos itens é necessário separá-los por encomenda. Uma rota, ou sequência de recolha é definida previamente, e o operador recolhe em cada localização a quantidade de produto necessária para satisfazer várias encomendas, minimizando assim a distância total percorrida e tempo associado. Este modelo é recomendado para encomendas com poucas linhas;
- *Zone Picking (Picking por zona)*: pode ser considerado como um picking by order dividido por zonas, portanto a propensão para erros é baixa e a produtividade é mais elevada do que no picking by line. Esta metodologia é utilizada em armazéns divididos por zonas, onde em cada zona são colocados certos tipos de produtos predeterminados e os operadores só atuam em uma zona específica, posteriormente os itens são direcionados para a área de consolidação onde são completadas e embaladas as encomendas;
- *Batch Picking (Picking por Lote)*: nessa metodologia, quanto maior for o número de encomendas em cada lote maior será a produtividade e os riscos aos erros, pois o operador recolhe a quantidade total de itens em uma única viagem e os agrupa em lotes, trabalhando sobre um grupo de encomendas em simultâneo. Em geral, é utilizado para pequenos pedidos, e contribui com a redução das distâncias de viagem e tempo.

2.3 Modelo de Formação de Classe e Localização

Segundo Muppani e Adil (2008b), em geral os modelos de atribuição de locais em armazéns destacam a relação entre os tempos de armazenagem e *order picking*, mas poucos consideram a redução de espaço de armazenagem, além dos custos relativos ao espaço e *picking* na formação de classes. Estes autores propuseram um Modelo de Formação de Classe e Localização, que é utilizado como base para o desenvolvimento do modelo deste trabalho.

Este modelo utiliza como índice de ordenação dos itens o COI, e consiste em: dado um produto P, sua demanda média D_p e seu nível de inventário I_p planejado para T períodos, e o *layout* da área de armazenamento dividido em treliças, o problema busca estabelecer as classes de produtos e alocá-los nos locais de armazenamento de modo que o custo total de armazenamento (custo *order picking* + custo espaço) seja minimizado considerando um comando único de armazém e viabilizando a redução da área utilizada.

- Notação:

- c – ($c = 1, 2, 3, \dots, C = P$) para classes;
- l – ($l = 1, 2, 3, \dots, L$) para o local de armazenagem;
- p – ($p = 1, 2, 3, \dots, P$) para os produtos/itens;
- t – ($t = 1, 2, 3, \dots, T$) para o período de tempo;

- Parâmetros:

- IND_p – índice utilizado para a ordenação do produto p ;
- a_l – área do local l (em metros quadrados – m^2);
- d_l – distância até o local l a partir do ponto I/O (em metros – m);
- D_p - total de números de *picks* do produto p no período programado (unidade de carga);
- f – custo do espaço no horizonte de planejamento (R\$/ m^2);
- f_p - densidade (área necessária para estocar uma unidade de carga do produto p);
- h – custo de *order picking* por metro percorrido (R\$/ m);
- I_p^t - nível de armazenamento em unidade de carga planejada para o produto p durante o período t .

- Variáveis de decisão:

$$x_{pc} = \begin{cases} 1, & \text{se o produto } p \text{ é atribuído à classe } c; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$y_{lc} = \begin{cases} 1, & \text{se o local } l \text{ é atribuído à classe } c; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

A função objetivo 2.4 minimiza o custo do espaço de armazenamento e de *order picking* sobre o horizonte de planejamento:

Minimize

$$Z = f * \sum_c \sum_l (a_l * y_{lc}) + 2h \sum_c \left[\left\{ \frac{\sum_l (a_l * d_l * y_{lc})}{\sum_l (a_l * y_{lc})} \right\} * \sum_p D_p * x_{pc} \right] \quad (2.4)$$

Sujeito a:

$$IND_p * x_{pc} \leq IND_{p'} * x_{p'c'} \quad \forall p \neq p' \quad \text{e} \quad c < c' \quad (2.5)$$

$$l * y_{lc} \leq l' * y_{l'c'} \quad \forall l \neq l' \quad \text{e} \quad c < c' \quad (2.6)$$

$$MAX_t \left[\sum_p I_p^t * f_p * x_{pc} \right] \leq \sum_l (a_l * y_{lc}) \quad \forall c \quad (2.7)$$

$$\sum_c x_{pc} = 1 \quad \forall p \quad (2.8)$$

$$\sum_c y_{lc} \leq 1 \quad \forall l \quad (2.9)$$

$$x_{pc}, y_{lc} \in \{0, 1\} \quad \forall p, c, l. \quad (2.10)$$

As restrições 2.5 e 2.6 atribuem os produtos com menor índice próximo à *I/O*, então o produto de menor *IND* pertence à classe *c*, e o de maior à classe *c'*; restrição 2.7 certifica que haja espaço suficiente para armazenar o item; 2.8 garante que cada item seja atribuído exatamente a uma classe; 2.9 garante que um local seja atribuído apenas a uma classe e 2.10 impõe restrições binárias às variáveis de decisão.

Este modelo foi resolvido por meio de um algoritmo *branch and bound* dedicado ao problema, com objetivo de minimizar os custos de armazenagem levando em consideração as características do armazém, dos produtos armazenados e a distância percorrida.

3 Heurística Proposta

3.1 Justificativa

Foi proposta uma heurística, pois o modelo criado por Muppani e Adil (2008b) e utilizado por Fontana e Cavalcante (2013) apresenta alguns problemas. Trabalhando diretamente com o modelo proposto por Muppani e Adil (2008b), as Restrições 2.5 e 2.6 juntas, não funcionam para todos os cenários, isso porque em alguns casos a Restrição 2.5 proíbe a alocação de produtos na primeira classe, fazendo com que a Restrição 2.6, que é responsável por realizar a atribuição das classes aos locais, leve a um valor de função objetivo maior, devido ao fato de não ter nenhuma classe situada no local mais próximo a I/O.

Além disso, a Restrição 2.5 pode gerar inviabilidades dentro de uma heurística aleatória quando ela acessa um vizinho, visto que os índices devem ser ordenados dentro de uma classe. Então, fazer uma heurística que elimine essa inviabilidade estabelecida pelas restrições mencionadas anteriormente, torna o método mais rápido e eficiente.

3.2 Detalhamento do Problema e da Heurística

Para atender ao objetivo proposto de implementar um método de atribuição de locais em armazéns, foi formulada uma heurística construtiva com objetivo de promover a agregação de produtos em classes, visando a redução dos custos de espaço e de *order picking*. Outros custos não são considerados. O principal objetivo da utilização de um sistema, ou da combinação de sistemas de localização de materiais, é estabelecer os parâmetros para a perfeita identificação e facilidade de localização dos itens estocados.

A primeira etapa do trabalho consiste em determinar a melhor política de alocação dos produtos e prováveis agregações dos mesmos em classes, em cada índice, a partir de uma *order picking* de comando único, ou seja, apenas um produto é pego por vez, e todos os itens são armazenados e transportados em suportes idênticos. O modelo de estocagem utilizado é classe-base, que compreende a determinação do número de classes, produtos atribuídos às classes e os locais de armazenamento para cada classe. O número máximo de classes criadas deve ser igual ao número de produtos. Para determinação do número de classes, são utilizados os índices *COI*, *CIC* e *COIC*. Todas as possíveis combinações permitidas de agregação de produtos em uma mesma classe são testadas, aquela que apresentar características mais favoráveis aos critérios que se busca, é escolhida. Nesse trabalho, é considerada a melhor agregação aquela que apresentar menor custo total de armazenamento.

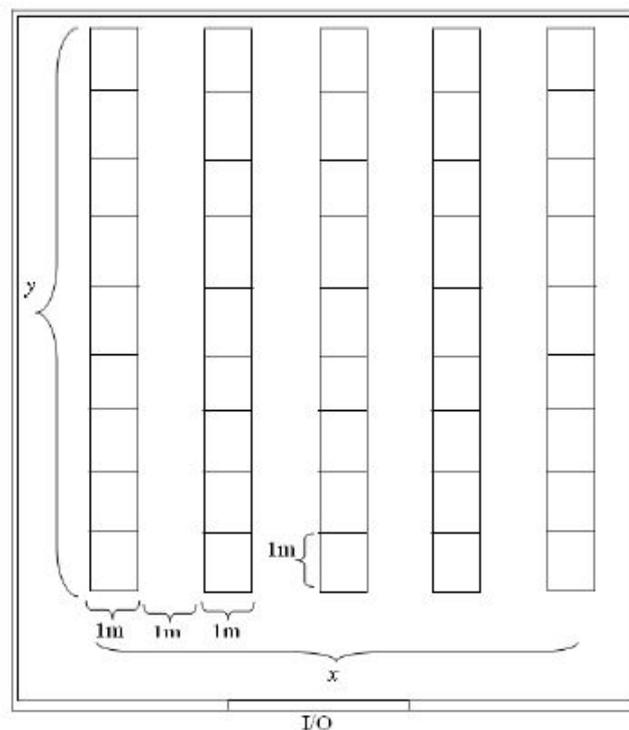
A localização dos itens deve seguir a ordenação crescente do índice, respeitando a restrição

de agregação, que estabelece que as agregações somente são permitidas para produtos na sequência do índice. Os itens que apresentam maior movimentação, são armazenados necessariamente próximos a I/O . Cada local de armazenamento é uniformemente utilizado e os locais atribuídos são distribuídos de forma homogênea no espaço alocado para a classe. Este pressuposto implica que o centro geométrico da classe é o mesmo que o centro de carga, por isso alguns parâmetros utilizados são mensurados em unidades de carga.

