



MESTRADO EM

**MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E
EMPRESARIAL**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

**O PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE MERCADORIAS DO ARMAZÉM
DE UMA EMPRESA RETALHISTA PARA A SUA CADEIA DE LOJAS**

MAFALDA RAMOS DE JESUS PEREIRA

OUTUBRO DE 2018



MESTRADO EM

**MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E
EMPRESARIAL**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

**O PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE MERCADORIAS DO ARMAZÉM
DE UMA EMPRESA RETALHISTA PARA A SUA CADEIA DE LOJAS**

MAFALDA RAMOS DE JESUS PEREIRA

ORIENTAÇÃO:

**PROFESSORA DOUTORA MARIA MARGARIDA DE OLIVEIRA MOZ
CARRAPA**

OUTUBRO DE 2018

“O planeamento de longo prazo não lida com decisões futuras. Lida com o futuro das decisões presentes.”

Peter Drucker¹

¹ *Apud* Crainer (1999)

Dedicatória

Dedico este Trabalho Final de Mestrado à minha família e a todos os que, diretamente, contribuíram para a minha educação, formação académica e carácter.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à minha orientadora, Professora Doutora Maria Margarida de Oliveira Moz Carrapa, por todo o conhecimento, apoio, conselhos, orientação, supervisão e disponibilidade demonstrados desde início. Foram, sem dúvida, fatores chave para o sucesso deste trabalho.

À empresa FNAC por me possibilitar a realização deste Projeto, tão importante nesta fase da minha vida, e a todos os colegas de trabalho, acima de tudo, pelo conhecimento transmitido, pela confiança, paciência e tempo despendido.

Ao Instituto Superior de Economia e Gestão pelo acolhimento e ensinamentos que me permitiram concluir com sucesso mais uma etapa académica.

À minha família, um agradecimento especial pelos valores e conhecimentos transmitidos, que hoje me definem como pessoa. Agradeço todo o apoio e carinho prestados ao longo do meu percurso académico, em particular, a compreensão e ajuda para a elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos, professores e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

O ambiente competitivo do mercado empresarial está em crescimento. No mercado de retalho, numa vertente logística, é frequente a reavaliação de processos e intervenientes que constituem as cadeias logísticas. A FNAC, como empresa que opera neste mercado, conquistou ao longo das últimas duas décadas o mercado empresarial português nessa área.

O principal objetivo deste trabalho prende-se com a análise do Processo Logístico desta empresa, particularmente de um dos seus subprocessos – o processo de transferência de mercadorias a partir do armazém central para as lojas.

A proposta apresentada assenta na construção de um modelo recorrendo à metodologia de Simulação, através do *software* SIMUL8, reproduzindo os fluxos de mercadorias presentes no armazém e que estão associados ao Processo Logístico.

Para esse efeito, foram recolhidos e utilizados dados reais associados às fases que constituem o Processo Logístico e, a partir destes, foram parametrizadas as entidades do modelo.

Da análise dos resultados verificou-se a possibilidade, com as devidas reestruturações no processo de transferência de mercadorias, de otimizar o Processo Logístico através da otimização de recursos do mesmo.

Palavras-chave: FNAC, cadeia de abastecimento, logística, armazém, simulação.

Abstract

The competitive environment in business market is growing. It is frequent in the retail business, in terms of logistics, a continuous reassessment of processes and stakeholders that constitute the logistics chains. FNAC is a company that operates in this market and has conquered, over the last two decades, the Portuguese business market in this area.

The main objective of this work is to make an analysis of the company Logistic Process, particularly about one of its inherent processes – the process of transferring goods from the central warehouse to the stores.

The proposal of this work is based on the construction of a model using the Simulation methodology, through the SIMUL8 software, which represents the flows of goods that occur in the warehouse associated with the Logistic Process.

To achieve that, real data that is associated with the Logistic Process of the warehouse were collected, and from that, the entities of the model were parameterized. Then, based on the model sensitivity analysis, it was possible to analyze results and draw conclusions about the study hypothesis.

The final analysis shows that it is possible, with the necessary restructurings in the process of goods transfers, to optimize the Logistic Process through optimization of its resources.

Keywords: FNAC, supply chain, logistics, warehouse, simulation.

ÍNDICE GERAL

Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	x
Introdução	1
1 – Enquadramento do problema no contexto da empresa	2
1.1 – Breve apresentação da empresa.....	2
1.2 – O problema e as questões de pesquisa	2
1.2.1 – O Processo Logístico	2
1.2.2 – Identificação do problema	5
2 – Revisão da literatura	6
2.1 – Enquadramento teórico	6
2.1.1 – Abordagens teórico-práticas	7
2.1.2 – Combinação de abordagens metodológicas	9
2.2 – Relevância teórica do estudo.....	10
2.3 – Hipótese de pesquisa	12
3 – Descrição da metodologia	13
3.1 – Conceitos gerais	13
3.2 – O software de Simulação.....	14
3.3 – Concetualização do modelo	15
3.3.1 – Objetivos do modelo.....	15
3.3.2 – Conteúdos do modelo	15
3.3.3 – Pressupostos e simplificações	17
3.4 – Descrição do modelo.....	17
4 – Análise de Resultados	22
4.1 – Verificação e validação	22
4.2 – “Condução de experiências”	24
4.3 – Análise de sensibilidade à variação dos parâmetros	26

4.3.1 – Cenário I – Exclusão da Atividade 8	27
4.3.2 – Cenário II – Reparametrização da Atividade 9.....	28
4.3.3 – Cenário III – Divisão da Atividade 9 por áreas de produto	30
4.3.4 – Súmula	34
Conclusão	36
Referências Bibliográficas	38
Anexos	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do Processo Logístico sobre a planta do Armazém Central.	4
Figura 2 – Esquema resumo dos principais trabalhos apresentados.....	11
Figura 3 – Modelo construído ilustrado no <i>software</i> SIMUL8.	17
Figura 4 – Dados extraídos do Ponto de Saída e cálculos efetuados.....	26
Figura 5 – Dados extraídos do Ponto de Saída para o cenário II e cálculos efetuados. .	29
Figura 6 – Inclusão das secções A, B e C da Atividade 9 no modelo (cenário III).....	31
Figura 7 – Dados extraídos do Ponto de Saída para o cenário III e cálculos efetuados.	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de entidades incluídas no modelo de simulação.	16
Tabela 2 – Parametrização das Atividades 1, 2 e 3.	20
Tabela 3 – Parametrização das Atividades 8 e 9.	21
Tabela 4 – Resultados das “simulações” no cenário inicial.	26
Tabela 5 – Reparametrização da Atividade 9 28	28
Tabela 6 – Comparação de resultados para as Atividades 8 e 9.....	29
Tabela 7 – Resultados das “simulações” no cenário II.....	29
Tabela 8 – Capacidades das atividades de processamento no cenário inicial.	30
Tabela 9 – Cálculos efetuados para a parametrização da Atividade 9.	30
Tabela 10 – Parametrização da Atividade 9.	31
Tabela 11 - Comparação de resultados para as Atividades 8 e 9.	33
Tabela 12 - Resultados das “simulações” no cenário III.	33

INTRODUÇÃO

Neste Projeto é efetuada uma análise e estudo do Processo Logístico do armazém de uma empresa retalhista, a FNAC. É no Armazém Central que existe o principal fluxo de materiais, inerente ao Processo Logístico, composto por vários subprocessos. Esta análise incide em particular sobre um desses subprocessos – o processo de transferências de mercadorias a partir do armazém para as suas lojas físicas.

A existência de um enorme fluxo de mercadorias, sujeitas a certos procedimentos obrigatórios, faz com que o processo de transferências crie constrangimentos no processamento de mercadorias. Verifica-se em alguns locais um grande volume de mercadorias que influencia os tempos de permanência destas em armazém e conseqüentemente o tempo de percurso na cadeia logística.

No primeiro capítulo, é efetuada uma breve apresentação da empresa FNAC, bem como descrito o Processo Logístico. Associado ao Processo é identificado o problema no contexto da empresa.

No segundo capítulo, apresenta-se a pesquisa bibliográfica efetuada, que incide, essencialmente, sobre a temática de otimização e planeamento de processos em armazéns. É efetuado um enquadramento do problema recorrendo a alguns dos trabalhos realizados por autores identificados como chave para o desenvolvimento do trabalho. É ainda neste capítulo definida a hipótese de estudo que se pretende testar.

Relativamente à metodologia, apresentada no terceiro capítulo, propõe-se uma abordagem baseada na Simulação, com a modelação dos intervenientes do processo recorrendo ao programa SIMUL8 e o desenvolvimento de um modelo no qual se representa o Processo Logístico. A recolha de dados foi efetuada junto da empresa, o que permitiu efetuar a parametrização das componentes do modelo.

No quarto capítulo, são descritos e analisados os resultados obtidos através da simulação do modelo para um cenário inicial, a partir do qual foram gerados e simulados outros cenários hipotéticos, cujos resultados foram comparados entre si.

A realização deste trabalho permitiu assim testar a hipótese formulada e retirar algumas conclusões acerca da otimização do processo de transferência de mercadorias a partir do armazém central.

1 – ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA NO CONTEXTO DA EMPRESA

1.1 – Breve apresentação da empresa

A FNAC é uma empresa de origem francesa cuja atividade se insere no mercado do retalho de “bens culturais” e tecnológicos. Max Théret (1913-2009) e André Essel (1918-2005) são os cofundadores da empresa FNAC, que surgiu com a abertura, em 1954, de um clube constituído por um grupo de assinantes de uma revista designada por *Contact*. O objetivo era disponibilizar um maior poder de compra aos sócios, através de vários descontos em produtos. Anos mais tarde, a loja foi aberta ao público em geral e pouco depois iniciou-se a sua expansão pelo país. Deu-se a internacionalização com expansão para a Bélgica, o desenvolvimento da plataforma *online* e o conceito de “novo formato” de lojas, de pequenas dimensões inseridas em áreas suburbanas. Atualmente faz parte do Grupo FNAC Darty, após aquisição da empresa Darty² em 2016, aprovada pela Autoridade da Concorrência francesa (FNAC Darty, 2019).

Em Portugal, a FNAC instalou-se no dia 28 de fevereiro de 1998, oferecendo uma nova abordagem à cultura e à tecnologia do país. Comercializa “bens culturais” e tecnológicos – Produtos Editoriais e Produtos Técnicos – que se encontram discriminados em famílias de produtos (Anexo 1, Tabela 1). Atualmente, existem vinte e nove lojas (Anexo 1, Tabela 2), localizadas em zonas comerciais, de norte a sul do País, bem como uma plataforma de *e-commerce* (*fnac.pt*). A sede localiza-se em Lisboa e as equipas de logística desempenham as suas funções no Armazém Central em Alverca do Ribatejo (FNAC Portugal, 2019).

1.2 – O problema e as questões de pesquisa

1.2.1 – O Processo Logístico

O *Processo Logístico no Armazém Central* da FNAC encontra-se dividido em quatro principais etapas: a receção, o processamento, a arrumação e a expedição de mercadorias. Estas etapas estão atribuídas a equipas distintas que se ocupam exclusivamente delas. Para acompanhar a descrição do processo apresenta-se na Figura 1 um esquema do Armazém Central.

A **equipa de receção de mercadorias** ocupa-se da receção de mercadorias provenientes de fornecedores (ver Figura 1, A). Nesta etapa, consoante o tipo de pedido

² Empresa multinacional retalhista fundada em 1957, em França.

de compra efetuado, é também feita a separação das mercadorias – mercadorias para armazenamento (Figura 1, 2) ou mercadorias de *cross-docking*, ou seja, cujo destino imediato são as lojas (Figura 1, 1) para as quais o armazém funciona como mera plataforma de passagem (Carvalho, 2017).

As mercadorias para armazenamento são encaminhadas para a **equipa de stock central**, que se ocupa da sua arrumação no local apropriado – zona de *stock* central (Figura 1, E). As mercadorias de *cross-docking* são enviadas em paletes, por grupos de lojas³, para uma zona onde aguardam processamento (“zona de convergência”, Figura 1, B1). A **equipa de processamento de mercadorias** regista-as no sistema, e procede à sua etiquetagem, caso necessário, dependendo da família de produtos (Figura 1, C1). Além disso, coloca-as em caixas alocadas às lojas para onde devem ser enviadas. Nas mesas de processamento, as caixas estão posicionadas de forma a aceder ao tapete rolante, que as faz chegar até à zona de *sorter* (Figura 1, D).

A etapa seguinte, desempenhada pela **equipa de expedição de mercadorias**, inicia-se nessa zona. O *sorter* é um sistema com ligação ao tapete rolante que permite reconhecer, informaticamente, a loja destino de determinada caixa ao passar por sensores implementados na linha, encaminhando-a para o local correspondente à loja identificada. Esta equipa prepara todas as caixas, formando paletes, selando-as e enviando-as para a zona de expedição (Figura 1, F)⁴, para o local atribuído à loja para onde deve ser enviada.

Os artigos de médio/grande volume não são processados nas mesas de etiquetagem, pelo que, paralelamente a esse processo, existe perto da zona de expedição um local que se ocupa do processamento destes artigos. É na “zona de ventilação” (Figura 1, B2) onde aguardam processamento (Figura 1, C2). Posteriormente, as mercadorias são também sujeitas a paletização e enviadas para a zona de expedição.