Os pedidos dos clientes são realizados semanalmente, totalizando um mês de análise, o que equivale a quatro semanas. Não ocorrem reposições de produtos durante o período, apenas ao final. Além disso, é considerado que sempre há quantidades estocadas suficientes para atender a demanda em todos os períodos. O *picker* sempre inicia o processo de coleta no ponto I/O , então as distâncias e tempos de *picking* representam a ida até o produto e a volta ao ponto de origem.

Então, dado um produto P , que ocupa um espaço I_p^t para T períodos, cuja demanda é D_p , o armazém simulado é retangular, dividido em células de 1,0 x 1,0 metros, com cinco colunas, no sentido de x , como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Layout da área de estocagem do armazém.



Fonte: Chew e Tang (1999)

A seguir, é apresentada uma breve descrição de como a heurística promove a agregação dos produtos em classes:

Passo 1: Calcular os índices COI , CIC e $COIC$;

Passo 2: Ordenar os índices em ordem crescente dos seus valores;

Passo 3: Calcular todas as possibilidades de agregação dos produtos em classes;

- Um exemplo para contextualizar a agregação é apresentado: considere três produtos, P1, P2 e P3, como mostra a Tabela 3. Foi calculado o índice COI e posteriormente ordenado em ordem crescente, resultando na seguinte sequência: P3 - P2 - P1.

Tabela 1 – Exemplo para contextualizar a agregação de produtos.

| I_p^t | T1 | T2 | T3 | T4 | $MAX[I_p^t]$ | Demanda | COI | Ordem |
|-----------|----|----|----|----|--------------|---------|-------|-------|
| P1 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 1 | 3 |
| P2 | 25 | 30 | 20 | 25 | 30 | 35 | 0.857 | 2 |
| P3 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 25 | 0.4 | 1 |

- Diante desse resultado, as agregações permitidas são mostradas na Tabela 2:

Tabela 2 – Exemplo de possibilidades de agregação de produtos.

| Classes | Agregações |
|---------|------------|
| 1 | P3 - P2 |
| 2 | P1 |
| 1 | P3 |
| 2 | P2 - P1 |

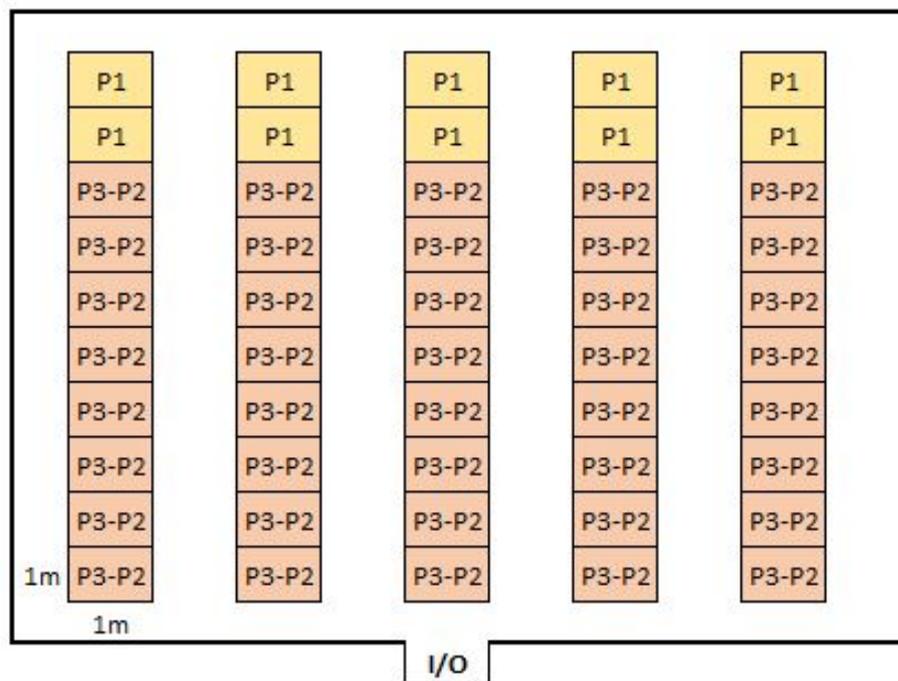
- Nesse contexto, P3 e P1 jamais poderão ser agregados em uma mesma classe, pois os produtos não estão na sequência crescente dos valores de seus índices.
- Essa agregação equivale a restrição 2.6, apresentada no referencial teórico estabelecidas por Muppani e Adil (2008b).

Passo 4: Aplicar a economia de espaço nos casos em que for possível;

- Considerando o exemplo anterior, a Tabela 3 representa P1, P2 e P3 antes da agregação. Nesse contexto os produtos estão localizados em um armazém retangular, dividido em células de 1,0 x 1,0 metros, ou seja, $F_p = 1$, e um *layout* composto por 5 colunas e 10 linhas.
- As agregações de produtos que não aplicam a economia de espaço, realizam a comparação de qual foi o maior espaço utilizado entre os períodos por cada produto e somam os maiores valores obtidos, mesmo que sejam de períodos diferentes. Utilizando a primeira proposta

de agregação, nesse caso para o produto P2 o maior espaço utilizado foi 30m no segundo período, e 10m no quarto período para o produto P3. Logo, o espaço máximo considerado é a soma desses dois valores, então o espaço máximo resultante da agregação de P3 e P2 equivale a $MAX[I_p^t] = 40$. Como o número de linhas ocupadas por produto no armazém é calculado por $MAX[I_p^t]$ dividido pelo número de colunas do armazém, que para o exemplo em questão é 5, obtemos a disposição dos itens no *layout* mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Alocação dos itens no armazém sem economia de espaço.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

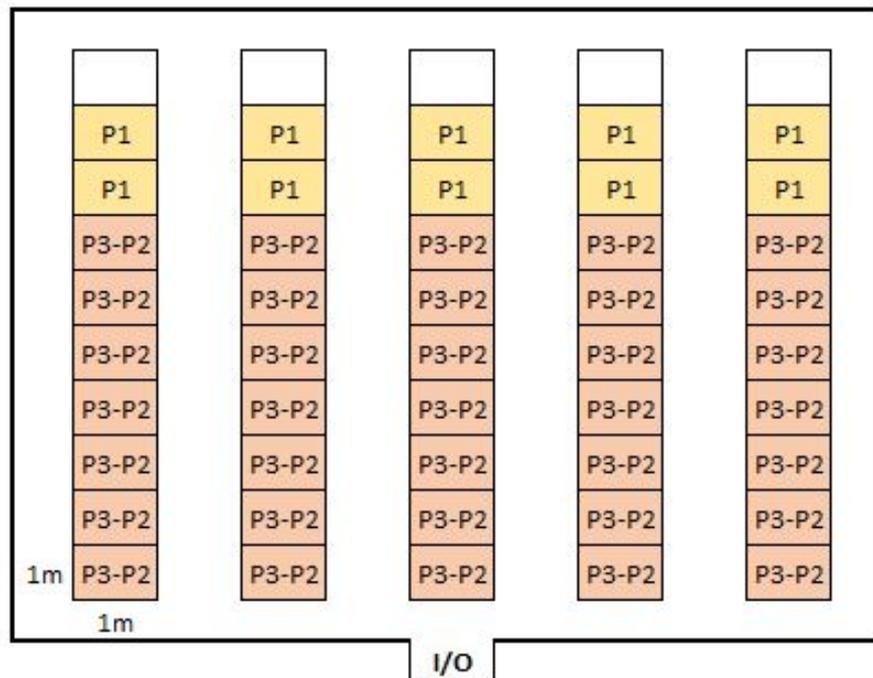
- Já a agregação de produtos com economia de espaço, soma os espaços utilizados pelos produtos período a período e posteriormente analisa qual o maior valor resultante, que será considerado como $MAX[I_p^t]$ dos produtos agregados.