Relativamente às mercadorias armazenadas em *stock* central, que representam um *stock* de segurança de produtos estratégicos para a empresa, é fundamental a existência de um processo que permita o seu envio para as lojas. Esse processo designa-se internamente por “processo de transferência de mercadorias a partir do armazém”. São gerados informaticamente pedidos de transferência nos quais vêm discriminadas as quantidades a transferir e para que lojas, sendo a equipa de *stock* central a responsável

³ Os grupos de lojas designam-se internamente por *ráfagas*.

⁴ Zona em armazém cujo espaço está dividido por linhas no chão, sendo que a cada uma está atribuída uma loja.

por proceder ao seu tratamento. Consoante a tipologia do pedido, existe a possibilidade da transferência ser efetuada de forma direta⁵ (Figura 1, 3a) e F) – sendo feito o *picking*⁶ dos produtos, procede-se à sua paletização e envio direto para as linhas de expedição – ou de forma consolidada (Figura 1, percurso 3b) - B1 - C1) ou 3b) - B2 - C2) – idêntica à anterior, com a particularidade das paletes serem enviadas para a equipa de processamento de mercadorias e a partir daí percorrerem as fases seguintes até à expedição. As transferências consolidadas aquando da sua preparação englobam artigos que se destinam a diversas lojas, em quantidades variáveis. A equipa de *stock* central procede ao *picking* dos artigos e forma paletes provisórias com as quantidades indicadas nos pedidos. Contudo, para efetuar a divisão por loja é necessário encaminhar estas paletes para a equipa de processamento de mercadorias, uma vez que a equipa de *stock* central não possui meios para fazê-lo de forma eficiente. Além disso, as mercadorias quando são armazenadas não são etiquetadas e existem artigos que têm forçosamente de passar por esse tratamento. Por estas razões, este tipo de transferência é, atualmente, o mais usual.

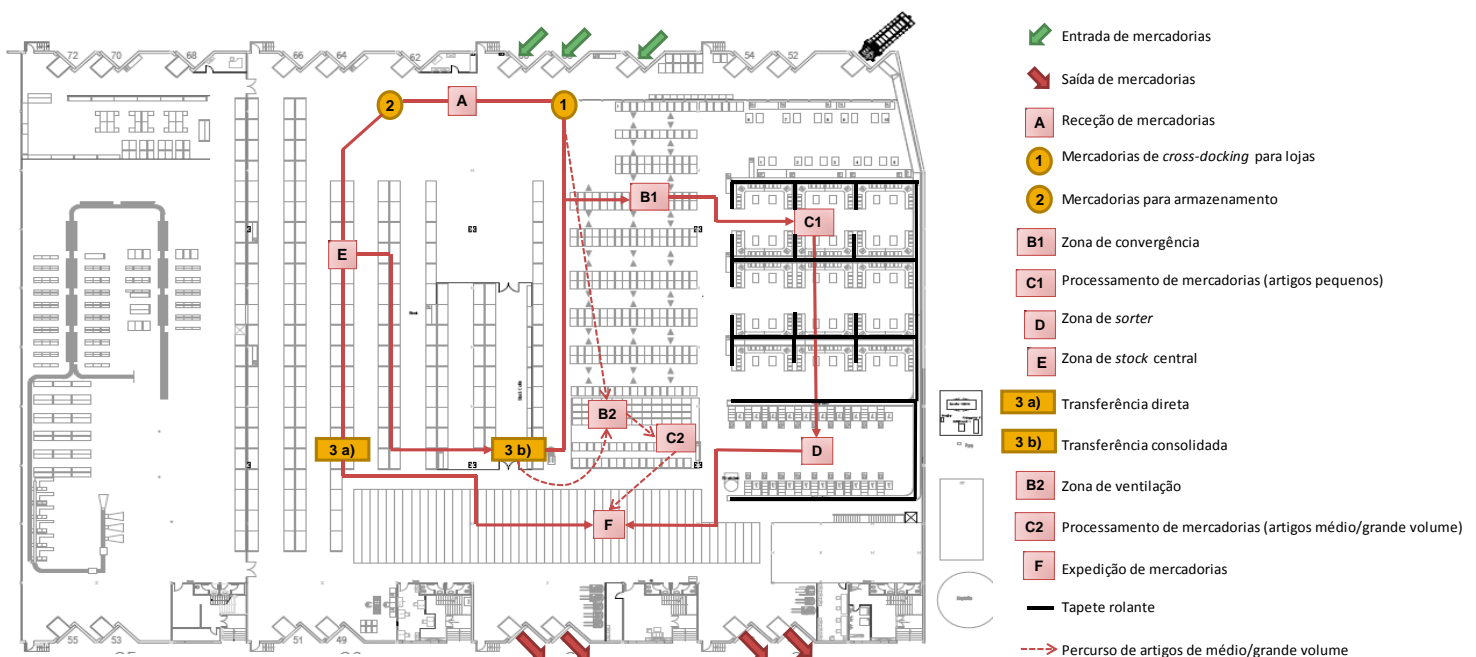


Figura 1 – Esquema do Processo Logístico sobre a planta do Armazém Central⁷.

⁵ Este tipo de transferência só é efetuado em casos excecionais, utilizado apenas para duas lojas específicas da FNAC.

⁶ Os artigos são recolhidos das prateleiras onde se encontram alocados.

⁷ Esquema disponibilizado pela empresa.

1.2.2 – Identificação do problema

Analisado todo o Processo Logístico, verifica-se que nas zonas que antecedem o processamento de mercadorias, “zona de convergência” e “zona de ventilação”, as mercadorias provêm de duas origens – *cross-docking* e transferências a partir do armazém –, colocando em causa o bom funcionamento e escoamento de mercadorias nesta fase. O constrangimento causado pela junção de mercadorias naquelas zonas faz com que se acumule uma grande quantidade de paletes tanto na “zona de convergência”, como na “zona de ventilação”, locais nos quais é sempre difícil estabelecer prioridades sobre o que deve ser processado em primeiro lugar.

Com a identificação deste constrangimento no processo, pretende-se estudar se há ineficiência no Processo Logístico e determinar, no caso de existir, se a mesma se deve ao modo como o processo de transferências se encontra desenhado. Com base na informação e dados a recolher pretende-se avaliar a atribuição deste processo unicamente à equipa de *stock* central, através de uma eventual reconfiguração dos fluxos de mercadoria no armazém.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – Enquadramento teórico

A eficácia e eficiência de uma rede logística são determinadas pelas operações que se realizam nos seus nodos, como é o caso de um armazém logístico (Rouwenhorst et al., 2000), que numa cadeia de abastecimento funciona como elo entre os vários intervenientes da rede. A problemática associada ao estudo dos processos de um armazém comporta decisões a vários níveis – estratégico, tático e operacional (Ghiani et al. 2004) – abordados recorrendo a diferentes métodos – analíticos, de simulação ou heurísticos (Ashayeri e Gelders, 1985). Com base nesta distinção, existem inúmeros trabalhos desenvolvidos, alguns deles referenciados ao longo deste capítulo.

Ashayeri e Gelders (1985) referem Cahn a propósito da sua contribuição na área da logística ao utilizar pela primeira vez o conceito de *warehousing problem*, num artigo denominado “The Warehouse Problem”, publicado em 1948 no *Bulletin of the American Mathematical Society*. Neste artigo, Cahn desenvolveu um modelo de programação linear (ver Anexo 2, Figura 1) para responder à questão: “Dado um armazém com capacidade limitada e um valor de *stock* inicial de um dado produto, sujeito a uma certa sazonalidade de preços e variação de custos, qual é o padrão ótimo de aquisição/produção, armazenamento e vendas?”.

A formulação deste problema despoletou pesquisas posteriores e foi adaptado por diversos autores. É num mais recente trabalho que Wolsey e Yaman (2017) consideraram a hipótese de inclusão de custos fixos de compra e/ou venda e custos de manutenção de *stock* no problema. Neste artigo, os autores enumeram alguns trabalhos publicados que se ocuparam do problema de Cahn. É o caso, por exemplo, de Charnes e Cooper (1955), que generalizaram o problema de forma a abranger múltiplos produtos e preços variáveis; Bellman (1956), que desenvolveu um algoritmo de programação dinâmica; Eastman (1959), que desenvolveu a sua pesquisa modelando o problema como um problema do caminho mais curto⁸, entre outros.

⁸ O objetivo é encontrar o caminho mais curto entre pontos, sendo estes, pontos no tempo e pontos no espaço, associados a decisões de compra e venda (Eastman, 1959).

2.1.1 – Abordagens teórico-práticas

Num artigo publicado no *European Journal of Operational Research*, Gu et al. (2007) fazem uma resenha bibliográfica sobre investigação no domínio do planeamento das operações em armazéns – receção de mercadorias, armazenamento, preparação de encomendas e expedição –, tendo como objetivo estudar a utilização do espaço e eficiência no tratamento das mercadorias. Como forma de solucionar a problemática associada a estes aspetos, é apresentado um exemplo de uma heurística, designada por *Duration-of-Stay* (Goetschalckx e Ratliff, 1990), em que o tempo de permanência determina o local de arrumação. Desta forma, os produtos com um menor tempo de permanência são arrumados em locais mais próximos dos postos de trabalho, para que a deslocação dos colaboradores seja menor e, conseqüentemente, também o tempo de resposta. São referidas outras políticas de armazenamento que examinam quer a rotatividade dos produtos quer a sua dimensão, tendo em conta a especificidade dos espaços existentes para arrumação.

Wijk et al. (2013) apresentam uma abordagem diferente, englobando uma visão mais ampla da rede logística, ao descrever várias políticas de alocação de mercadorias para um sistema de armazenamento em múltiplas localizações. Consideram a existência de armazéns locais, um armazém de “resposta rápida”, também designado como armazém de suporte e armazéns centrais (fornecedores externos). Quando um armazém local esgota o *stock*, a procura pode ser satisfeita através de uma transferência a partir do armazém de suporte, de forma mais rápida e menos dispendiosa do que através do procedimento de emergência - envio a partir de um armazém central. No entanto, caso a procura não seja satisfeita pelo armazém de suporte, tem de se recorrer a este procedimento.

A metodologia utilizada baseia-se em processos de Markov e tem como objetivo a minimização de custos associados às transferências de *stock* a partir do armazém de suporte – custos de transporte e custos de inatividade. Para a modelação faz-se uso de programação dinâmica por forma a derivar a política ótima de alocação. Os autores garantem a existência de uma política ótima, referindo-se a um teorema apresentado por Puterman em 1994, no qual, dado um conjunto finito de estados possíveis para o sistema, um conjunto finito de ações possíveis para esse estado e definidos limites para a função de recompensas associadas a cada ação é garantida a existência de uma política ótima média estacionária (Puterman, 2005). Na experiência computacional, Wijk et al.

pretendem comparar os ganhos da política ótima face a duas políticas simples. Em dois exemplos, foram feitas variações nas taxas de chegada e parâmetros de custo, por forma a comparar os custos médios por unidade de tempo de execução de três políticas possíveis: (I) a política ótima, (II) uma política na qual a procura é sempre satisfeita e (III) uma política de nível crítico ideal⁹. Para ambos os exemplos, Wijk et al. (2013), definiram três armazéns locais, todos com o mesmo nível de *stock* base, definiram os custos associados ao armazém de suporte através de um rácio no qual estão contemplados os custos relacionados com o procedimento de emergência (definidos *a priori*) e foram também definidas as taxas de procura. Foram calculados os custos relativos, por unidade de tempo, para executar a política II e III face aos da política ótima.

Os autores resumem os resultados, onde incluem os custos médios de cada uma das três políticas, bem como a comparação entre as políticas II e III e a política ótima. São referidos os níveis críticos ideais, bem como as percentagens de procura satisfeita via armazém de suporte e via procedimento de emergência sob a política ótima.

Com a análise dos indicadores identificados, os autores concluem que não é certo escolher apenas um método de satisfação da procura e que não deve ser apenas analisado o nível de *stock* no armazém de “resposta rápida”, nem considerado este o único método para satisfação da procura, pois apesar do procedimento de emergência acarretar custos mais elevados, deve procurar-se um *trade-off* entre custos e satisfação de procura.

Outra metodologia frequentemente utilizada para o planeamento dos processos em armazém, inclusive para configuração dos mesmos, é a modelação por simulação. É o caso de Macro e Salmi que publicaram em 2002 um artigo no qual desenvolvem um modelo de simulação genérico, através do *software* ProModel (Promodel.com, 2019).

O modelo foi testado em dois armazéns, que se distinguem pelo tipo de produto e pela configuração interna. Simulou-se para um período de quatro semanas, para cada um dos cenários, assumindo-se que os armazéns atingirão a sobrelotação, o que resulta em necessidade de reestruturação. Os autores pretendiam quantificar o aumento na capacidade de armazenamento decorrente de uma alteração no método de armazenamento.

⁹ É estabelecido para cada armazém um nível crítico que funciona como um limite de referência para a gestão do *stock* no armazém de suporte. Se o nível de *stock* do armazém de suporte estiver acima do nível crítico, a procura é satisfeita a partir deste.

Para o primeiro caso, simulou-se uma alternativa ao armazenamento em bloco (ou a granel) com estantes que funcionam segundo o sistema *drive-through*¹⁰ implementando, ao invés, estantes com um sistema *flow-through*¹¹.

Como resultado desta aplicação, foi substituído o método de armazenagem, atingindo uma capacidade de utilização de 85%, isto é, 23 pontos percentuais acima da capacidade de utilização original. Relativamente à segunda aplicação, considera-se uma reconfiguração do espaço em armazém, quantificando a sua utilização e capacidade. Os autores terminam concluindo que os diferentes conceitos/configurações de armazém são muito voláteis, uma vez que devido às constantes mudanças no meio envolvente, rapidamente as configurações se tornam obsoletas, carecendo de novas reestruturações.

2.1.2 – Combinação de abordagens metodológicas

Considerando as diferentes abordagens metodológicas apresentadas, Ashayeri e Gelders (1985) concluem que a combinação de várias metodologias poderá ser o procedimento adequado a seguir e que produzirá melhores resultados.

Heragu et al. (2005) publicaram um artigo no qual apresentam um modelo matemático e um método heurístico para analisar a alocação de produtos às áreas funcionais de um armazém, com o objetivo de minimizar o custo total de manuseamento de mercadorias.

Os autores dividem um armazém logístico em três grandes áreas: área de armazenamento, área de “aglomeração” e área de *cross-docking*. Na primeira, os produtos estão armazenados até serem requeridos numa encomenda. Adicionalmente, são também consideradas as áreas de receção e de expedição. São definidos fluxos possíveis combinando as áreas funcionais enumeradas. Para cada fluxo pretende-se determinar os produtos que lhes devem ser atribuídos e o eventual redimensionamento das áreas, minimizando os custos associados ao manuseamento e armazenamento de mercadorias.

Para a aplicação do modelo definido, os autores recorreram a três metodologias – um algoritmo baseado em *branch-and-bound*, um método heurístico e uma metaheurística (*simulated annealing*).

¹⁰ Sistema de armazenagem no qual as estantes possuem dois pontos de acesso. A mercadoria é introduzida, por uma empilhadora, que se desloca entre as estantes, num dos pontos e recolhida no outro. O sistema de recolha funciona segundo o método FIFO (*First In First Out*).

¹¹ Idêntico ao sistema *drive-through*, mas em *flow-through* as próprias estantes possuem um tapete rolante, onde as paletes introduzidas deslizam até à posição desejada para armazenamento.

Para a resolução de quatro instâncias do problema com 100, 500, 1000 e 3000 produtos, foi utilizado o algoritmo baseado em *branch-and-bound*. Para instâncias superiores a 3000 produtos, os autores consideram uma heurística eficiente para resolver o problema, na qual, para além da atribuição dos produtos aos fluxos, são obtidos os limites para coeficientes de espaço, que irão determinar a dimensão das áreas. Contudo, a heurística termina se não conseguir transferir produtos de uma das áreas para outra, pois não consegue encontrar nenhuma solução admissível. Em contrapartida, os autores recorreram ao algoritmo de *simulated annealing* utilizando um procedimento proposto por Heragu em 1997. Este considera trocas sistemáticas de um produto atribuído a um fluxo por outro fluxo, bem como a troca de pares de atribuições, desde que essa alteração produza soluções admissíveis.

Para instâncias do problema com 15.000, 75.000 e 150.000 produtos, o método heurístico obtém soluções admissíveis com tempos computacionais baixos. Contudo, com o algoritmo de *simulated annealing* obtêm-se soluções de melhor qualidade do que com o método heurístico, mas com tempos computacionais muito elevados. O algoritmo de *branch-and-bound* não consegue soluções ótimas para instâncias destas dimensões, nem sequer soluções admissíveis para instâncias de 75.000 e 150.000 produtos.

2.2 – Relevância teórica do estudo

Para Kłodawski et al. (2017) “(...) as reestruturações, investimentos, e alterações tecnológicas em armazéns logísticos devem ser alvo de uma análise transversal e multifacetada.” Bowersox e Closs (1996) afirmam que uma rede logística devidamente configurada é uma das primeiras responsabilidades da gestão logística. Para os autores, cada armazém representa um minissistema dentro da rede logística, devendo ser gerido eficaz e eficientemente, para garantir a satisfação do cliente final.

Por essa razão, o conceito de minissistema adapta-se ao Armazém Central da FNAC. Do Processo Logístico em armazém faz parte o subprocesso de transferência de mercadorias para as lojas. As transferências de mercadorias são efetuadas a partir de um *stock* de segurança em armazém, que deve armazenar os artigos designados como estratégicos para a empresa, caracterizados por níveis de procura e rotatividade elevados.

Os pedidos de transferência são gerados de duas formas: 1) automaticamente pelo sistema, segundo um calendário semanal, que ao considerar o *stock* existente em

loja conclui não ser suficiente para cobrir as vendas futuras; ou 2) manualmente, em caso de necessidade de reforço de *stock* em loja.

Este conceito de transferência de mercadorias a partir do armazém relaciona-se com o apresentado por Wijk et al. (2013) em que o armazém de resposta rápida é um dos meios disponíveis para satisfação da procura em detrimento do processo de compra, por produzir resultados mais rápidos. Neste caso, se as lojas da FNAC necessitarem de mercadorias disponíveis em *stock* no armazém, pode recorrer-se a este ao invés da compra a fornecedor.

Com base na pesquisa bibliográfica efetuada, propõe-se um esquema resumo, representado na Figura 2, que traduz de forma simplificada os pontos fulcrais deste capítulo e que irão servir de suporte à elaboração deste Projeto.

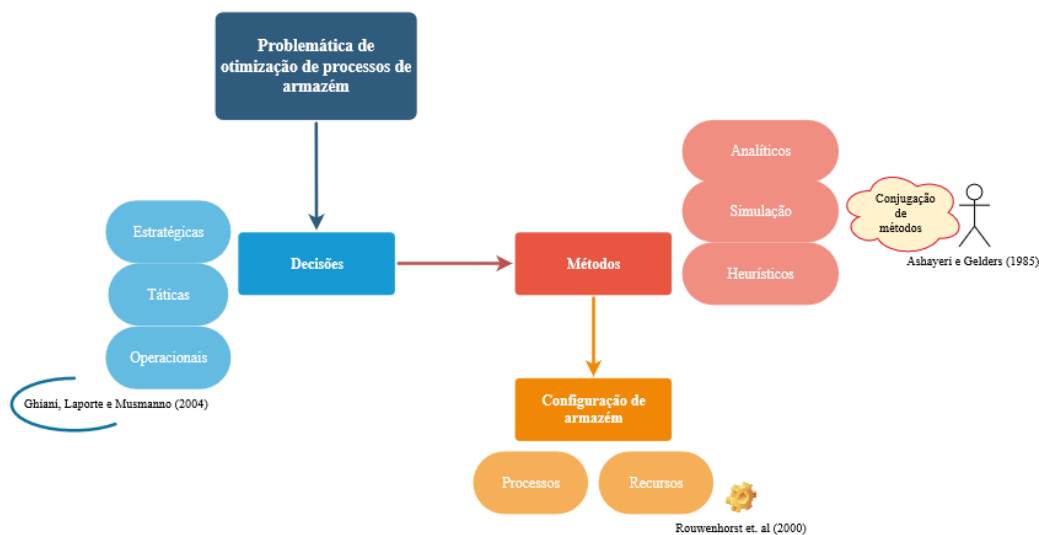


Figura 2 – Esquema resumo dos principais trabalhos apresentados.

Em suma, diversos autores investigaram a problemática de otimização de processos de armazém: Ghiani et al. (2004) estratificam as decisões em três planos – operacional, tático e estratégico – às quais estão associados diferentes métodos de trabalho; Ashayeri e Gelders (1985) defendem a conjugação de diferentes métodos para obtenção de resultados mais robustos. Resultados esses que assentam na configuração ou reconfiguração de processos e alocação de recursos de um armazém; e Rouwenhorst et al. (2000) distinguem os atributos de um armazém logístico em *processos* e *recursos*. Os processos representam os fluxos de mercadorias identificáveis num armazém logístico e os recursos referem-se ao sistema de armazenagem, sistema informático, equipamentos utilizados e recursos humanos.

2.3 – Hipótese de pesquisa

O objeto de análise deste trabalho será o processo de transferência de mercadorias a partir do Armazém Central para as lojas da FNAC. Com o desenvolver desta análise, pretende-se testar a hipótese de pesquisa que, com base na divisão apresentada por Rouwenhorst et al. (2000), foi formulada da seguinte forma “o processo de transferência de mercadorias atribuído à equipa de stock central representa otimização de recursos”. Sabendo que atualmente o processo se reparte por duas equipas (equipa de processamento de mercadorias e equipa de *stock* central), a hipótese assenta na atribuição deste processo unicamente à equipa de *stock* central, libertando desta tarefa a equipa de processamento de mercadorias.

De forma idêntica à metodologia utilizada por Macro e Salmi (2002), no presente Projeto foi decidido recorrer à **metodologia de simulação** como abordagem ao problema em estudo. Com esta escolha espera-se obter resultados que se traduzam numa otimização do processo de transferências e permitam concluir acerca de uma eventual reconfiguração, tanto a nível do processo, como dos recursos que lhe estão associados.

3 – DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

3.1 – Conceitos gerais

A construção de um modelo recorrendo à simulação é uma opção frequentemente utilizada como um meio de análise de desempenho de sistemas industriais, antevendo eventuais comportamentos e respostas a certos “estímulos” (Banks e Gibson, 1998). A simulação consiste, atualmente, na informatização de sistemas reais, recorrendo à computação¹², e construção de modelos que os representem. Para estudar um sistema são formuladas hipóteses sob o modelo, que permitam conhecer o funcionamento do sistema correspondente (Law e Kelton, 1991). São reunidos dados e atribuídas características que aproximem o modelo do sistema real (Banks,1999).

Nos primórdios da simulação, eram usados métodos analíticos. Os primeiros simuladores surgiram apenas na década de sessenta do século passado, nos quais os modelos eram desenvolvidos com programação de código, não sendo possível a visualização gráfica dos mesmos (Goldsman et al., 2009). Com a introdução dos elementos gráficos e maior velocidade de processamento produziu-se um grande avanço nesta área. Atualmente já possuem *layouts* estandardizados e a funcionalidade de *drag-and-drop*, que permite desenvolver modelos de simulação quase sem recorrer à programação de código. Como resultado da evolução na área da computação e desenvolvimento destas ferramentas, a simulação tornou-se uma ferramenta indispensável para estudar problemas reais (Banks, 1999).

Banks (1999) guia-se por um trabalho de Carson em 1993 para apresentar alguns dos conceitos mais relevantes associados a esta metodologia: 1) um **modelo** é uma representação de um sistema real, que deve apresentar um certo nível de complexidade de forma a que se obtenha uma reprodução fiável do sistema; 2) um **evento** é uma ocorrência que afeta o estado do sistema; 3) uma **entidade** refere-se a um objeto que pode ser de dois tipos – dinâmico se se move pelo sistema ou estático se serve outras entidades. A uma entidade podem estar associados atributos; 4) um **recurso** representa uma entidade que providencia um serviço a entidades dinâmicas (pode servir mais do que uma), sendo que estas podem requerer uma ou mais unidades do recurso; 5) uma **fila** representa uma lista de processamento, na qual as entidades aguardam

¹² Conjunto de conhecimentos e técnicas referentes ao uso de computadores. Processamento automático de dados através de computadores (Priberam Informática, 2018).

processamento; e 6) uma **atividade**, caracterizada por uma duração de tempo, já conhecida *a priori*. A duração de uma atividade pode ser, por exemplo, uma constante ou seguir uma função de distribuição estatística.

Os eventos que constituem o sistema podem ser modelados recorrendo a um **modelo de simulação de eventos discretos**. Este é conduzido ao longo do tempo por um mecanismo que faz com que o tempo simulado avance, atualizando o estado do sistema em resposta a certos eventos discretos (Maria, 1997). Um estudo de simulação inicia-se com um sistema alvo que ao ser submetido ao estudo, irá resultar num sistema alterado. Este, consoante os resultados obtidos, pode transformar-se num novo sistema alvo, gerando um novo ciclo, para todos os eventos discretos que sugiram uma alteração no sistema real.

Para que um modelo de simulação funcione e esteja em concordância com o sistema real, existem uma série de pontos que podem servir de guia para o seu desenvolvimento (Banks,1999). A formulação do problema e dos objetivos do estudo surgem como ponto de partida para a conceitualização do modelo. Posteriormente devem ser recolhidos os dados e introduzidos no modelo. Segue-se uma fase de experimentação e consequente verificação e validação. Para Elder (2014) a verificação diz respeito à forma como o modelo de simulação foi construído e se era o pretendido, enquanto a validação avalia se o que era pretendido representa, de facto, o sistema real. Após estes procedimentos, devem ser definidos vários cenários a testar e simulados, de acordo com as diferentes reparametrizações. Com a análise dos resultados e a sua documentação, são desenvolvidas conclusões.

3.2 – *O software de Simulação*

Para a construção do modelo, foi decidida a utilização do *software* de simulação SIMUL8 (Simul8.com, 2018) visto ser um programa que se baseia em simulação de eventos discretos. Este método, com recurso a números pseudo-aleatórios, permite obter diferentes resultados para o mesmo modelo simulado, diferindo, as sequências de tempo simulado (dias, semanas, meses, etc.). Existe inclusive uma ferramenta – “condução de experiências” – que permite reproduzir diferentes execuções da simulação de uma só vez, utilizando as mesmas configurações, com base em diferentes números pseudo-aleatórios gerados pelo sistema.