Tabela 3 – Exemplo do cálculo de agregação de produtos com economia de espaço.

| I_p^t | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-------------|----|----|----|----|
| P2 | 25 | 30 | 20 | 25 |
| P3 | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Soma | 30 | 35 | 25 | 35 |

- Fica evidente que o maior valor de I_p^t é 35. Ao dividir esse valor pelas 5 colunas, obtemos 7 linhas, que é a quantidade utilizada para alocação dos produtos P3 e P2 agregados, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Alocação dos itens no armazém com economia de espaço.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

- Comparando as Figuras 3 e 4, podemos observar que na agregação sem economia de espaço, os produtos agregados P3 e P2 necessitaram de oito linhas para serem acomodados no estoque, que somada as duas linhas necessárias para armazenar o produto P1, culminaram na utilização de todo o espaço disponível no armazém. No contexto da agregação com economia de espaço, foram necessárias sete linhas para dispor os produtos agregados P3 e P2, que somadas as duas linhas utilizadas por P1 resultam na utilização de nove linhas no armazém, ou seja, apenas 90% do armazém foi utilizado, promovendo assim a economia de espaço almejada, impactando diretamente nos custos de espaço e de movimentação.
- O melhor aproveitamento do espaço vertical é um benefício notório, pois contribui para o aumento da capacidade de estocagem explorando melhor sua potencialidade de armazenagem sem a necessidade de aumentar nenhum metro quadrado da planta. Aumento esse que iria implicar, além da busca por mais espaço físico, a majoração de gastos com pessoal e valores diretos e indiretos dedicados à manutenção. Além de oferecer uma oportunidade de ampliação do negócio com, proporcionalmente, muito menos investimento. Visto que não seria necessário alugar ou construir novos espaços.

Passo 5: Atualizar os valores de $MAX[I_p^t]$, D_p e dos índices após a agregação dos produtos considerando a economia de espaço;

Passo 6: Calcular o espaço total utilizado na agregação (E);

- O espaço total utilizado consiste no somatório de todos os espaços máximos utilizados pelos produtos:

$$E = \sum_p MAX[I_p^t] \quad (3.1)$$

Passo 7: Atribuir um local a cada classe de produtos agregados e não agregados, baseado nos valores dos índices, seguindo a sequência lógica de que os produtos que apresentam menores valores dos índices são colocados nos primeiros locais (mais próximos a I/O) e assim sucessivamente;

Passo 8: Calcular a distância média (D_m) percorrida para coletar o produto;

- Para o primeiro produto a ser armazenado a fórmula da distância média deve ser calculada através da divisão entre o valor máximo de espaço utilizado por produto por período e o número de colunas do *layout* multiplicado pelo valor 2.

$$D_m[p] = \frac{MAX[I_p^t]}{2 * colunas} \quad (3.2)$$

- Calculada a distância média do primeiro produto, as demais distâncias são calculadas através da fórmula:

$$D_m[p] = \frac{MAX[I_p^t] + MAX[I_{p-1}^t]}{2 * colunas} + D_m[p - 1] \quad (3.3)$$

- Essa distância serve para demonstrar qual o percurso executado para a coletar os produtos e auxilia na visualização da economia de espaço.

Passo 9: Calcular a distância total (D_t) percorrida para coletar o produto;

- A distância total percorrida para coleta de um produto é a relação entre a distância média calculada anteriormente e a demanda pelo produto, relacionando assim o número de viagens para coletar os mesmos, como pode ser visto através da fórmula:

$$D_t[p] = D_m[p] * D[p] \quad (3.4)$$

Passo 10: Calcular a distância de *order picking* (OP) percorrida para coletar o produto agregado;

- A distância de *order picking* consiste em condensar todas as distâncias percorridas através da fórmula:

$$OP = \sum_p D_t[p] \quad (3.5)$$

Passo 11: Calcular a média entre E e OP , para estabelecer qual agregação forneceu melhor política.

Ao final da execução, os valores obtidos no cálculo da média por política para cada índice, são referentes a política ótima de atribuição de locais aos itens em armazéns, logo, aquela que oferecer menor média em cada índice representa a melhor estratégia de agregação a ser adotada.

3.3 Validação da Heurística

Para ilustrar o funcionamento da heurística, serão explicados os resultados obtidos no Cenário 1. As informações utilizadas foram baseados no trabalho de [Fontana e Cavalcante \(2013\)](#), levando em consideração um *layout* 5m x 17m. Este cenário é composto pelos dados referentes ao espaço requerido por cada produto por período (m^2), pela demanda (unidades) e pelo número de clientes que demandam cada produto como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados do Cenário 1.

| I_p^t | T1 | T2 | T3 | T4 | Demanda | Clientes |
|-----------|----|----|----|----|---------|----------|
| P1 | 35 | 30 | 30 | 30 | 5 | 5 |
| P2 | 25 | 30 | 30 | 25 | 35 | 1 |
| P3 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 |
| P4 | 5 | 5 | 5 | 10 | 25 | 1 |

Efetuada o primeiro passo da heurística, obtemos o resultado da Tabela 5:

Tabela 5 – Resultado do cálculo dos índices para o Cenário 1.

| COI | CIC | COIC |
|----------|-----|----------|
| 7 | 7 | 1.4 |
| 0.857143 | 30 | 0.857143 |
| 1 | 1 | 0.1 |
| 0.4 | 10 | 0.4 |

Em seguida esses índices são ordenados em ordem crescente de seus valores, como mostra a Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Ordenação dos produtos pelos índices para o Cenário 1.

| COI | CIC | COIC |
|-----|-----|------|
| P4 | P3 | P3 |
| P2 | P1 | P4 |
| P3 | P4 | P2 |
| P1 | P2 | P1 |

De posse da ordenação dos índices, temos informação suficiente para saber quais produtos podem ser agregados ou não. Então, são formuladas todas as possibilidades de agregação respeitando a restrição mencionada anteriormente. Portanto, os produtos na sequência dos índices podem ser agregados, e aqueles que não estão na sequência farão parte de outra classe.

Os valores de espaço máximo requerido e demanda foram atualizados, pois agora eles são referentes aos produtos agregados. Em seguida são calculadas as linhas necessárias para armazenar os produtos das classes. As linhas dizem respeito ao espaço do armazém no sentido y do *layout* e são utilizadas para os cálculos das distâncias. Como os produtos são pegos um por vez, o *picker* sai da I/O, segue pela coluna até a posição do produto e retorna a posição inicial. Isso faz com que não haja deslocamento significativo em x , além disso, com esse *layout* o deslocamento em x é o mesmo para os três índices, portanto não são considerados.

A Tabela 7 apresenta todos os elementos mencionados anteriormente para as agregações realizadas a partir do índice COI:

Tabela 7 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COI para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|-------|
| 1 | P4 - P2 | 35 | 60 | 7 | 3.5 | 210 |
| 2 | P3 - P1 | 45 | 15 | 9 | 11.5 | 172.5 |
| 1 | P4 - P2 | 35 | 60 | 6 | 3.5 | 210 |
| 2 | P3 | 10 | 10 | 2 | 8 | 80 |
| 3 | P1 | 35 | 5 | 7 | 12.5 | 62.5 |
| 1 | P4 | 10 | 25 | 2 | 1 | 25 |
| 2 | P2 - P3 | 40 | 45 | 8 | 6 | 270 |
| 3 | P1 | 35 | 5 | 7 | 13.5 | 67.5 |
| 1 | P4 | 10 | 25 | 2 | 1 | 25 |
| 2 | P2 | 30 | 35 | 6 | 5 | 175 |
| 3 | P3 - P1 | 45 | 15 | 9 | 12.5 | 187.5 |
| 1 | P4 - P2 - P3 | 45 | 70 | 9 | 4.5 | 315 |
| 2 | P1 | 35 | 5 | 7 | 12.5 | 62.5 |
| 1 | P4 | 10 | 25 | 2 | 1 | 25 |
| 2 | P3 - P2 - P1 | 70 | 50 | 14 | 9 | 450 |
| 1 | P4 - P3 - P2 - P1 | 75 | 75 | 15 | 7.5 | 562.5 |

Na Tabela 8 são apresentados os espaços totais utilizados (m^2), a distância total de *order*

picking (m) e a média entre esses dois valores. Fica evidente que a agregação dos produtos em três classes, onde a primeira classe contém os produtos P4 e P2, a segunda classe o produto P3 e a terceira classe o produto P1, apresenta o menor valor para média, sendo 216,25. Isso implica em uma menor utilização de espaços, de locomoção, e conseqüentemente menores custos, portanto essa é a melhor política a ser adotada para o índice COI.