Embora o *software* não seja de livre utilização, o acesso ao mesmo foi concedido pelo Instituto Superior de Economia e Gestão, aquando da frequência da Unidade

Curricular de Simulação e Otimização no âmbito do curso de Mestrado, o que vem também justificar algum contacto anterior com este *software*.

O SIMUL8 surgiu em 1994, desenvolvido por Mark Elder. Baseia-se numa *interface* gráfica que permite ao utilizador, a partir de diferentes entidades, através de um sistema de *drag-and-drop*, escolher quais deseja incluir no estudo, proceder à sua parametrização e construir o modelo do sistema pretendido. Obtêm-se, assim, resultados estatísticos, cuja análise possibilita a avaliação do desempenho do sistema que se quer modelar, permitindo comparar de forma simples diferentes alternativas.

3.3 – *Concetualização do modelo*

3.3.1 – *Objetivos do modelo*

O modelo de simulação respeitante ao Processo Logístico pretende, em primeiro lugar, avaliar o efeito do processo de transferências sobre o trabalho da equipa de processamento de mercadorias. Em segundo lugar, importa estudar os tempos de resposta e conseqüente eficácia e eficiência do processo: 1) medição do tempo de permanência dos materiais nas filas de espera, nomeadamente nas que antecedem o processamento de mercadorias; 2) medição do tempo de permanência dos itens de trabalho no modelo e tempos intermédios de permanências nas restantes entidades; 3) medição da quantidade de fluxo de materiais que entra e sai do sistema e 4) produtividade de cada atividade e percentagem de tempo de trabalho. Com a obtenção destes indicadores e as devidas alterações aos parâmetros do modelo, espera-se testar e verificar, ou não, a hipótese em estudo, ou seja, se a atribuição do processo de transferências unicamente à equipa de *stock* central representa otimização de recursos.

3.3.2 – *Conteúdos do modelo*

As entidades do programa SIMUL8 foram utilizadas consoante a função que se pretende reproduzir do Processo Logístico. Na Tabela 1 encontram-se discriminadas estas entidades, bem como a descrição do tratamento dos itens de trabalho¹³ aquando da passagem por cada uma delas. Os números atribuídos às entidades seguiram uma ordem crescente, relacionada com a forma como está desenhado o processo no simulador. A ilustração do modelo pode observar-se na Figura 3, da qual constam os nomes atribuídos às entidades, de acordo com a nomenclatura utilizada na Tabela 1.

¹³ Neste estudo os itens de trabalho são representados pelas mercadorias que fluem pelo modelo.

Tabela 1 – Lista de entidades incluídas no modelo de simulação.

(continuação)

Antecessora	Entidades	Sucessora	Descrição do tratamento dos itens	Equivalente no Processo Logístico (Fig. 1)	Antecessora	Entidades	Sucessora	Descrição do tratamento dos itens	Equivalente no Processo Logístico (Fig. 1)
-	Ponto de Entrada 1	Filas de Espera 1 e 2	As mercadorias entram no modelo.	Receção de mercadorias (A)	Ponto de Entrada 1	Fila de Espera 2	Atividade 7	As mercadorias para armazenamento aguardam nesta fila.	-
Ponto de Entrada 1	Fila de Espera 1	Atividade Fictícia 1	As mercadorias com destino às lojas aguardam nesta fila.	-	Fila de Espera 2	Atividade 7	Ponto de Saída Fictício	As mercadorias provenientes da Fila de espera 2 são tratadas nesta atividade cuja função é arrumá-las na zona de <i>stock</i> central.	Zona de <i>stock</i> central (E)
Fila de Espera 1	Atividade Fictícia 1	Fila de Espera 3	As mercadorias provenientes da Fila de Espera 1 são divididas segundo a zona de processamento para que se devem dirigir.	-	Atividade 7	Ponto de Saída Fictício	-	Para garantir a entrada fictícia em <i>stock</i> das mercadorias provenientes da Atividade 1.	Zona de <i>stock</i> central (E)
Atividade Fictícia 1	Fila de Espera 3	Atividade Fictícia 2	As mercadorias aguardam tratamento (etiquetagem).	"Zona de convergência" (B1)	-	Ponto de Entrada 2	Fila de Espera 6	Ponto a partir do qual entram no modelo as unidades respeitantes às transferências de mercadorias.	Zona de <i>stock</i> central (E)
Fila de Espera 3	Atividade Fictícia 2	Atividades 1, 2 e 3	As mercadorias provenientes da Fila de espera 3 são divididas segundo a zona de processamento para que se devem dirigir (dependendo do tipo produto).	-	Ponto de Entrada 2	Fila de Espera 6	Atividade Fictícia 3	As mercadorias aguardam nesta fila.	-
Atividade Fictícia 2	Atividade 1	Fila de Espera 4	As mercadorias (família de produtos técnicos) são tratadas nesta atividade, cuja função é a etiquetagem, divisão por caixa e envio das caixas para o tapete rolante.	Processamento de mercadorias (C1)	Fila de Espera 6	Atividade Fictícia 3	Atividades 8 e 9	As mercadorias são divididas consoante o tipo de tratamento que lhes vai ser atribuído (tipo de transferência a efetuar - consolidada ou direta).	-
Atividade Fictícia 2	Atividade 2	Fila de Espera 4	As mercadorias (produtos da família de entretenimento) são tratadas nesta atividade, cuja função é a etiquetagem, divisão por caixa e envio das caixas para o tapete rolante.	Processamento de mercadorias (C1)	Atividade Fictícia 3	Atividade 8	Filas de Espera 3 e 8	As mercadorias são tratadas segundo o tipo de transferência consolidada.	Processamento de transf. Consolidada (3 b))
Atividade Fictícia 2	Atividade 3	Fila de Espera 4	As mercadorias (produtos da família de livros) são tratadas nesta atividade, cuja função é a etiquetagem, divisão por caixa e envio das caixas para o tapete rolante.	Processamento de mercadorias (C1)	Atividade Fictícia 1 e Atividade 8	Fila de Espera 8	Atividade 6	As mercadorias aguardam tratamento ("zona de ventilação").	-
Atividades 1, 2 e 3	Fila de Espera 4	Atividade 4	As mercadorias com destino às lojas aguardam nesta fila.	-	Fila de Espera 8	Atividade 6	Fila de Espera 9	As mercadorias são tratadas nesta atividade, cuja função é a divisão por loja e paletização.	"Zona de ventilação" (B2)
Fila de Espera 4	Atividade 4	Fila de Espera 5	As caixas provenientes das Atividades 1, 2 e 3, enviadas através do tapete rolante, são divididas por loja e paletizadas.	Zona de <i>sorter</i> (D)	Atividade 6	Fila de Espera 9	Atividade 5	As mercadorias aguardam nesta fila.	-
Atividade 4	Fila de Espera 5	Atividade 5	As mercadorias com destino às lojas aguardam nesta fila.	-	Atividade Fictícia 3	Atividade 9	Fila de Espera 7	As mercadorias são tratadas segundo o tipo de transferência direta.	Processamento de transf. Direta (3 a))
Fila de Espera 5	Atividade 5	Ponto de Saída	As paletes provenientes da Atividade 4 e Atividade 6 são enviadas para esta zona, para serem encaminhadas para os veículos de transporte.	Expedição de mercadorias (F)	Atividade 9	Fila de Espera 7	Atividade 5	As mercadorias aguardam nesta fila.	-
Atividade 5	Ponto de Saída	-	As mercadorias provenientes de três origens possíveis (Atividade 4, 6 e 9) saem do modelo.	-					

(continua)

3.3.3 – Pressupostos e simplificações

Após análise do sistema real, identificadas as entidades que o constituem e suas características, existem algumas considerações que devem ser assinaladas, bem como algumas simplificações, de modo a auxiliar na adaptação do sistema real ao simulador e como forma de uniformização no tratamento dos dados.

Em primeiro lugar, definiu-se que o minuto é a unidade de tempo utilizado, a jornada diária de trabalho tem oito horas, cinco dias por semana, de segunda a sexta-feira; em segundo, não se consideram restrições de custos nem de espaço físico em armazém, de modo a não limitar a simulação de outros cenários que possam eventualmente produzir alguma melhoria no sistema; em terceiro lugar, ao simular o modelo, considera-se o sistema a iniciar em zero, isto é, não existem mercadorias em armazém no momento inicial da simulação; em quarto lugar, no modelo, um item de trabalho representa, nesta aplicação, uma unidade de mercadoria processada; e por último, relativamente à recolha de dados, considera-se o período de 1 de março a 31 de agosto de 2018. Embora haja dados desde janeiro, a análise daquele período de seis meses permite uma maior uniformidade de trabalho, uma vez que nos meses de janeiro e fevereiro ainda se faz sentir o efeito sazonal (Natal) do ano anterior. Também não são considerados nem os fins-de-semana nem os feriados, pois não há trabalho prestado nestes dias.

3.4 – Descrição do modelo

De acordo com o descrito anteriormente, na Figura 3 encontra-se representado o modelo desenvolvido. Importa perceber quais os dados recolhidos que permitiram a parametrização de cada uma das entidades do modelo, isto é, a descrição dos parâmetros considerados para cada uma.

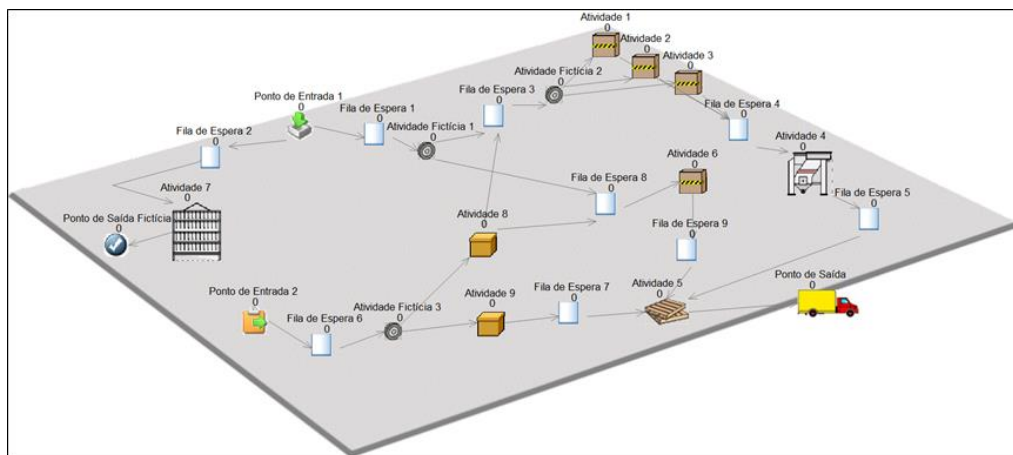


Figura 3 – Modelo construído ilustrado no *software* SIMUL8.

Para o **Ponto de Entrada 1**, foi definido um tempo entre chegadas de mercadorias (Elder, 2018). Sabendo que a taxa de chegadas traduz o número de chegadas por unidade de tempo, tem-se que:

$$(1) \text{ Tempo entre chegadas} = \frac{1}{\text{Taxa de chegadas}}$$

Os dados recolhidos para esta entidade dizem respeito à receção de mercadorias que a partir deste momento entram no sistema. Foi extraído, por dia, o número de unidades rececionadas, para o período já referido, perfazendo um total de 124 dias de análise. Foi calculado o número médio de unidades rececionadas por dia, obtendo-se 39.832 unidades. Posteriormente foi efetuado o cálculo com base na fórmula (2) e aplicada a equação (1), obtendo-se o resultado apresentado em (3):

$$(2) \text{ Média unid/hora} = 39\,832/8 \text{ horas} \sim 4979 \text{ unid/hora}$$

$$(3) \text{ Tempo entre chegadas} = \frac{1}{4979} = 0,00020 \text{ horas}$$

No entanto, como a unidade de tempo considerada é o minuto, tem-se:

$$(4) \text{ Tempo entre chegadas} = 0,00020 * 60 \text{ min} = 0,0121 \text{ minutos}$$

Assim, o tempo médio entre chegadas é de 0,0121 minutos. Para a parametrização desta e restantes entidades foi adotada a Distribuição Exponencial¹⁴. Foi também utilizada, na opção de *routing out* das entidades no simulador, a atribuição de percentagens. Esta opção permite dividir os itens de trabalho, encaminhando-os para entidades subsequentes a partir da entidade na qual se define o *routing out* (Simul8.com, 2018). O *routing out* associado às entidades do modelo é efetuado com base em percentagens conhecidas *a priori* decorrente da análise dos dados reais.

Com a atribuição de percentagens ao Ponto de Entrada 1, efetuou-se a divisão entre unidades rececionadas com destino direto às lojas e com destino à zona de *stock* central, isto é, passando pela Fila de Espera 1 ou 2, respetivamente. Com base nos dados recolhidos determinou-se que 88% da mercadoria tem como destino as lojas e 12% tem como destino armazenamento. Do Anexo 3 consta a Figura 1 com os menus do simulador nos quais foi efetuada a inserção destes dados.

As **Filas de Espera** funcionam apenas como objeto de passagem, nas quais as mercadorias aguardam por atividades disponíveis.

¹⁴ É comum a utilização desta distribuição em exercícios onde se pretende estudar tempos de chegada de determinado objeto, em que uma chegada é independente da próxima.