Tabela 8 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice COI para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|----------------|-------------------|----------|-----------|--------------|
| 1 | P4 - P2 | 80 | 382.5 | 231.25 |
| 2 | P3 - P1 | | | |
| 1 | P4 - P2 | 80 | 352.5 | 216.25 |
| 2 | P3 | | | |
| 3 | P1 | | | |
| 1 | P4 | 85 | 362.5 | 223.75 |
| 2 | P2 - P3 | | | |
| 3 | P1 | | | |
| 1 | P4 | 85 | 387.5 | 236.25 |
| 2 | P2 | | | |
| 3 | P3 - P1 | | | |
| 1 | P4 - P2 - P3 | 80 | 377.5 | 288.75 |
| 2 | P1 | | | |
| 1 | P4 | 80 | 475 | 277.5 |
| 2 | P3 - P2 - P1 | | | |
| 1 | P4 - P3 - P2 - P1 | 75 | 562.5 | 318.75 |

Os mesmos cálculos e premissas se aplicam para os outros índices, logo podemos observar as agregações propostas pelo índice CIC e os valores obtidos na Tabela 9:

Tabela 9 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice CIC para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|-------|
| 1 | P3 - P1 | 45 | 15 | 9 | 4.5 | 67.5 |
| 2 | P4 - P2 | 35 | 60 | 7 | 12.5 | 750 |
| 1 | P3 - P1 | 45 | 15 | 9 | 4.5 | 67.5 |
| 2 | P4 | 10 | 25 | 2 | 10 | 250 |
| 3 | P2 | 30 | 35 | 6 | 14 | 490 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P1 - P4 | 40 | 30 | 8 | 6 | 180 |
| 3 | P2 | 30 | 35 | 6 | 13 | 455 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P1 | 35 | 5 | 7 | 5.5 | 27.5 |
| 3 | P4 - P2 | 35 | 60 | 7 | 12.5 | 750 |
| 1 | P3 - P1 - P4 | 50 | 55 | 10 | 5 | 275 |
| 2 | P2 | 30 | 35 | 6 | 13 | 455 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P1 - P4 - P2 | 65 | 65 | 13 | 8.5 | 552.5 |
| 1 | P3 - P1 - P4 - P2 | 75 | 75 | 15 | 7.5 | 562.5 |

No caso do índice CIC, a agregação dos produtos em duas classes forneceu um menor valor de média, sendo que a primeira classe é composta apenas pelo produto P3 e a segunda pela agregação dos produtos P1, P4 e P2. Então podemos ver a melhor política a ser adotada pelos dados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice CIC para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------|-------------------|----|-------|--------|
| 1 | P3 - P1 | 80 | 817.5 | 448.75 |
| 2 | P4 - P2 | | | |
| 1 | P3 - P1 | 85 | 807.5 | 446.25 |
| 2 | P4 | | | |
| 3 | P2 | | | |
| 1 | P3 | 80 | 645 | 362.5 |
| 2 | P1 - P4 | | | |
| 3 | P2 | | | |
| 1 | P3 | 80 | 787.5 | 433.75 |
| 2 | P1 | | | |
| 3 | P4 - P2 | | | |
| 1 | P3 - P1 - P4 | 80 | 730 | 405 |
| 2 | P2 | | | |
| 1 | P3 | 75 | 562.5 | 318.75 |
| 2 | P1 - P4 - P2 | | | |
| 1 | P3 - P1 - P4 - P2 | 75 | 562.5 | 318.75 |

Por fim, foram demonstrados os resultados obtidos pelo índice COIC na Tabela 11, abaixo:

Tabela 11 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COIC para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|----------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | P3 - P4 | 15 | 35 | 3 | 1.5 | 52.5 |
| 2 | P2 - P1 | 60 | 40 | 12 | 9 | 360 |
| 1 | P3 - P4 | 15 | 35 | 3 | 1.5 | 52.5 |
| 2 | P2 | 30 | 35 | 6 | 6 | 210 |
| 3 | P1 | 35 | 5 | 7 | 12.5 | 62.5 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P4 - P2 | 35 | 60 | 7 | 5.5 | 330 |
| 3 | P1 | 35 | 5 | 7 | 12.5 | 62.5 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P4 | 10 | 25 | 2 | 3 | 75 |
| 3 | P2 - P1 | 60 | 40 | 12 | 10 | 400 |
| 1 | P3 - P4 - P2 | 45 | 70 | 9 | 4.5 | 315 |
| 2 | P1 | 35 | 5 | 7 | 12.5 | 62.5 |
| 1 | P3 | 10 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| 2 | P4 - P2 - P1 | 65 | 65 | 13 | 8.5 | 552.5 |
| 1 | P3 - P4 - P2 - P1 | 75 | 75 | 15 | 7.5 | 562.5 |

Pelos resultados obtidos com a agregação dos produtos aplicando a economia de escala, fica evidente que para o índice COIC, a melhor política se baseou na utilização de três classes, onde os produtos P3 e P4 pertencem a primeira classe, P2 a segunda e P1 a terceira classe, obtendo uma média de 202,5 como podemos observar pela Tabela 12.

Tabela 12 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice COIC para o Cenário 1.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------|-------------------|----|-------|--------|
| 1 | P3 - P4 | 75 | 412.5 | 243.75 |
| 2 | P2 - P1 | | | |
| 1 | P3 - P4 | 80 | 325 | 202.5 |
| 2 | P2 | | | |
| 3 | P1 | | | |
| 1 | P3 | 80 | 402.5 | 241.25 |
| 2 | P4 - P2 | | | |
| 3 | P1 | | | |
| 1 | P3 | 80 | 485 | 282.5 |
| 2 | P4 | | | |
| 3 | P2 - P1 | | | |
| 1 | P3 - P4 - P2 | 80 | 377.5 | 228.75 |
| 2 | P1 | | | |
| 1 | P3 | 75 | 562.5 | 318.75 |
| 2 | P4 - P2 - P1 | | | |
| 1 | P3 - P4 - P2 - P1 | 75 | 562.5 | 318.75 |

No Apêndice A, foram demonstrados os resultados obtidos para execução da heurística para outro cenário, com valores maiores e mais próximos da realidade de um armazém na prática. Para obtenção dos valores iniciais utilizados, foi considerado que o número de clientes é distribuído dentro de uma faixa que varia de 1 a 45 clientes. A demanda é a média dos quatro períodos, e oscila dentro de uma faixa de valores que vai de 45 a 1280 unidades.

Vale ressaltar que a heurística proposta é capaz de calcular a política ótima de atribuição de locais aos itens no armazém, através da agregação de produtos em classes, desde que o número de produtos seja menor ou igual a quatro, pois só instâncias desse porte tiveram a metodologia divulgada nos trabalhos utilizados como referência. Além disso, esses resultados comprovam a equivalência entre o método proposto e o trabalho de Fontana e Cavalcante (2013), porém de forma muito mais simples e sem acessar vizinhos cuja solução é inviável na prática.

4 Resultados Computacionais

4.1 Detalhes da Implementação

A heurística foi implementada através do *software AMPL* e a simulação foi realizada utilizando o *software Arena*. As análises estatísticas foram desenvolvidas a partir dos resultados obtidos pela simulação e cálculos realizados através de planilhas do *Excel*. Todos os testes foram realizados através do sistema *Windows 10*, no computador *Intel^R CoreTM i3-6006U*, CPU 2.00GHz, RAM 4,00GB, sistema operacional de 64 bits e processador baseado em x64.

4.2 Simulação

Para consolidar a melhor política de estocagem apontada pela heurística, foi simulada a agregação dos produtos em três classes propostas pelo índice COIC, onde os produtos P3 e P4 pertencem a primeira classe, o produto P2 a classe dois e P1 a classe três. As demandas pelos produtos são 35, 35 e 5 unidades, o número de linhas que cada produto ocupa são 3, 6 e 7 respectivamente. A probabilidade do picker coletar os produtos agregados P3 e P4 na vez em que ele vai ao estoque é de 33,33%, para o produto P2 é 16,7% e para o produto P1 é 14,3%. A simulação foi feita considerando o mesmo layout utilizado na heurística, 5m x 17m.

Diferente da heurística, na simulação foram levados em consideração características como horas trabalhadas, distâncias dos locais de armazenamento e custos de operação. Foram consideradas oito horas de trabalho por dia, os valores propostos por [Muppani e Adil \(2008b\)](#), de R\$1,50/m² para espaço utilizado e R\$0,0025/m por distância de *picking* percorrido para todos os produtos e a velocidade foi estabelecida em 1m/s.

O Apêndice B apresenta o modelo computacional utilizado, na Figura 5 temos a representação da simulação do cenário de coleta dos quatro produtos. A Figura 6 mostra a lógica utilizada para simular a coleta dos produtos agregados P3 e P4, juntos eles apresentam uma demanda de 35 e ocupam apenas três linhas no armazém. Na Figura 7, podemos observar a mesma lógica porém utilizada para o produto P2, que apresenta uma demanda de 35 unidades e ocupa seis linhas, e a Figura 8 mostrando a lógica utilizada para coleta do produto P1 que demanda 5 unidades e ocupa 7 linhas.

As distâncias de cada local de armazenamento até a I/O, são representadas por d_l , em que l se refere aos locais, que vão de 1 à 17, e o comprimento total do armazém é de 34 metros. Os valores utilizados para distâncias dos locais foram apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Distâncias dos locais no armazém.

| Distâncias | Valor em metros |
|-------------------|------------------------|
| d_1 | 2 |
| d_2 | 4 |
| d_3 | 6 |
| d_4 | 8 |
| d_5 | 10 |
| d_6 | 12 |
| d_7 | 14 |
| d_8 | 16 |
| d_9 | 18 |
| d_{10} | 20 |
| d_{11} | 22 |
| d_{12} | 24 |
| d_{13} | 26 |
| d_{14} | 28 |
| d_{15} | 30 |
| d_{16} | 32 |
| d_{17} | 34 |

Foi simulada a coleta de todos os produtos de uma carta de pedidos que demandava pelos quatro produtos através de um contador, obtendo como saída 75 unidades de produtos coletados, ou seja, todos os produtos da carta de pedidos foram recolhidos. A distância total percorrida para fazer todas as coletas foi de 744 metros, durando 12 minutos e culminando em um custo de R\$2,00. Como essa configuração dos produtos não ocupa todos os locais do armazém, apenas 32 metros, o custo de utilização do espaço foi de R\$48,00. Então o custo total para coleta dos 75 produtos da carta de pedidos foi R\$50,00.