A **Atividade Fictícia 1** serve como um meio para definir o *routing out* das mercadorias, consoante a percentagem de produtos de cada dimensão. Definiu-se, de acordo com os dados, que 96% da mercadoria deve dirigir-se para a Fila de Espera 3 e 4% para a Fila de Espera 8. Neste tipo de atividades, que servem apenas para efetuar uma ligação entre filas de espera, com o objetivo de dividir os itens de trabalho pelos destinos, no campo da distribuição foi selecionada a função de distribuição “fixa”, com valor 0. Esta parametrização pode ser consultada no Anexo 3, Figura 2.

A **Atividade Fictícia 2** tem a mesma funcionalidade que a 1, mas neste caso pretende-se efetuar a distribuição de mercadoria pelas Atividades 1, 2 e 3, consoante a percentagem por tipologia de produto. Segundo os dados recolhidos, obtiveram-se as quantidades processadas por dia pela equipa de processamento de mercadorias por cada área - área de Produtos Técnicos (Atividade 1), Entretenimento (Atividade 2) e Livros (Atividade 3). Em média, 13% da mercadoria é processada pela Atividade 1, 26% pela Atividade 2 e 61% pela Atividade 3, tendo sido estas as percentagens consideradas para o direcionamento da mercadoria proveniente desta atividade fictícia (consultar Anexo 3, Figura 3).

As **Atividades 1, 2 e 3** representam a equipa de processamento de mercadorias. Consideraram-se três atividades para representar esta equipa visto que existe uma divisão interna em três subequipas – Produtos Técnicos, Entretenimento e Livros (consultar Anexo 1, Tabela 1) – aqui representadas por cada uma das atividades, respetivamente.

Os tempos médios de processamento por minuto foram calculados com base na produção de cada uma das equipas, por dia, e feita a equivalência para minutos. Para 124 observações calculou-se a média diária para cada uma das subequipas. Esta média foi dividida pela quantidade de réplicas para cada atividade obtendo-se os valores médios diários presentes na Tabela 2. Para cada uma destas, efetuou-se a divisão dos valores por oito horas de trabalho e seguidamente por 60 minutos.

Para calcular o tempo necessário para processar uma unidade (em minutos), usou-se a fórmula (5).

$$(5) \text{ Tempo final} = \frac{1}{\text{Média/min}}$$

Considera-se, ainda, para cada uma das atividades a funcionalidade de replicação. Assim, para cada uma destas, estão a ser considerados postos de trabalho iguais cujas características estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Parametrização das Atividades 1, 2 e 3.

	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3
Nº de réplicas	9	4	12
Média/dia	505,0	2223,6	1735,9
Média/hora	63,1	277,9	217,0
Média/min	1,1	4,6	3,6
Tempo final*	0,950	0,216	0,277

*Tempo necessário para processar uma unidade (em minutos)

Na Figura 4 do Anexo 3 podem observar-se os menus utilizados para efetuar esta parametrização.

Para a parametrização da **Atividade 4**, os dados recolhidos dizem respeito ao número de unidades paletizadas por dia pela equipa de expedição, que se ocupa tanto da Atividade 4 como da 5. Ainda relativamente à primeira, considerou-se necessários, em média, 0,012 minutos para processar uma unidade nesta atividade. Para a **Atividade 5** obteve-se o mesmo valor (ver Anexo 3, Figura 5). Seria expectável obter um tempo médio semelhante para ambas, visto que, por norma as unidades paletizadas por dia coincidem com as unidades efetivamente expedidas. São poucas as unidades paletizadas que permanecem em armazém de um dia para o outro, para serem expedidas no dia seguinte à paletização.

A **Atividade 7** representa o tempo necessário ao processamento de uma unidade com destino ao armazenamento, ou seja, a tarefa equivalente às atividades 1, 2 e 3, mas neste caso para as mercadorias que devem ser armazenadas em *stock*. Na Figura 6 do Anexo 3 pode ser consultada a janela do SIMUL8 com o tempo médio necessário para processar uma unidade nesta atividade, 0,096 minutos. Esta atividade foi incluída unicamente para assegurar a divisão de mercadorias com origem no Ponto de Entrada 1. Como se pode observar na Figura 3 do modelo, quando a mercadoria é encaminhada para este ramo, não tem continuidade para o restante percurso, não existindo um circuito fechado. A mercadoria armazenada em *stock* central é o ponto de origem das transferências, no entanto, como o modelo começa do zero, não existe mercadoria anterior ao início da simulação. Além disso, a mercadoria armazenada, não é solicitada na sua totalidade para transferir, tendo sido, por isso, criada a interrupção no circuito. A forma de introduzir a necessidade de unidades a transferir a partir do *stock* disponível em armazém foi com a inclusão de um novo ponto de entrada (fictício), que se descreve de seguida.

O **Ponto de Entrada 2** representa o número de unidades solicitadas para transferência por dia. O procedimento utilizado para o cálculo foi semelhante ao ponto

de entrada 1, obtendo-se, assim, o tempo médio entre chegadas de 0,097 minutos. Do Anexo 3 consta a Figura 7 com a parametrização desta entidade no simulador.

Na **Atividade Fictícia 3** foi considerado o *routing out* para as Atividades 8 e 9, em função do tipo de transferência a realizar. Segundo os dados, 91% das transferências são tratadas de forma consolidada e 9% de forma direta (ver Anexo 3, Figura 8). Estes dados foram obtidos com base nos pedidos de transferência e nas lojas que contêm, dada a especificidade das transferências diretas só serem efetuadas para duas lojas (aeroporto e armazém da internet). Consequentemente, as **Atividades 8 e 9**, que a sucedem, apresentam tempos médios calculados de acordo com estas percentagens. Ou seja, foi recolhido o número de transferências servidas por dia (em unidades) e foi calculada a média por dia. A esta média foram aplicadas as percentagens para atribuir a cada um dos tipos de processamento de transferência obtendo-se os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parametrização das Atividades 8 e 9.

	Total	Atividade 8	Atividade 9
Percentagens	100%	91%	9%
Média/dia	4656	4250,41	405,27
Média/hora	-	531,30	50,66
Média/min	-	8,86	0,84
Tempo final*	-	0,113	1,184

*Tempo necessário para processar uma unidade (em minutos)

O procedimento para a obtenção do tempo final foi semelhante ao anteriormente utilizado noutras atividades. Relativamente à Atividade 8, foi também considerado o *routing out* de mercadorias com destino à equipa de processamento de mercadorias, quer para as mesas de processamento através da Fila de Espera 3 (“zona de convergência”), com uma percentagem de 73%, quer para a “zona de ventilação”, através da Fila de Espera 8, com uma percentagem de 27%. Os dados introduzidos no simulador para estas atividades podem ser consultados no Anexo 3, Figuras 9 e 10.

A **Atividade 6**, parametrizada de forma idêntica às já referidas, contempla um tempo médio de processamento de 0,894 minutos, com réplica de três postos de trabalho iguais, dados estes inseridos no simulador que podem ser consultados no Anexo 3, Figura 11.

O **Ponto de Saída** assinala a saída das mercadorias do modelo, procedimento posterior à expedição. O **Ponto de Saída Fictício** assinala, não a saída de mercadoria, mas sim a “entrada” de mercadoria em *stock* e que vai permanecer armazenada em Armazém Central.

4 – ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 – Verificação e validação

O modelo foi simulado recorrendo à “condução de experiências”, com várias corridas por experiência. Para cada cenário alternativo são efetuadas quatro “experiências”, designadas doravante por “simulações”, representando um mês de funcionamento do sistema, ou seja quatro semanas. O número de “corridas” foi o recomendado pela ferramenta de cálculo desta funcionalidade, com base na precisão requerida (nível de confiança) para a estimação dos valores médios e respetivos intervalos de confiança, de modo a avaliar os resultados com base nos dados médios mensais, permitindo, desta forma, proceder à sua verificação e validação.

Para este efeito, dividiu-se o estudo em duas variantes: (I) modelo completo; e (II) modelo incompleto, do qual foi excluído o processo de transferência de mercadorias (simulando sem o Ponto de Entrada 2, as Filas de Espera 6 e 7, a Atividade Fictícia 3 e as Atividades 8 e 9), de forma a medir o impacto deste processo na produtividade da equipa de processamento de mercadorias.

Começou-se por simular a variante (I), e observou-se que o número de unidades a entrar, em média, no sistema através do Ponto de Entrada 2 (99 065) era superior ao número de unidades a “sair” através do Ponto de Saída Fictício (95 364). No entanto, o modelo foi desenvolvido, criando a interrupção do circuito entre estes dois pontos, no pressuposto de o número de unidades solicitadas a transferir ser menor do que a quantidade de mercadoria que entra para o *stock* do armazém (representado pelo Ponto de Saída Fictício), a partir do qual vão ser satisfeitas.

Contudo, ao verificar-se um fluxo de pedidos que excede o que se armazena, esta interrupção não faz sentido.

Para eliminar esta incoerência procedeu-se à alteração da configuração inicial (ver Anexo 4, Figura 1) interligando o circuito, eliminando o Ponto de Saída Fictício e o Ponto de Entrada 2, efetuando a ligação entre a Atividade 7 e a Fila de Espera 6.

Com a nova configuração, foram simuladas as variantes do modelo, recorrendo de igual forma à “condução de experiências”, para o mesmo número de entradas no sistema, através do Ponto de Entrada 1 (793 116 unidades) em ambas as variantes.

Analisando os resultados (ver Anexo 4, Tabela 1), constata-se que nas Filas de Espera 3 e 8, o número de unidades a entrar e o número de unidades que ficam retidas (conteúdo atual) é superior na variante (I). Nesta variante, considera-se o processo de

transferências, que incide diretamente nestas entidades, produzindo um maior fluxo de mercadorias, razão pela qual estes indicadores apresentam valores superiores em (I).

Quanto ao desempenho das atividades, deve observar-se o número de “trabalhos” concluídos, isto é, o número de itens de trabalho processados por cada uma das atividades (ver Anexo 4, Tabela 1). Para as Atividades 1, 2, 3 e 6 em (I) este indicador toma valores ligeiramente superiores aos de (II), o que se justifica pelo facto de estas atividades na variante (II) não processarem mercadorias vindas do *stock* em armazém, processando apenas unidades de *cross-docking*.

Os tempos médios e máximos de espera nas filas são outros importantes indicadores, pois permitem conhecer os tempos de permanência intermédios dos itens de trabalho, sugerindo, *a priori*, o nível de desempenho das atividades subsequentes, pois é destas que os itens dependem para avançar. Observa-se na tabela 1 do Anexo 4 valores bastante superiores na variante (I). Na Fila de Espera 3, o tempo médio de espera é cerca de 1 dia¹⁵ e na Fila de Espera 8 cerca de 3 dias e meio. Por outro lado, na variante (II) estes tempos reduzem-se para cerca de 1 minuto em ambas as filas.

O tempo de permanência no sistema é o indicador que engloba os tempos de permanência intermédios. O tempo máximo é cerca de 8 dias na variante (I) e 23 minutos na variante (II). Já o tempo médio no sistema, atinge cerca de 1 dia na variante (I), e cerca de 5 minutos na variante (II).

Com esta análise é possível verificar a influência do processo de transferências na “zona de convergência” e na “zona de ventilação”, representadas pelas Filas de Espera 3 e 8, respetivamente. Em termos de processos, o modelo está a representar as fases que compõem o Processo Logístico. Em termos numéricos, os resultados obtidos na variante (I) podem ser comparados com os do sistema real, como se pode observar no Anexo 4, Tabela 2. Nesta Tabela, apresentam-se os dados reais recolhidos e os resultados do modelo simulado (variante (I)) e respetivos desvios, para algumas fases do sistema/entidades do modelo. Verifica-se que, nos resultados da simulação, houve menos 3,7% de unidades rececionadas do que no sistema real e menos 12,7% de unidades expedidas.

¹⁵ Um dia é considerado um dia de trabalho com duração de 8 horas.

4.2 – “Condução de experiências”

No seguimento do subcapítulo anterior, aceita-se como adequada representação do sistema real o modelo com a nova configuração (sem a interrupção e com a ligação entre a Atividade 7 e a Fila de Espera 6 - Anexo 4, Figura 1), e que constitui o que se vai designar adiante por cenário inicial. Para avaliar o comportamento do modelo e interpretar os resultados, o funcionamento do sistema foi simulado recorrendo, como anteriormente justificado, à condução de quatro “simulações”. Foram obtidos os resultados para cada uma das “simulações”, para os valores médios, com intervalos de confiança a 95%, que podem ser consultados na Tabela 1 do Anexo 5 que servirá de apoio para a análise dos indicadores que se apresentam.

* Número de entradas e saídas do sistema

Pode observar-se que entram no sistema, em média, 793 116 unidades e são expedidas 724 242 unidades, o que significa que é expedida cerca de 91% da mercadoria rececionada.

* Indicadores para as Filas de Espera

Na **Fila de Espera 3** ficaram por processar, em média, 47 270 unidades, o que representa 6% das 731 531 unidades que, em média, entraram na fila.

Destas, em média, 669 820 unidades provêm da Atividade Fictícia 1 (*cross-docking*), correspondendo a 96% da média dos itens processados nesta atividade, e da Atividade 8 provêm 61 784 unidades (transferências), 73% da média dos itens processados. Assim, o peso das unidades que provêm das transferências (Atividade 8) é de cerca de 8%.

O tempo médio de espera na fila foi de 308 minutos e o tempo máximo foi de 619 minutos, o que equivale a cerca de 5 horas de trabalho e cerca de 1 dia e meio de trabalho, respetivamente.

Na **Fila de Espera 6** ficaram por processar 2635 unidades, em média, correspondentes a pedidos de transferência, o que representa cerca de 3% do total de entradas. O tempo médio de espera na fila foi de 139 minutos e o tempo máximo de 272 minutos, o que equivale a cerca de 2 horas e 4 horas de trabalho, respetivamente.

Na **Fila de Espera 8** ficam por processar uma média de 36% das unidades que entram. Destas, em média, 27 909 unidades provêm da Atividade Fictícia 1 (*cross-docking*), correspondendo a 4% dos itens processados e 22 852 unidades da Atividade 8

(transferências), 27% dos itens processados. O peso das que provêm das transferências (Atividade 8) é de cerca de 45%.

O tempo médio de espera foi de 1743 minutos e o tempo máximo de 3494 minutos o que equivale a cerca de 3 dias e meio e cerca de 7 dias de trabalho, respetivamente.

* Tempos de permanência no sistema

O tempo médio de permanência no sistema foi 387 minutos e o tempo máximo 3677 minutos, o que equivale, em média, a aproximadamente 1 dia e 7 dias e meio de trabalho, respetivamente.

* Indicadores para as Atividades

Na Tabela 1 do Anexo 5 está indicado o número de mercadorias processadas por cada uma das atividades (número de trabalhos completos). Contudo, para avaliar o nível de produtividade de cada uma das atividades, através da percentagem de tempo de trabalho, as atividades com réplicas foram decompostas. Paralelamente a esta “condução de experiências” foi conduzida uma outra, com as mesmas especificações, na qual se decompueram estas atividades. Os indicadores de estado¹⁶ (em percentagem de tempo) estão compilados na Tabela 2 do Anexo 5.

As **Atividades 1, 2, 3 e 6** apresentam, em média, para cada posto, uma percentagem de tempo de trabalho de 99%.

A **Atividade 4** trabalha, em média, durante 86% do tempo, a **Atividade 5** durante 91% e a **Atividade 7**, 95%. As **Atividades 8 e 9** trabalham ambas, aproximadamente, 99% do tempo de simulação.

Com a obtenção destes valores considera-se adequado o número de réplicas utilizadas para as Atividades, visto que a maioria apresenta percentagens de tempo de trabalho acima dos 90%.

* Atributos dos itens de trabalho

Foram associados atributos aos itens de trabalho no início da simulação, de modo a especificar a quantidade de mercadoria expedida, segundo a proveniência – se do processo de transferências, se de *cross-docking*. Para isso, definiu-se o atributo *merc* que foi associado à Atividade Fictícia 1 (*merc=1*) e à Atividade 7 (*merc=2*), porque estas são as primeiras atividades do circuito nas quais passa a existir a distinção na especificidade dos itens.

¹⁶ Percentagem de tempo de trabalho e percentagem de tempo a aguardar itens.

Após simular o modelo, é possível exportar para uma folha de Excel um relatório com a lista de itens expedidos assinalados com o respetivo valor de atributo. Estes resultados dizem respeito apenas à última “simulação”. Das 724 184 unidades expedidas (ver Tabela 4 coluna 4), 644 087 são mercadorias de *cross-docking* e 80 097 são transferências efetuadas. Na Figura 4, apresenta-se parte da folha de Excel com estes resultados, bem como os cálculos efetuados para a obtenção destes valores. Com estes indicadores, conclui-se que o peso das transferências na expedição total é, em média, 11%.

Tabela 4 – Resultados das “simulações” no cenário inicial.

Entidades	Indicadores	1	2	3	4
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3693,66	3659,77	3591,32	3761,46
	Tempo médio no sistema	395,22	378,82	386,30	389,42
	Nº de saídas	722974	725177	724633	724184

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMUL8 Flow File Version 1.00								
2	ID,Time,tipo	Tipo de Item				Nº de unidades			
3	1,4.61968,1	1	=DIREITA(A3;1)		<i>Cross-docking</i>	644087		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"1")	
4	2,4.69517,1	1			<i>Transferências</i>	80097		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"2")	
5	3,4.76758,1	1							
6	4,4.83557,1	1							
7	5,4.87607,1	1							

Figura 4 – Dados extraídos do Ponto de Saída e cálculos efetuados.

4.3 – Análise de sensibilidade à variação dos parâmetros

O cenário apresentado no ponto anterior (cenário inicial) é uma representação do sistema real, contudo, o objetivo último prende-se com a avaliação da hipótese formulada, ou seja, se a atribuição do processo de transferências unicamente à equipa de *stock* central representa otimização de recursos. Como tal, procedeu-se à alteração da estrutura e parâmetros do modelo, por forma a avaliar a sua sensibilidade face às alterações. Estas encontram-se estruturadas nos seguintes cenários, elencados neste subcapítulo.

No cenário I, retirou-se a Atividade 8 (transferências consolidadas), no cenário II, para além da exclusão da Atividade 8, foi reparametrizada a capacidade de processamento da Atividade 9 (transferências diretas) e, no cenário III, alterou-se a configuração e a parametrização da Atividade 9 por áreas de produto.

4.3.1 – Cenário I – Exclusão da Atividade 8

A Atividade 8 representa o procedimento de transferências efetuado de forma consolidada, que tem ligação com as zonas de “convergência” (Fila de Espera 3) e “ventilação” (Fila de Espera 8). Excluindo esta atividade e a Atividade Fictícia 3, que apenas serve para definir o *routing in* para as Atividades 8 e 9, como representado na Figura 1 do Anexo 6, e mantendo todas as outras entidades com a mesma parametrização, procedeu-se à “condução de experiências” com as mesmas especificações da já realizada anteriormente (consultar Anexo 6, Tabela 1).

Comparando os resultados para o cenário inicial e para o cenário I e analisando as variações, observa-se que, para o mesmo número médio de unidades a entrar no sistema, o fluxo de saída é inferior em I.

As Atividades 1, 2, 3, 4, 5 e 6 têm uma produtividade ligeiramente inferior face ao cenário inicial. A Atividade 6 é a que apresenta uma maior diminuição na produção, a rondar os 13%. Este resultado pode ser explicado pelo facto de as mercadorias de transferência terem maior impacto no desempenho desta atividade.

Para avaliar o desempenho das Atividades, recorreu-se à cópia do modelo (adaptado a este cenário) no qual estas são decompostas em postos de trabalho. Ao observar os valores presentes na Tabela 2 do Anexo 6, as Atividades 1, 2 e 3 mantiveram as percentagens de trabalho idênticas às do cenário inicial. A Atividade 6 diminuiu a percentagem de tempo de trabalho em 13 pontos percentuais, confirmando que o maior impacto da exclusão das transferências é sobre esta atividade. As restantes Atividades mantiveram também valores idênticos aos do cenário inicial.

A parte das transferências de forma consolidada não foi encaminhada para a Atividade 9 (transferências de forma direta), que manteve sensivelmente as mesmas unidades processadas. Ficam retidas na fila imediatamente anterior, Fila de Espera 6, cerca de 87 266 unidades (Anexo 6, Tabela 1), pois a Atividade 9 apenas teve capacidade para processar 8086.

Ainda que o tempo de permanência médio no sistema seja inferior, influenciado diretamente pelos tempos de permanência na Fila de Espera 8, não significa necessariamente uma melhoria, pois o tempo nesta fila só reduz por receber um menor fluxo de mercadorias.

Com este cenário não é possível concluir sobre a hipótese, no entanto importa saber o que aconteceria se se alargasse a capacidade da Atividade 9, o que se vai efetuar no próximo cenário.

4.3.2 – Cenário II – Reparametrização da Atividade 9

Neste cenário testa-se uma nova parametrização da Atividade 9, incluindo duas réplicas em vez de uma, com o tempo de processamento de 0,206 minutos cada. Este tempo foi calculado com base no valor real médio de unidades diariamente efetuadas de pedidos de transferência no armazém da FNAC. A este valor eram anteriormente imputadas as percentagens resultantes da divisão entre transferências diretas e consolidadas. Ao retirar a forma consolidada de realização deste processo, a Atividade 9 deve ser parametrizada por forma a servir esta quantidade diária. Importa perceber se com esta alteração a capacidade de produção da Atividade 9 é adequada comparativamente às capacidades das atividades que anteriormente se ocupavam da forma consolidada do processo de transferências (Atividades 1, 2, 3 e 6). Na Tabela 5 encontram-se os valores obtidos no cálculo do parâmetro.

Tabela 5 – Reparametrização da Atividade 9

	Atividade 9
Nº de réplicas	2
Média/dia	2327,84
Média/hora	290,98
Média/min	4,85
Tempo final*	0,206

*Tempo necessário para processar uma unidade (em minutos)

Os resultados da “condução de experiências” deste cenário podem ser consultados na Tabela 1 do Anexo 7, no qual se encontram os indicadores analisados.

Para o mesmo número de entradas, o número de saídas aumentou em cerca de 12% face ao cenário I, o que indica maior produção da Atividade 5 (expedição de mercadorias). As Atividades 1, 2, 3 e 6 mantiveram o mesmo nível de produção do cenário anterior.

A Atividade 9 processou 93 134 unidades, 85 048 unidades a mais do que no cenário I. Se se analisar o “número de trabalhos completos” pelas Atividade 8 e 9 no cenário inicial obtém-se o total de 92 722 unidades (ver Tabela 6). Neste cenário a Atividade 9 conseguiu produzir mais 412 unidades face ao trabalho das Atividades 8 e 9 no cenário inicial.

Tabela 6 – Comparação de resultados para as Atividades 8 e 9.

Entidades	Indicadores	Cenário inicial Média	Cenário II Média	Δ II vs. Inicial	Δ%
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84636,25	-	-	-
Atividade 9	Nº trabalhos completos	8086,00	93134,00	85048,00	1051,79%
TOTAL	Nº trabalhos completos	92722,25	93134,00	411,75	0,44%

Para este cenário foi também utilizado o atributo *merc* para os itens de trabalho associados à Atividade Fictícia 1 e à Atividade 7. Na Tabela 7 apresentam-se os resultados para as quatro “simulações”. Para a última “simulação” obteve-se um valor de 789 696 unidades expedidas. Destas, 93 096 são unidades de transferências e 696 600 são unidades de *cross-docking* (ver Figura 5). Perante este cenário o peso das transferências na expedição é cerca de 12%, valor ligeiramente superior ao valor do cenário inicial.

Tabela 7 – Resultados das “simulações” no cenário II.

Entidades	Indicadores	1	2	3	4
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	288,26	235,12	197,03	261,56
	Tempo médio no sistema	23,81	19,54	17,47	24,79
	Nº de saídas	789712	790777	791095	789696

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMUL8 Flow File Version 1.00								
2	ID,Time,tipo	Tipo de Item				Nº de unidades			
3	1,4.61968,1	1	=DIREITA(A3;1)		<i>Cross-docking</i>	696600		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"1")	
4	2,4.69517,1	1			<i>Transferências</i>	93096		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"2")	
5	3,4.76758,1	1							
6	4,4.83557,1	1							

Figura 5 – Dados extraídos do Ponto de Saída para o cenário II e cálculos efetuados.

Neste cenário as Atividades 1, 2, 3 e 6 mantiveram o mesmo nível de produção. A produtividade da Atividade 9 foi ligeiramente superior à soma das produtividades das Atividades 8 e 9 no cenário inicial, o que significa que com a reparametrização, a Atividade 9 consegue processar todas as transferências que antes se processavam de forma consolidada. Com este cenário pretendia-se apenas testar a capacidade da Atividade 9. Estas conclusões levam a considerar um cenário adicional, o seguinte, com uma nova parametrização para a Atividade 9. Assim, de seguida, efetua-se a divisão da Atividade 9 em áreas de produto, na tentativa de reproduzir o tipo de processamento das Atividades 1, 2 e 3 que antes também tratavam unidades de transferências (forma consolidada).

4.3.3 – Cenário III – Divisão da Atividade 9 por áreas de produto

A equipa de processamento de mercadorias está dividida em três subequipas, segundo as famílias de produtos. Considerou-se aplicar também esta divisão à Atividade 9, visto existirem capacidades de processamento diferentes em função dessas famílias. Assim, a Atividade 9 foi dividida em 3 secções, A, B e C (Figura 6).

Com base nas capacidades de processamento das Atividades 1, 2 e 3, parametrizaram-se as secções A e B da Atividade 9. Pretende-se que tenham níveis de produção iguais ou superiores aos do cenário inicial. Na Tabela 8, apresentam-se as capacidades das Atividades 1, 2, e 3 utilizadas no cenário inicial e a sua correspondência com as áreas de produto.

Tabela 8 – Capacidades das atividades de processamento no cenário inicial.

Atividade correspondente	Prod. Técnicos	Entretenimento	Livros
	At. 1	At. 2	At. 3
Capacidade das atividades*	1,05	4,63	3,62

*Unidades tratadas por minuto

Na Tabela 9 apresenta-se a mesma correspondência de atividade por área, com os cálculos efetuados para a parametrização da Atividade 9, com base no número médio de unidades transferidas por dia do armazém para as lojas da FNAC. Os números de réplicas indicados representam o número mínimo que garante uma aproximação às capacidades das atividades correspondentes indicadas na Tabela 8.

Tabela 9 – Cálculos efetuados para a parametrização da Atividade 9.