4.3 Resultados e Análise

Seguindo a análise dos índices com base em [Muppani e Adil \(2008b\)](#), a melhor política a ser adotada é aquela cuja alocação dos itens resultar no menor custo total de armazenagem. Como o custo total é composto pelos custos de espaço e *picking*, quanto menor o valor da média, menor será os custos da política em questão e consequentemente, esse será o melhor cenário.

As melhores políticas resultantes da agregação em classes, obtidas através dos índices calculados na Seção 3.2 foram sintetizadas na Tabela 14, onde é notório que o índice COIC apresentou a melhor política de todas, pois apresentou maior economia de espaço e deslocamento, resultando na menor média.

Tabela 14 – Melhores resultados obtidos por índice para o Cenário 1.

| Índice | Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------------|----------------|-------------------|----------|-----------|--------------|
| COI | 1 | P4 - P2 | 80 | 352.5 | 216.25 |
| | 2 | P3 | | | |
| | 3 | P1 | | | |
| CIC | 1 | P3 | 75 | 562.5 | 318.75 |
| | 2 | P1 - P4 - P2 | | | |
| CIC | 1 | P3 - P1 - P4 - P2 | 75 | 562.5 | 318.75 |
| COIC | 1 | P3 - P4 | 80 | 325 | 202.5 |
| | 2 | P2 | | | |
| | 3 | P1 | | | |

É perceptível que o valor obtido para distância total percorrida pela simulação se diferiu do valor da heurística. Isso se deu pelo fato das distâncias reais dos locais do armazém só terem sido utilizadas na simulação, uma vez que se aproxima mais de um cenário real e a heurística só leva em consideração as distâncias de coleta, resultando em aproximações para definir os melhores posicionamentos dos itens.

Para analisar estatisticamente os resultados obtidos, vamos considerar que o Caso 1 se refere ao cenário em que nenhum produto foi agregado; Caso 2 onde os produtos foram agregados dois a dois em duas classes; Caso 3 onde temos três classes, sendo que dois produtos foram agregados na primeira classe e os demais em outras classes diferentes; Caso 4 onde temos três classes, sendo que dois produtos foram agregados na classe do meio; Caso 5 onde também temos três classes, mas os dois produtos foram agregados na última; Caso 6 onde temos duas classes, sendo que os três primeiros produtos foram atribuídos a primeira; Caso 7 onde também temos duas classes, mas os três produtos agregados foram atribuídos a última e por fim o Caso 8 onde todos os produtos são atribuídos a mesma classe. Vale ressaltar que não necessariamente são os mesmos produtos sendo agregados para os diferentes índices, eles só seguem a mesma lógica de agregação, por isso foram separados em casos.

Como em todos os casos o número de clientes atendidos é o mesmo, os cálculos foram realizados considerando o Caso 1, onde nenhuma agregação foi realizada, como base de comparação. Então foram feitas comparações para cada variável (espaço, distância e custo) para cada caso de todos os índices em relação ao Caso 1. A primeira comparação foi em relação ao espaço utilizado, onde foi verificado o espaço utilizado sem agregação (Caso 1) e posteriormente foram analisados os valores para cada índice em cada caso, então se em qualquer um dos outros casos os valores encontrados foram menores, isso significa que houve economia de espaço pela agregação. A mesma ideia foi utilizada para medir a redução das distâncias e de custos.

Baseado nos resultados obtidos na Tabela 15, a menor utilização do espaço, isto é, a maior economia de espaço do armazém ocorreu em 100% dos casos de COIC, pois em todas as agregações houve redução do espaço utilizado, em seguida 85,71% pelo CIC e 71,43% pelo COI.

Tabela 15 – Resumo dos resultados do Cenário 1.

| Caso | Índice | Espaço (m^2) | Distância (m) | Custo Total |
|------|--------|------------------|---------------|-------------|
| 1 | COI | 85 | 357.5 | 128.39 |
| | CIC | 85 | 777.5 | 129.44 |
| | COIC | 85 | 397.5 | 128.49 |
| 2 | COI | 80 | 382.5 | 120.95 |
| | CIC | 80 | 817.5 | 122.04 |
| | COIC | 75 | 412.5 | 113.53 |
| 3 | COI | 80 | 352.5 | 120.88 |
| | CIC | 85 | 807.5 | 129.52 |
| | COIC | 80 | 325 | 120.81 |
| 4 | COI | 85 | 362.5 | 128.41 |
| | CIC | 80 | 645 | 121.61 |
| | COIC | 80 | 402.5 | 121,01 |
| 5 | COI | 85 | 387.5 | 128.47 |
| | CIC | 80 | 787.5 | 121.97 |
| | COIC | 80 | 485 | 121.21 |
| 6 | COI | 80 | 377.5 | 120.95 |
| | CIC | 80 | 730 | 121,82 |
| | COIC | 80 | 377.5 | 120.94 |
| 7 | COI | 80 | 475 | 121.19 |
| | CIC | 75 | 562.5 | 113.91 |
| | COIC | 75 | 562.5 | 113.91 |
| 8 | COI | 75 | 562.5 | 113.91 |
| | CIC | 75 | 562.5 | 113.91 |
| | COIC | 75 | 562.5 | 113.91 |

Enquanto a menor distância total percorrida foi atingida pelo CIC em 57,14% dos casos, 28,57% deles pelo COIC e apenas 14,28% pelo COI. Da mesma forma, o custo total foi menor em 100% dos cenários pelo COIC, 85,71% pelo CIC e 71,43% pelo COI.

A alocação ótima resultante de cada índice também serve para medir o nível de serviço oferecido aos clientes pelo armazém. O nível de serviço é medido pela porcentagem de priorização dos clientes, ou seja, a quantidade de clientes aos quais cada índice oferece menor tempo de atendimento total da ordem. Como a velocidade considerada é 1m/s os dados referentes a distância média percorrida em metros também representam o tempo gasto de *picking* em segundos.

Na Seção 3, foram apresentados os valores de distância média (D_m) para cada um dos índices em cada possibilidade de agregação de produtos em classes. Esses valores foram somados por agregação, resultando na Tabela 16 abaixo:

Tabela 16 – Resumo dos Tempos de *Picking* (em segundos) para cada caso do Cenário 1.

| Caso | COI | CIC | COIC |
|-------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 28.5 | 17 | 24,5 |
| 2 | 15 | 17 | 10,5 |
| 3 | 24 | 28.5 | 20 |
| 4 | 20.5 | 20 | 19 |
| 5 | 18.5 | 19 | 13 |
| 6 | 17 | 18 | 17 |
| 7 | 18 | 9.5 | 9,5 |
| 8 | 7.5 | 7.5 | 7,5 |

Em cada um dos casos foi comparado qual índice forneceu o menor tempo, resultando no índice COIC oferecendo menor tempo para concretização das ordens dos clientes em 85,71% dos casos; em 28,57% deles é o CIC que oferece; e em apenas 14,28% dos casos esse menor tempo de concretização da ordem é oferecido pelo COI. Isso mostra que ao se considerar o número de clientes que demandam cada produto, há uma maior informação sobre os clientes e, assim a alocação se torna mais eficiente em termos de rapidez no atendimento das demandas.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusão

Os trabalhos de Muppani e Adil (2008b) e Fontana e Cavalcante (2013) chamam atenção para a importância da alocação de itens em armazéns como forma de minimizar os custos de alocação de espaço e *order picking*. Também discutem a utilização de diferentes índices para formação de classes, possibilitando a utilização do espaço total de armazenagem. No entanto, esses trabalhos constroem um algoritmo complexo para resolver o problema e que em alguns casos testados não se mostra tão eficiente quanto. Assim, torna-se interessante propor um método equivalente, mais simples e que explore apenas vizinhanças viáveis na busca de uma melhor solução para o problema.

Diante do que foi exposto, também fica evidente a relevância da agregação de produtos em classes, uma vez que para se obter o fluxo logístico perfeito precisa-se de uma otimização do espaço, da movimentação adequada dentro do armazém e do volume de saída dos itens. Isso significa que um bom ambiente no armazém tende a gerar mais flexibilidade e menos custos ou tempo envolvido nas operações.

A alocação dada pelo COI busca minimização dos custos de *picking* em comando único com base na dimensão do espaço requerido, já o CIC busca coletar os produtos com maior número de clientes à frente, e o COIC balanceia estas duas características.