Atividade correspondente	Prod. Técnicos	Entretenimento	Livros
	At. 1	At. 2	At. 3
Nº Réplicas	3	1	1
Média (unidades/dia)	693,53	151,86	1315,34
Média (unidades/hora)	86,69	18,98	164,42
Capacidade das atividades*	1,44	0,32	2,74
Peso % transf.	44,7%	2,5%	26,4%

*Unidades tratadas por minuto

Com base nos dados da Tabela 9 atribuiu-se à secção A a área de Produtos Técnicos, constituída por três réplicas. À secção B atribuiu-se a junção entre as áreas de Entretenimento e Livros e apenas uma réplica, perfazendo uma capacidade de processamento de 3,06 unidades por minuto. Esta junção deveu-se ao reduzido peso da família de Entretenimento nas transferências efetuadas, não justificando uma réplica de forma individual.

A parametrização da secção C da Atividade 9, que diz respeito à área de produtos médio/grande volume, foi efetuada seguindo um raciocínio diferente.

No modelo inicial, é a Atividade 6 que se ocupa do processamento deste tipo de produtos. Numa tentativa de otimização de recursos e considerando a percentagem de tempo de trabalho desta atividade no cenário I (no qual se excluiu a ligação entre o processo de transferências e a atividade), de 86%, considerou-se voltar a incluir a ligação entre o processo de transferências e a Atividade 6. Assim, esta tipologia de artigos é de novo enviada para a Atividade 6, como no cenário inicial, segundo o tipo de transferência consolidada.

A parametrização utilizada para as três secções da Atividade 9 é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Parametrização da Atividade 9.

	Prod. Técnicos	Entretenimento + Livros	M/G Volume
Ativ. 9	A	B	C
Nº Réplicas	3	1	1
Capacidade das atividades*	1,44	3,06	2,52
Tempo final**	0,692	0,327	0,397
Peso % transf.	44,7%	28,9%	26,4%

*Unidades processadas por minuto

**Tempo necessário para processar uma unidade (em minutos)

No simulador, foram incluídas as secções A, B e C da Atividade 9, assinaladas na Figura 6.

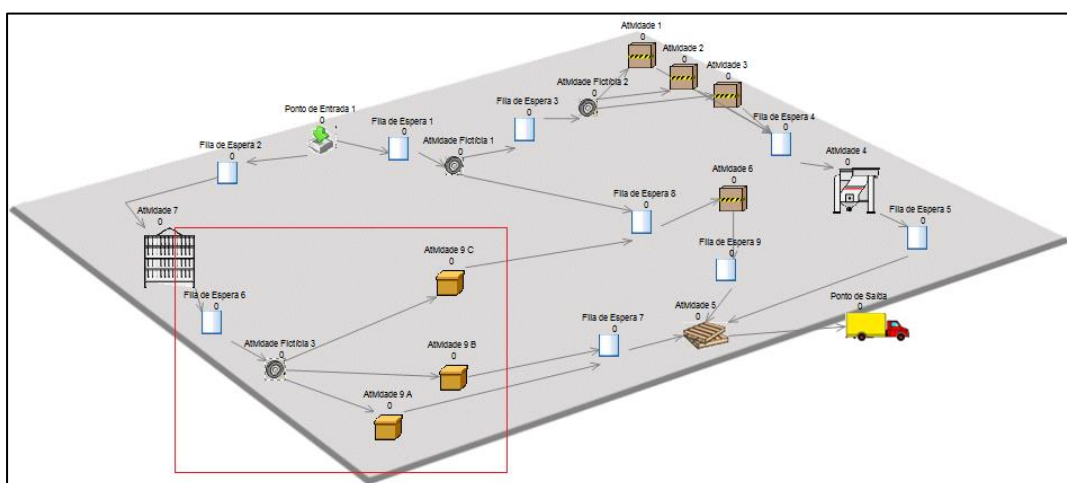


Figura 6 – Inclusão das secções A, B e C da Atividade 9 no modelo (cenário III).

Foi também efetuada a distribuição de mercadorias, por secção, pelo *routing out* da Atividade Fictícia 3, introduzida neste cenário, de acordo com as percentagens das famílias de produtos que figuram na Tabela 10.

Contemplando as alterações apresentadas nos pontos anteriores, o modelo foi sujeito a uma “condução de experiências” de forma idêntica aos cenários anteriores e os resultados comparados com os do cenário inicial, apresentados na Tabela 1 do Anexo 8.

* Número de entradas e saídas do sistema

Para o mesmo número de entradas que nos cenários anteriores, constata-se que é expedida 97% da mercadoria rececionada. Face ao cenário inicial, houve um aumento de cerca de 7% de mercadoria expedida.

* Indicadores para as Filas de Espera

Para a **Fila de Espera 3** o número de entradas foi 9% inferior ao do cenário inicial, e permanecem na fila menos unidades no final da simulação, o que se justifica pela eliminação da Atividade 8. Quanto aos tempos de espera, obteve-se um tempo médio de menos de um minuto e um tempo máximo de 4 minutos, ao invés de 5 horas e 1 dia de trabalho, respetivamente, no cenário inicial.

Na **Fila de Espera 8**, o número de entradas aumentou em 3% e permaneceram na fila mais 7% de unidades, face ao cenário inicial. Relativamente aos tempos de espera, o tempo médio de espera foi de cerca de 4 dias e o tempo máximo cerca de 8 dias de trabalho, o que revela um aumento de cerca de 1 hora e cerca de 2 horas, respetivamente, face ao cenário inicial.

* Tempos de permanência no sistema

O tempo médio de permanência no sistema, dos itens que atingem o Ponto de Saída, foi aproximadamente de 1 hora e meia de trabalho e o tempo máximo de 8 dias. O tempo médio melhorou face ao cenário inicial, em cerca de 5 horas e o tempo máximo aumentou cerca de 20 minutos.

* Indicadores para as Atividades

O desempenho das **Atividades 1, 2, 3 e 4** foi semelhante aos cenários anteriores, nos quais se observou uma diminuição na produção (por não processarem unidades de transferência), com exceção da **Atividade 5**, que processou mais 7% face ao cenário inicial. A **Atividade 6** conseguiu igualar o nível de produção do cenário inicial, o que valida a decisão da ligação entre o processo de transferências e esta Atividade.

Quanto à **Atividade 9**, comparando com a totalidade de unidades produzidas pelas Atividades 8 e 9 do cenário inicial, foram processadas mais 2,28% de unidades, tal como se pode observar na Tabela 11.

Tabela 11 - Comparação de resultados para as Atividades 8 e 9.

Entidades	Indicadores	Cenário inicial Média	Cenário III Média	Δ III vs. Inicial	Δ%
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84636,25	-	-	-
Atividade 9	Nº trabalhos completos	8086,00	94831,75	86745,75	1072,79%
TOTAL	Nº trabalhos completos	92722,25	94831,75	2109,50	2,28%

De forma idêntica ao cenário inicial, na Tabela 2 do Anexo 8 apresenta-se uma tabela com a distribuição de percentagens de tempo de trabalho por entidade para este cenário.

As Atividades 1, 2, 3, 4 e 7 atingiram valores percentuais idênticos aos do cenário inicial. A Atividade 5 aumentou para os 96,5%. A Atividade 6, após ter diminuído a percentagem de tempo de trabalho no cenário I (Anexo 6, Tabela 2), conseguiu recuperar para os 99% igualando o cenário inicial, graças à ligação novamente efetuada entre o processo de transferências e esta atividade.

Relativamente à Atividade 9 e às suas secções (A, B e C), observa-se que a percentagem de tempo de trabalho é elevada para as três, a rondar os 99%, o que demonstra um bom desempenho.

* Atributos dos itens de trabalho

A última análise e comparação incide na diferenciação do tipo de mercadoria expedida pelo atributo *merc.* Para a quarta “simulação” obtêm-se de 771 196 unidades expedidas (ver Tabela 12 coluna 4), das quais 85 378 são transferências e 685 818 são mercadorias de *cross-docking* (ver Figura 7). Perante estes resultados as transferências pesam cerca de 11% na expedição.

Tabela 12 - Resultados das “simulações” no cenário III.

Entidades	Indicadores	1	2	3	4
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3727,82	3686,38	3618,13	3766,93
	Tempo médio no sistema	89,92	86,28	82,97	88,17
	Nº de saídas	771611	772610	773251	771196

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SIMUL8 Flow File Version 1.00								
2	ID,Time,tipo	Tipo de Item				Nº de unidades			
3	1,4.63965,1	1	=DIREITA(A3;1)		Cross-docking	685818		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"1")	
4	2,4.71514,1	1			Transferências	85378		=CONTAR.SE(\$B\$3:\$B\$724186;"2")	
5	3,4.78755,1	1							
6	4,4.85554,1	1							

Figura 7 – Dados extraídos do Ponto de Saída para o cenário III e cálculos efetuados.

4.3.4 – *Súmula*

Em síntese, com o desenvolver destes cenários, pode-se concluir acerca da hipótese formulada.

No cenário inicial confirmou-se a existência de constrangimento nas zonas identificadas como críticas (“zona de convergência” e “zona de ventilação”), representadas pelas Filas de Espera 3 e 8.

No cenário I, ao excluir a Atividade 8 que é o elo entre as equipas de processamento e de *stock* central, confirma-se a influência do processo de transferências no desempenho das Atividades de processamento (1, 2, 3 e 6). Tal verifica-se principalmente na Atividade 6, pois foi a que mais diminuiu a produção e a que menor percentagem de tempo de trabalho apresentou com a eliminação da ligação entre o processo de transferências e estas atividades.

No cenário II, parametrizou-se a Atividade 9 no sentido de reproduzir o número de transferências efetuadas a partir do armazém e avaliar se esta seria capaz de processar a totalidade de transferências. Contudo, esta parametrização ainda não era a pretendida, uma vez que não estava a reproduzir a capacidade das atividades de processamento de mercadorias.

No cenário III, efetuou-se a divisão da Atividade 9 em secções de produto para tentar reproduzir a capacidade das atividades de processamento de mercadoria que anteriormente também se ocupavam do processamento de mercadorias vindas das transferências.

Com as alterações no cenário III, foram incluídos mais 3 postos de trabalho, o que significa que a equipa de *stock* central, é agora constituída por 5 elementos.

O incremento de postos de trabalho, a desempenhar uma função já existente no Processo Logístico (idênticas às dos postos de processamento), implica acréscimo de espaço em armazém e custos associados a novos equipamentos. As secções A e B, com três e um posto, respetivamente, necessitam de mesas de processamento e uma zona alternativa à “zona de sorter”, que permita a organização das caixas por loja para proceder à paletização de forma mais eficiente. A secção C ocupa-se da forma consolidada de transferências, função idêntica à da Atividade 8 no cenário inicial, com a particularidade de agora processar apenas produtos de Médio/Grande Volume.

Para o modelo desenhado e cenários desenvolvidos a hipótese não foi totalmente validada uma vez que o processo de transferências não foi atribuído unicamente à

equipa de *stock* central. Desta forma, conseguiu-se otimizar os três postos de trabalho da Atividade 6 que, com a exclusão do processo de transferências (no cenário I), trabalharam apenas em 87% do tempo. Ao incluir novamente a ligação com o processo de transferências, a percentagem de tempo de trabalho igualou a do cenário inicial, 99%.

Ainda assim, com a construção deste último cenário, observou-se um aumento nas expedições, face ao cenário inicial, ainda que o peso das transferências seja de 11% em ambos os cenários; as secções A e B da Atividade 9 estão a reproduzir o comportamento das atividades de processamento de mercadorias (Atividades 1, 2 e 3) e a Atividade 9 está a produzir maior quantidade de unidades de transferências do que as atividades que no cenário inicial se ocupavam dessa tarefa (Atividades 8 e 9).

Por fim, importa referir que o nível de produção das atividades de processamento de mercadorias, decorrente da exclusão do processo de transferências, e associada à parametrização fixa do Ponto de Entrada 1, não permite que este nível de produção iguale ou supere o que se obtém quando as atividades produzem mercadorias de *cross-docking* e unidades de transferências.

Posto isto, a solução poderia passar pela utilização da versão profissional do *software* SIMUL8, permitindo programar em VBA para que se obtivesse um aumento variável no número de unidades de entrada no sistema (Ponto de Entrada 1), de acordo com a capacidade das atividades de processamento de mercadorias.

CONCLUSÃO

A consistência da estratégia de uma empresa assenta no grau de adequação dos seus recursos e competências. Foi com este sentido que a FNAC, que opera no mercado português há 20 anos, atingiu a sua notoriedade.

Com o objetivo de garantir, ou melhorar, este grau de consistência, em conjunto com a empresa foi identificado o objeto de estudo deste Projeto, que incide sobre o Processo Logístico, em particular sobre um subprocesso deste – o processo de transferência de mercadorias efetuado a partir do Armazém Central para as lojas.

O problema identificado no processo de transferências diz respeito à dependência que a sua execução tem de duas equipas distintas – a equipa de *stock* central e a equipa de processamento de mercadorias. Esta dependência e ligação entre as duas equipas provoca um acumular de mercadorias em duas zonas críticas, nas quais estas aguardam processamento. A partir desta premissa, formulou-se a hipótese da atribuição do processo de transferências unicamente à equipa de *stock* central, verificando se tal proporcionava uma otimização de recursos.

Recorrendo à metodologia de simulação e ao programa SIMUL8, foi desenvolvido um modelo que reproduzisse o Processo Logístico e os seus subprocessos. Confirmou-se a existência de constrangimento nas zonas identificadas como críticas e submeteu-se o modelo a uma análise de sensibilidade, com a qual se verificou a influência do processo de transferências no desempenho da equipa de processamento de mercadorias. Contudo, a hipótese não foi validada com sucesso.