Quando o objetivo é melhorar o nível de prestação de serviço, deve-se levar em consideração o tempo gasto nas atividades de armazenagem, pois elas estão diretamente relacionadas ao tempo gasto nas atividades de ciclo de pedido do cliente. Porém, a escolha do melhor cenário obtido pela agregação dos produtos pode variar de acordo com o objetivo que se pretende alcançar, pois a atribuição de produtos em classes envolve a utilização de espaços no armazém, as distâncias percorridas para realizar a coleta de um item, relacionam os custos envolvidos nessas operações entre outras características. Então, a escolha de um índice determinante da melhor política de alocação depende do cenário em que o armazém está inserido.

No mercado globalizado atual, tratar de assuntos que impactam diretamente no melhor aproveitamento do espaço, na capacidade de aumentar a área de estocagem sem ter que realizar altos investimentos ou na economia de investimentos em expansão, na redução dos custos, maior velocidade nas operações, maior eficiência na armazenagem e melhor relação entre investimento e retorno, podem se tornar um diferencial para as organizações.

Além disso, são notórias as contribuições desse trabalho, pois o mesmo apresentou uma explicação detalhada do funcionamento da agregação de produtos em classes e da aplicação da economia de espaço realizada durante a agregação. Outro aspecto positivo, foi a explicação

dos cálculos estatísticos para estabelecer comparações entre os índices estudados, fornecendo uma análise mais palpável dos resultados em relação a taxa de utilização do armazém, das distâncias percorridas, dos custos totais dispendidos para implementação do modelo em questão e da porcentagem de priorização de cada índice para os clientes, que reflete diretamente no nível de serviço prestado.

5.2 Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, seria a criação de instâncias para testes com mais de quatro produtos, pois estes dados ainda não estão disponíveis na literatura. Testar a heurística proposta e comparar seu desempenho computacional na agregação de produtos em alocação de classes, pois tais instâncias seriam consideradas de grande porte.

Outras propostas incluem a coleta de mais de um pedido por vez, testando-se diferentes capacidades para os equipamentos de *order picking*. Também seria interessante estender o trabalho para políticas de *order picking* multiproduto, ou seja, considerando que em cada *picking* diferentes produtos podem ser coletados. Dentro dessa linha de pesquisa, também é interessante testar diferentes estratégias em relação a consolidação dos pedidos dos clientes.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10520: Informação e documentação - apresentação de citações em documentos*. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.
- BARROS, M. C. d. Warehouse management system (wms): conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição. *Rio de Janeiro: PUC-Rio*, 2005. 1, 2
- BARTHOLDI, J. J.; HACKMAN, S. T. *Warehouse and distribution science*. [S.l.]: Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems ... , 2008. 10
- BIDGOLI, H. *The handbook of technology management, supply chain management, marketing and advertising, and global management*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. v. 2. 1
- BRYNZÉR, H.; JOHANSSON, M. I. Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 46, p. 595–603, 1996. 8
- CHEN, M.-C. et al. Aggregation of orders in distribution centers using data mining. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 28, n. 3, p. 453–460, 2005. 9
- CHEW, E. P.; TANG, L. C. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 112, n. 3, p. 582–597, 1999. 9, 15
- CORDENONSI, A. Z. Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas. 2008. 3
- COSTA, D. Gerenciamento de armazéns e centros de distribuição através de softwares wms. *Revista Técnica IPEP*, v. 5, n. 1/2, p. 71–80, 2005. 6
- COSTA, F. J. L. *Introdução à administração de materiais em sistemas informatizados*. [S.l.]: Fábio Costa, 2002. 8
- DANIELS, R. L.; RUMMEL, J. L.; SCHANTZ, R. A model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 105, n. 1, p. 1–17, 1998. 9
- DEKKER, R. et al. Improving order-picking response time at ankor's warehouse. *Interfaces, INFORMS*, v. 34, n. 4, p. 303–313, 2004. 10
- FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. Índices baseados no número de clientes para localização de itens em armazéns. *Production, SciELO Brasil*, v. 23, n. 3, p. 561–569, 2013. 2, 14, 20, 25, 31
- GAPSKI, O. L. et al. Controle de nível de estoque no setor varejista com base no gerenciamento do inventário pelo fornecedor: aplicação do modelo no a. angeloni cia ltda e protector & gamble sa. Florianópolis, SC, 2003. 3
- GARCIA, E. et al. *Gestão de estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos*. [S.l.]: Editora E-papers, 2006. 9

- GASNIER, D.; BANZATO, E. Armazém inteligente. *Revista LOG, Movimentação e Armazenagem*. São Paulo, n. 128, 2001. 3
- GOETSCHALCKX, M.; ASHAYERI, J. *Characterization and design of order picking systems*. [S.l.]: Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology, 1989. 9
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 177, n. 1, p. 1–21, 2007. 7, 8, 10
- HESKETT, J. L. Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. *Transportation and distribution Management*, v. 3, n. 1, p. 27–31, 1963. 8
- JANE, C.-C.; LAIH, Y.-W. A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 166, n. 2, p. 489–496, 2005. 8, 9
- KOSTER, R. D.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 182, n. 2, p. 481–501, 2007. 6, 7, 10
- LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. *Fundamentals of logistics management*. [S.l.]: McGraw-Hill/Irwin, 1998. 5
- LE-DUC, T. *Design and control of efficient order picking processes*. [S.l.: s.n.], 2005. 1
- MORABITO, R. et al. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2018. 3
- MOURA, B. *Logística: conceitos e tendências*. [S.l.]: Centro Atlantico, 2006. 6
- MOURA, R. A. *Armazenagem e distribuição física*. [S.l.]: IMAM, 1997. 7
- MUPPANI, V. R.; ADIL, G. K. Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: a simulated annealing approach. *Omega*, Elsevier, v. 36, n. 4, p. 609–618, 2008. 3, 8, 9
- MUPPANI, V. R.; ADIL, G. K. A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 189, n. 2, p. 492–507, 2008b. 11, 14, 16, 26, 27, 31
- ROODBERGEN, K. J.; KOSTER, R. Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 39, n. 9, p. 1865–1883, 2001. 6
- ROUWENHORST, B. et al. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 122, n. 3, p. 515–533, 2000. 8
- SANTOS, I. M. dos; SILVA, R. C. R.; LIMA, T. P. Localização e endereçamento de mercadorias no ponto de estocagem: Uma proposta de melhoria para empresas comerciais. *Interfaces de Saberes*, v. 8, n. 1, 2008. 1, 6, 7
- TOMPKINS, J. et al. Facilities planning, 1996. Available from Internet: <http://web.ebscohost.com/ehost/detail>, 1996. 6

TOMPKINS, J. A.; WHITE, B.; BOZER, E. Ya, and tanchoco. *JMA*, 2003. 1

TOMPKINS, J. A. et al. *Facilities planning*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003. 5, 10

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. *Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade*. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012. 3

YOON, C. S.; SHARP, G. P. Example application of the cognitive design procedure for an order pick system: case study. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 87, n. 2, p. 223–246, 1995. 10

Apêndices

APÊNDICE A – Cenário 2

Tabela 17 – Dados do Cenário 2.

| I_p^t | T1 | T2 | T3 | T4 | Demanda | Clientes |
|-----------|------|------|------|------|---------|----------|
| P1 | 688 | 548 | 1411 | 127 | 462 | 20 |
| P2 | 711 | 297 | 1232 | 1160 | 916 | 6 |
| P3 | 656 | 1131 | 569 | 1180 | 411 | 411 |
| P4 | 1005 | 879 | 86 | 10 | 739 | 739 |

Tabela 18 – Resultado do cálculo dos índices para o Cenário 2.

| COI | CIC | COIC |
|---------|---------|-----------|
| 2.17532 | 50.25 | 0.108766 |
| 1.23472 | 188.5 | 0.205786 |
| 3.43309 | 31.3556 | 0.0762909 |
| 1.59675 | 28.0952 | 0.0380179 |

Tabela 19 – Ordenação dos produtos pelos índices para o Cenário 2.

| COI | CIC | COIC |
|-----|-----|------|
| P2 | P4 | P4 |
| P4 | P3 | P3 |
| P1 | P1 | P1 |
| P3 | P2 | P2 |

Tabela 20 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COI para o Cenário 2.

| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|--------|
| 1 | P2 - P4 | 2311 | 1655 | 462,2 | 231.1 | 382470 |
| 2 | P1 - P3 | 2099 | 873 | 419,8 | 672.1 | 586743 |
| 1 | P2 - P4 | 2311 | 1655 | 462,2 | 231.1 | 382470 |
| 2 | P1 | 1005 | 462 | 201 | 562.7 | 259967 |
| 3 | P2 | 1411 | 411 | 282,2 | 804.3 | 330567 |
| 1 | P2 | 1131 | 9160 | 226,2 | 113.1 | 103600 |
| 2 | P4 - P1 | 1871 | 1201 | 347,2 | 413.3 | 496373 |
| 3 | P3 | 1411 | 411 | 282,2 | 741.5 | 304756 |
| 1 | P2 | 1131 | 916 | 226,2 | 113.1 | 103600 |
| 2 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 344.2 | 254364 |
| 3 | P1 - P3 | 2099 | 873 | 419,8 | 672.1 | 586743 |
| 1 | P2 - P4 - P1 | 2967 | 2117 | 593,4 | 296.7 | 628114 |
| 2 | P3 | 1411 | 411 | 282,2 | 734.5 | 301880 |
| 1 | P2 | 1131 | 916 | 226,2 | 113.1 | 103600 |
| 2 | P4 - P1 - P3 | 3103 | 1612 | 620,6 | 536.5 | 864838 |
| 1 | P2 - P4 - P1 - P3 | 3536 | 2528 | 707,2 | 353.6 | 893901 |

Tabela 21 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice COI para o Cenário 2.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------|-------------------|------|--------|--------|
| 1 | P2 - P4 | 4410 | 969214 | 486812 |
| 2 | P1 - P3 | | | |
| 1 | P2 - P4 | 4727 | 973005 | 488866 |
| 2 | P1 | | | |
| 3 | P2 | | | |
| 1 | P2 | 4413 | 904729 | 454571 |
| 2 | P4 - P1 | | | |
| 3 | P3 | | | |
| 1 | P2 | 4410 | 944707 | 474558 |
| 2 | P4 | | | |
| 3 | P1 - P3 | | | |
| 1 | P2 - P4 - P1 | 4378 | 929993 | 467186 |
| 2 | P3 | | | |
| 1 | P2 | 4234 | 968438 | 486336 |
| 2 | P4 - P1 - P3 | | | |
| 1 | P2 - P4 - P1 - P3 | 3536 | 893901 | 448718 |

Tabela 22 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice CIC para o Cenário 2.

| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|--------|
| 1 | P4 - P3 | 2392 | 1150 | 478.4 | 239.2 | 275080 |
| 2 | P1 - P2 | 1884 | 1378 | 376.8 | 666.8 | 918850 |
| 1 | P4 - P3 | 2392 | 1150 | 478.4 | 239.2 | 275080 |
| 2 | P1 | 1005 | 462 | 201 | 578.9 | 267452 |
| 3 | P2 | 1131 | 916 | 226.2 | 792.5 | 725930 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 - P1 | 2099 | 873 | 419.8 | 445.9 | 389271 |
| 3 | P2 | 1131 | 916 | 226.2 | 768.9 | 704312 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 | 1411 | 411 | 282,2 | 377.1 | 154988 |
| 3 | P1 - P2 | 1884 | 1378 | 376,8 | 706.6 | 973695 |
| 1 | P4 - P4 - P1 | 3103 | 1789 | 620,6 | 310.3 | 555127 |
| 2 | P2 | 1131 | 916 | 226,2 | 733.7 | 672069 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 - P1 - P2 | 2647 | 1789 | 529,4 | 500.7 | 895752 |
| 1 | P4 - P3 - P1 - P2 | 3536 | 2528 | 707,2 | 353.6 | 893901 |

Tabela 23 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice CIC para o Cenário 2.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------|-------------------|------|---------|--------|
| 1 | P4 - P3 | 4276 | 1193930 | 599103 |
| 2 | P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 | 4528 | 1268460 | 636495 |
| 2 | P1 | | | |
| 3 | P2 | | | |
| 1 | P4 | 4410 | 1180790 | 592598 |
| 2 | P3 - P1 | | | |
| 3 | P3 | | | |
| 1 | P4 | 4475 | 1215880 | 610180 |
| 2 | P3 | | | |
| 3 | P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 - P1 | 4234 | 1227200 | 615715 |
| 2 | P2 | | | |
| 1 | P4 | 3827 | 982954 | 493391 |
| 2 | P3 - P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 - P1 - P2 | 3536 | 893901 | 448718 |

Tabela 24 – Resumo das classes agregadas e valores atualizados pelo índice COIC para o Cenário 2.

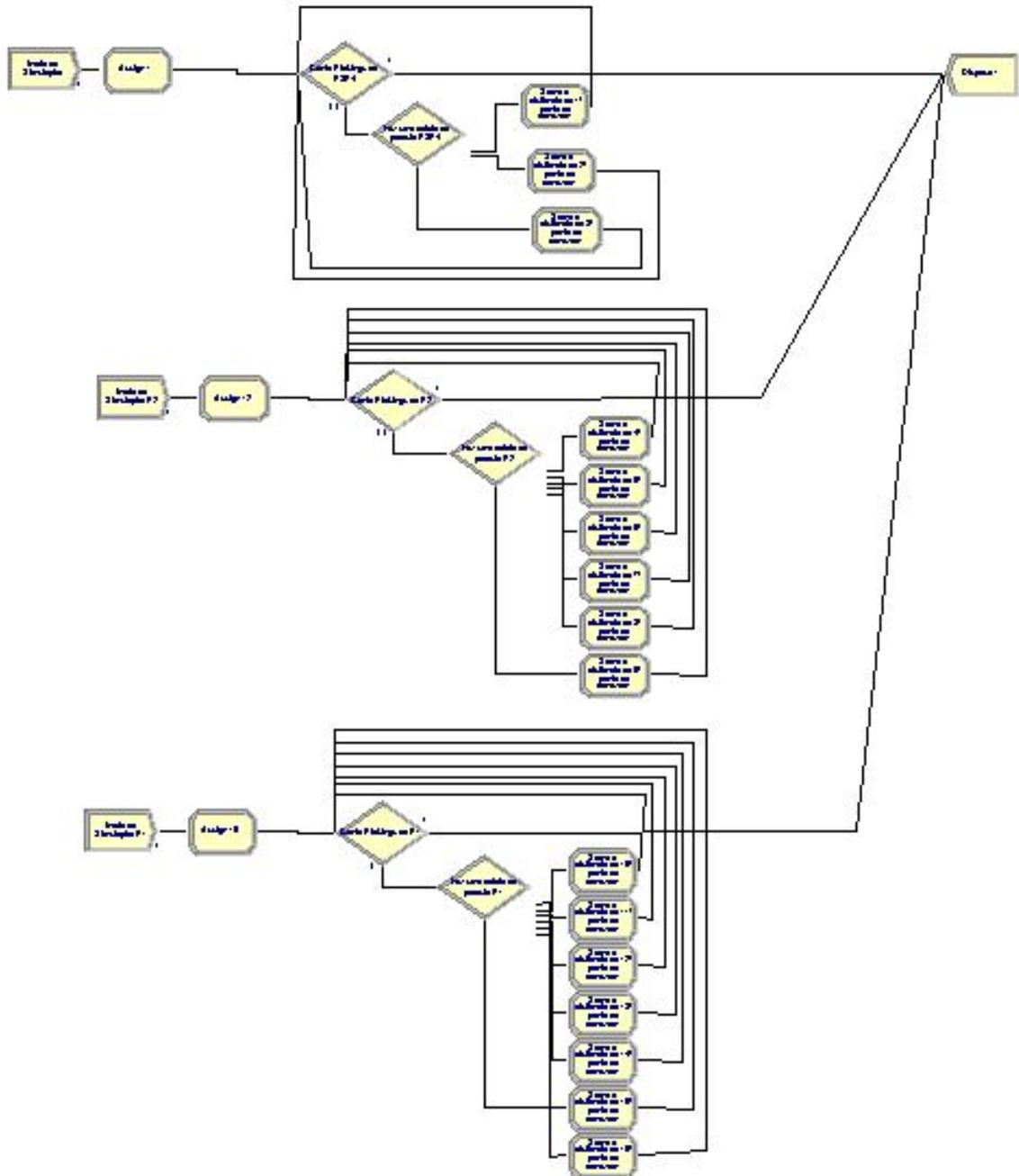
| Classes | Agregações | MAX I_p^t | D_p | Linhas | D_m | D_t |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------|-------|--------|
| 1 | P4 - P3 | 2392 | 1150 | 478.4 | 239.2 | 275080 |
| 2 | P1 - P2 | 1884 | 1378 | 376.8 | 666.8 | 918850 |
| 1 | P4 - P3 | 2392 | 1150 | 478.4 | 239.2 | 275080 |
| 2 | P1 | 1005 | 462 | 201 | 578.9 | 267452 |
| 3 | P2 | 1131 | 916 | 226.2 | 792.5 | 725930 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 - P1 | 2099 | 873 | 419.8 | 445.9 | 389271 |
| 3 | P2 | 1131 | 916 | 226.2 | 768.9 | 704312 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 | 1411 | 411 | 282.2 | 377.1 | 154988 |
| 3 | P1 - P2 | 1884 | 1378 | 376.8 | 706.6 | 973695 |
| 1 | P4 - P4 - P1 | 3103 | 1612 | 620.6 | 310.3 | 500204 |
| 2 | P2 | 1131 | 916 | 226.2 | 733.7 | 672069 |
| 1 | P4 | 1180 | 739 | 236 | 118 | 87202 |
| 2 | P3 - P1 - P2 | 2647 | 1789 | 529.4 | 500.7 | 895752 |
| 1 | P4 - P3 - P1 - P2 | 3536 | 2528 | 707.2 | 353.6 | 893901 |

Tabela 25 – Espaço Total e Distância Total de *Order Picking* por classe, calculados pelo índice COIC para o Cenário 2.

| Classes | Agregações | E | OP | Média |
|---------|-------------------|------|---------|--------|
| 1 | P4 - P3 | 4276 | 1193930 | 599103 |
| 2 | P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 | 4528 | 1268460 | 636495 |
| 2 | P1 | | | |
| 3 | P2 | | | |
| 1 | P4 | 4410 | 1180790 | 592598 |
| 2 | P3 - P1 | | | |
| 3 | P3 | | | |
| 1 | P4 | 4475 | 1215880 | 610180 |
| 2 | P3 | | | |
| 3 | P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 - P1 | 4234 | 1172270 | 588253 |
| 2 | P2 | | | |
| 1 | P4 | 3827 | 982954 | 493391 |
| 2 | P3 - P1 - P2 | | | |
| 1 | P4 - P3 - P1 - P2 | 3536 | 893901 | 448718 |

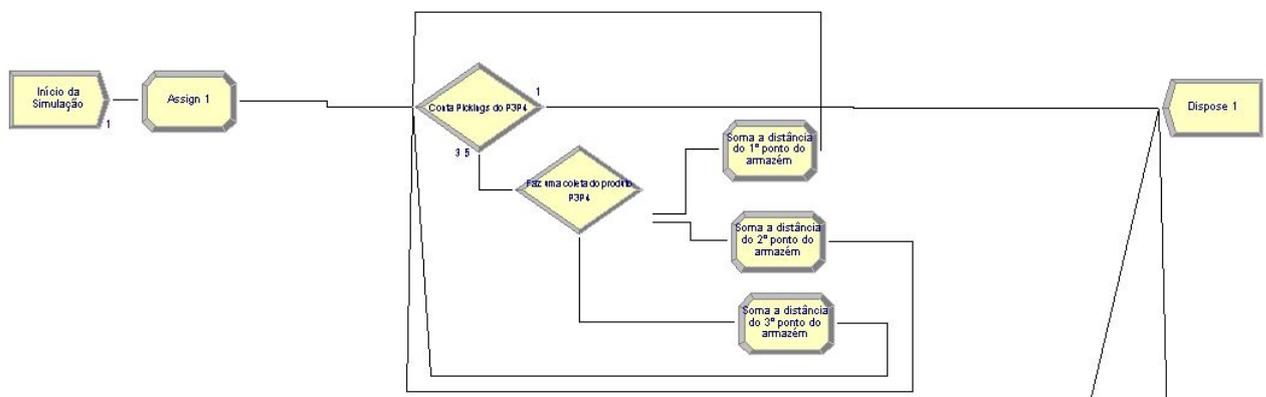
APÊNDICE B – Modelo Computacional

Figura 5 – Processo de recolha de itens no armazém para a melhor política obtida no cenário base.



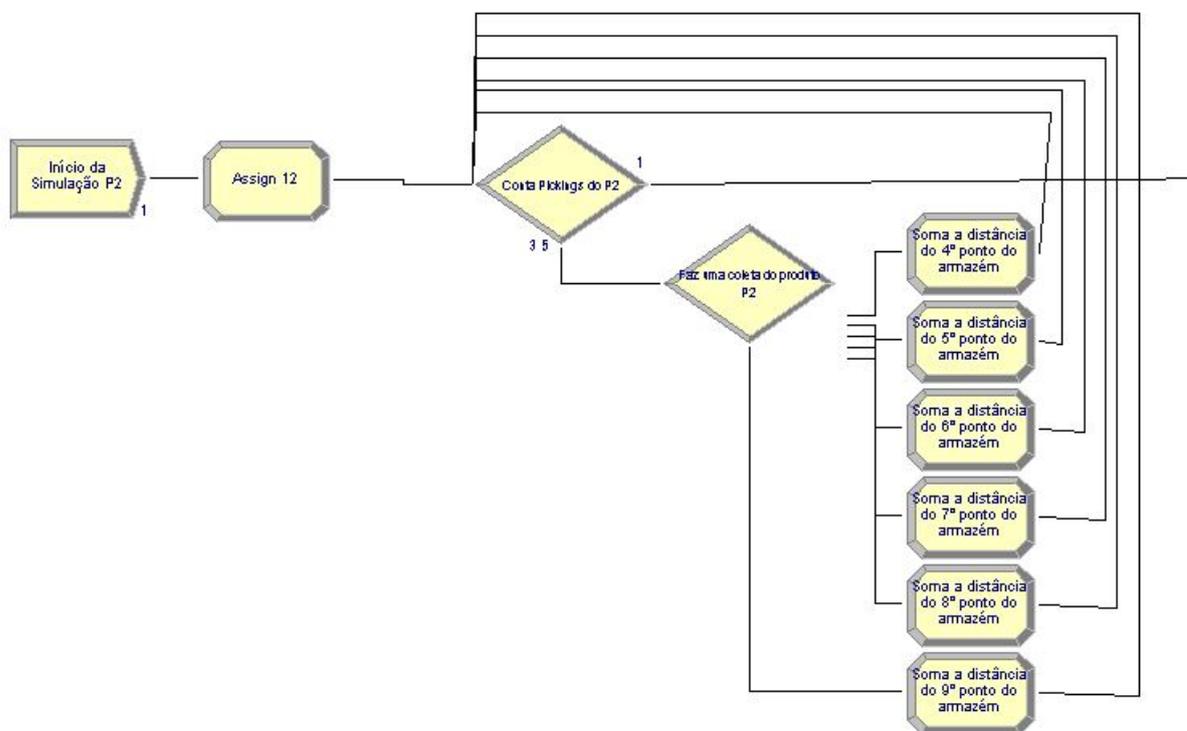
Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Figura 6 – Processo de recolha dos produtos agregados P3 e P4.



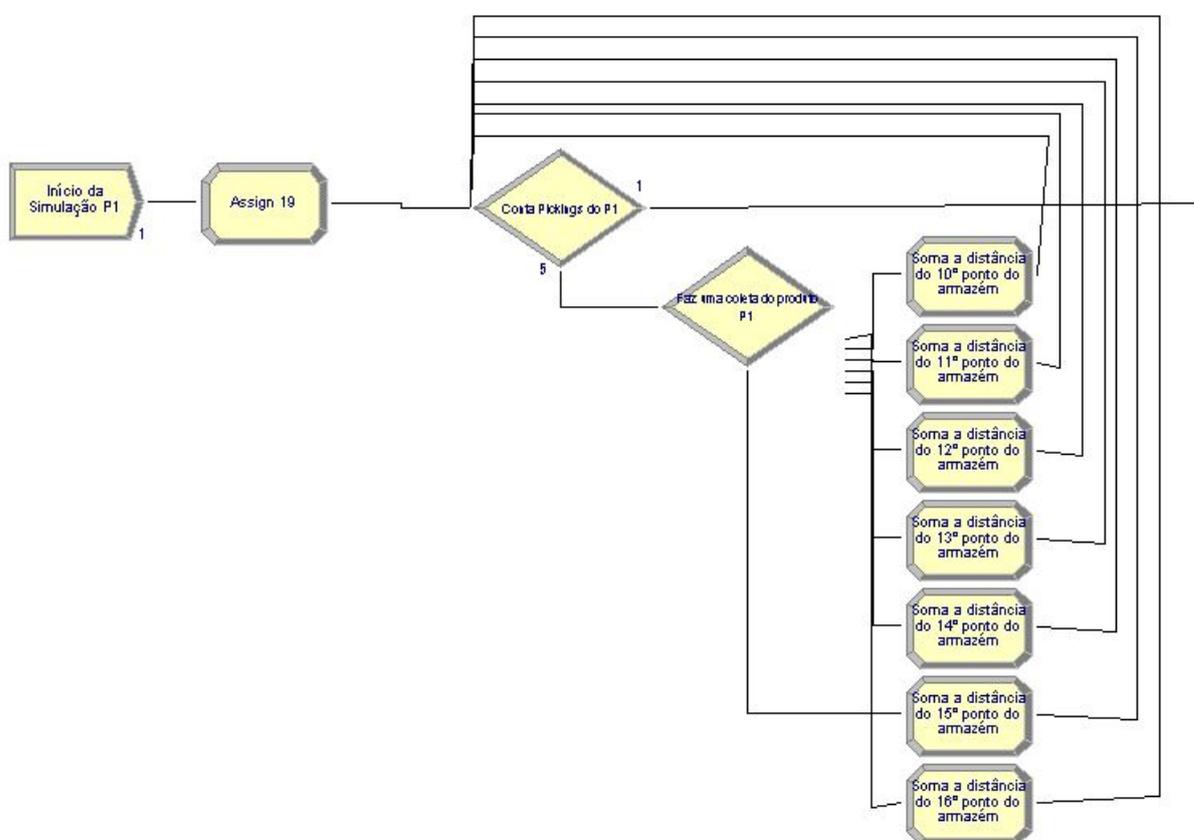
Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Figura 7 – Processo de recolha do produto P2.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Figura 8 – Processo de recolha do produto P1.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)