O processo de transferências não foi atribuído unicamente à equipa de *stock* central, uma vez que não reproduzia uma otimização de recursos. Assim, decidiu-se manter a ligação com a equipa de processamento de mercadorias numa das zonas, dado que esta equipa não iria empregar a sua capacidade máxima. Verificou-se, com este cenário alternativo, um aumento de 7% nas unidades expedidas em relação ao cenário inicial.

Com base nos indicadores referidos na análise de resultados para cada uma das entidades do modelo e incorporando uma adequada orçamentação das despesas inerentes a esta reestruturação, poder-se-ia, eventualmente, avançar para uma simulação da reestruturação do armazém e verificar se compensaria ou não incorrer nos custos associados.

Um trabalho de projeto desta natureza, por mais completo que estivesse, nunca poderia ser dado como terminado pelo contexto em que foi elaborado, em constante mudança, sujeito aos constrangimentos do comércio de retalho e aos perfis de novos clientes que influenciam as estratégias de negócio. Assim sendo, este projeto apresenta-se como o primeiro passo da escalada para novos desafios.

Como trabalhos futuros, sugere-se, para além da análise de novos cenários recorrendo a ferramentas de simulação, o estudo da relação custo-benefício relativa à implementação desta reestruturação ao Processo Logístico no armazém da FNAC, ou outros de organização funcional semelhante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashayeri, J. & Gelders, L.F. (1985). Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research* 21, 285-294.
- Banks, J. (1999). Introduction to Simulation. *Winter Simulation Conference*, 7-13.
- Banks, J. & Gibson, R. (1998). Simulation Evolution. *IIE Solutions*, 26-29.
- Bellman, R. (1956). On the Theory of Dynamic Programming—A Warehousing Problem. *Management Science* 2, 272-275.
- Bowersox, D. & Closs, D. (1996). *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. New York: McGraw-Hill.
- Carvalho, J. (2017). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*, 2ª Ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- Charnes, A. & Cooper, W. (1955). Generalizations of the Warehousing Model, *Journal of the Operational Research Society* 6, 132-133.
- Crainer, S. (1999). *As Melhores Citações de Gestão*. Linda-a-Velha: Abril/Controljornal Editora, Lda.
- Eastman, W. (1959) A Note on the Multi-Commodity Warehouse Problem. *Management Science* 5, 330-331.
- Elder, M. (2014). *10 DES View on Simulation Modelling: SIMUL8*. Em: Brailsford, S., Churilov, L. & Dangerfield. *Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making*. Wiley Series in Operations Research and Management Science, Wiley, pp. 199-214.
- Elder, M. (2018). Simulation News and Information Blog from SIMUL8. [Em linha] SIMUL8 Blog. Disponível em: <https://blog.simul8.com> [Acesso a 02/04/2018].
- FNAC Darty. (2019). Notre histoire - Fnac Darty. [Em linha] Disponível em: <http://www.fnacdarty.com/notre-groupe/notre-histoire/> [Acesso a 7/01/2019].
- FNAC Portugal. (2019). Portal de Emprego Corporativo. [Em linha] Disponível em: <http://recrutamento.fnac.pt/page/1506625929> [Acesso a 7/01/2019].
- Ghiani, G., Laporte, G. & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Goetschalckx, M. & Ratliff, H. (1990) Shared Storage Policies Based on the Duration Stay of Unit Loads. *Management Science* 36, 1120-1132.

- Goldsman, D., Nance, R. & Wilson, J. (2009). A Brief History of Simulation. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 310-313.
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research* 177,1–21.
- Heragu, S., Du, L., Mantel, R. & Schuur, P. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research* 43, 327-338.
- Kłodawski, M., Jacyna, M., Lewczuk, K., & Wasiak, M. (2017). The Issues of Selection Warehouse Process Strategies. *Procedia Engineering* 187.
- Law, A. & Kelton, W. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. 2^a Ed. New York: McGraw-Hill.
- Macro, G. & Salmi, E. (2002). A Simulation Tool to Determine Warehouse Efficiencies and Storage Allocations. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*.
- Maria, A. (1997). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*.
- Priberam Informática, S. (2018). Significado/definição de computação no Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. [Em linha] Disponível em: <https://www.priberam.pt/dlpo/computa%C3%A7%C3%A3o> [Acesso em: 12/05/18].
- Promodel.com. (2019). ProModel - Better Decisions Faster. [Em linha] Disponível em: <https://www.promodel.com/> [Acesso a 7/01/2019].
- Puterman, M. (2005). *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm V., Houtum, G.J., Mantel R.J. & Zijm W.H.M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 515-533.
- Simul8.com. (2018). SIMUL8 Help Center [SIMUL8 Resource Center]. [Em linha] Disponível em: <https://www.simul8.com/support/help/doku.php> [Acesso entre maio e agosto de 2018].
- Wijk, A.C.C. van, Adan, I.J.B.F. & Houtum, G.J. van, (2013). Optimal Allocation Policy for a Multi-location Inventory System with a Quick Response Warehouse. *Operations Research Letters*.
- Wolsey, A. & Yaman, H. (2017). Convex Hull Results for the Warehouse Problem. *Center for Operations Research and Econometrics*. Core Discussion Paper 2017/21.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 1 – Resumo dos departamentos/famílias existentes.

		Departamentos/Famílias	
		Código	Descrição
Produtos Técnicos		1001	Tv Video
		1002	Foto
		1003	Som
		1004	Casa
		1102	Telecomunicações
		1103	Burótica
		1104	Informática
Produtos Editoriais	Entretenimento	2001	Discos Áudio
		2002	Discos Vídeo
		2003	Gaming
		2004	Instrumentos Musicais
	Livros	3001	Livros
		3003	Papelaria
		3004	Jogos e Brinquedos

Tabela 2 - Tabela resumo com as lojas Fnac.

Número de loja	Descrição	Data de criação
1	Colombo	12/07/2000
2	NorteShopping	12/07/2000
3	Chiado	12/07/2000
4	Cascais	12/07/2000
5	Santa Catarina	12/07/2000
7	Almada	10/07/2002
8	Gaia	09/07/2003
9	Algarve	07/02/2005
10	Coimbra	12/12/2005
11	Fnac.pt	22/03/2006
12	Madeira	22/11/2006
13	Braga	09/08/2007
14	Alfragide	15/08/2007
15	Viseu	15/03/2008
16	MarShopping	15/09/2008
17	Vasco da Gama	15/09/2008
18	Guimarães	30/11/2009
19	Leiria	15/04/2010
20	Aeroporto	01/07/2013
21	Amoreiras	01/11/2013
22	Setúbal	11/09/2014
23	Faro	16/09/2014
24	Oeiras	01/10/2014
25	IST	07/09/2015
26	Saldanha	01/10/2016
27	Lagos	01/07/2017
28	Vila Real	15/07/2017
29	Loulé	30/07/2017
30	Évora	01/10/2017
31	Montijo	02/11/2017
98	Armazém	12/07/2000

A cada loja é atribuído um número por ordem crescente segundo a antiguidade da loja. Ao Armazém Central foi atribuído um número arbitrário grande o suficiente para que não seja confundido com um número de loja.

ANEXO 2

Figura 1 – Modelo de programação linear de Cahn (Charnes e Cooper (1955), pág. 132-133).

2. Analytical Formulation of the Model—Single Product Case

The following analytical representation of the warehousing problem will provide a basis for subsequent discussion. Let

B = the fixed warehouse capacity,
 A = the initial stock in the warehouse.

Consider a seasonal product to be bought (or produced) and sold for each of $i = 1, 2, \dots, n$ periods. For the i^{th} period, let

c_i = cost per unit,
 p_i = selling price per unit,
 x_i = amount bought (or produced),
 y_i = amount sold.

The constraints are as follows:

- (1) Buying constraints: The stock on hand at the end of the i^{th} period cannot exceed the warehouse capacity.
- (2) Selling constraints: The amount sold in the i^{th} period cannot exceed the amount available at the end of period $(i-1)$.
- (3) Non-negativity constraints: Amounts purchased or sold in any period are non-negative.

In mathematical form, the buying constraints become

$$A + \sum_{j=1}^i (x_j - y_j) \leq B, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

The selling constraints become

$$y_i \leq A + \sum_{j=1}^{(i-1)} (x_j - y_j), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Note: For $i = 1$, this condition reduces to

$$y_1 \leq A,$$

For $i = 2$, the selling constraint is

$$y_1 + y_2 \leq A + x_1,$$

and so on.

The non-negativity requirements are

$$x_j, y_j \geq 0, \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

The objective is to maximize the profit functional

$$\pi = \sum_{j=1}^n (p_j y_j - c_j x_j), \quad (4)$$

subject to the buying, selling, and non-negativity constraints.

The constraints may now be rewritten for convenience in obtaining the dual formulation:

$$\sum_{j=1}^i x_j - \sum_{j=1}^i y_j \leq B - A, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.1)$$

$$-\sum_{j=1}^{(i-1)} x_j + \sum_{j=1}^i y_j \leq A. \quad (2.1)$$

$$x_j, y_j \geq 0, \quad (3.1)$$

and the functional (to be maximized) may be written as:

$$\pi = \sum_{j=1}^n (-c_j x_j) + \sum_{j=1}^n p_j y_j. \quad (4.1)$$

ANEXO 3

Figura 1 - Janelas de SIMUL8 com parametrização do Ponto de Entrada 1.

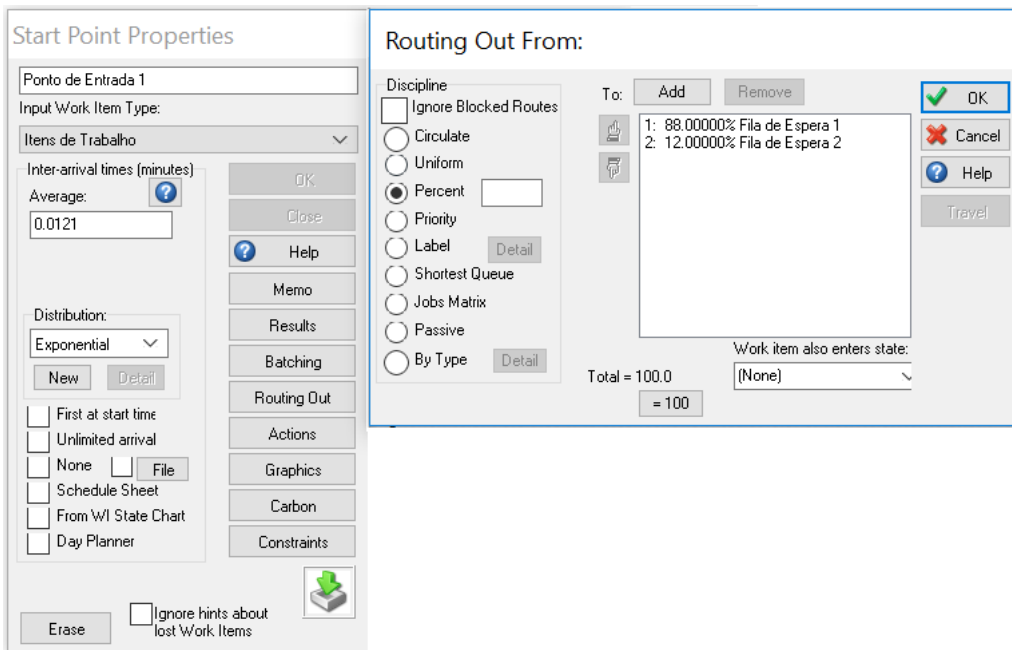


Figura 2 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade Fictícia 1.

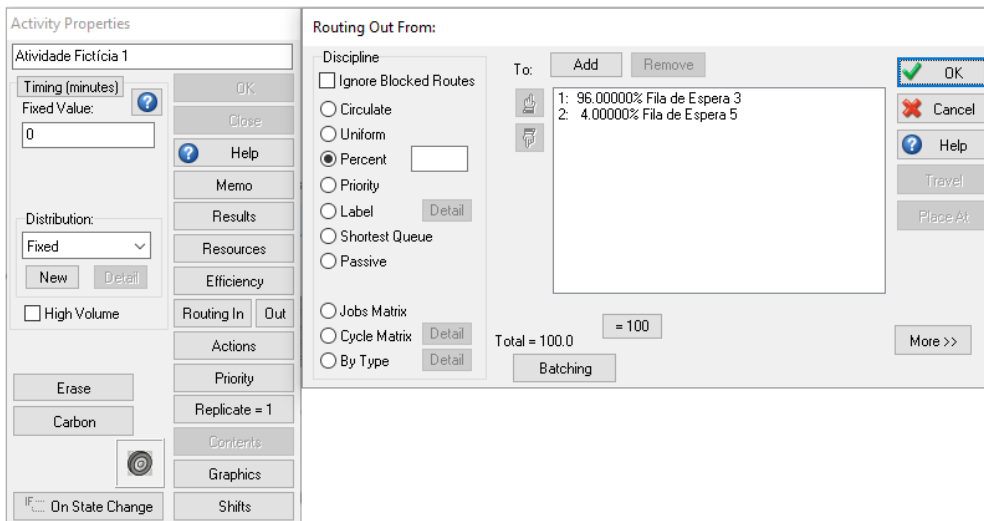


Figura 3 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade Fictícia 2.

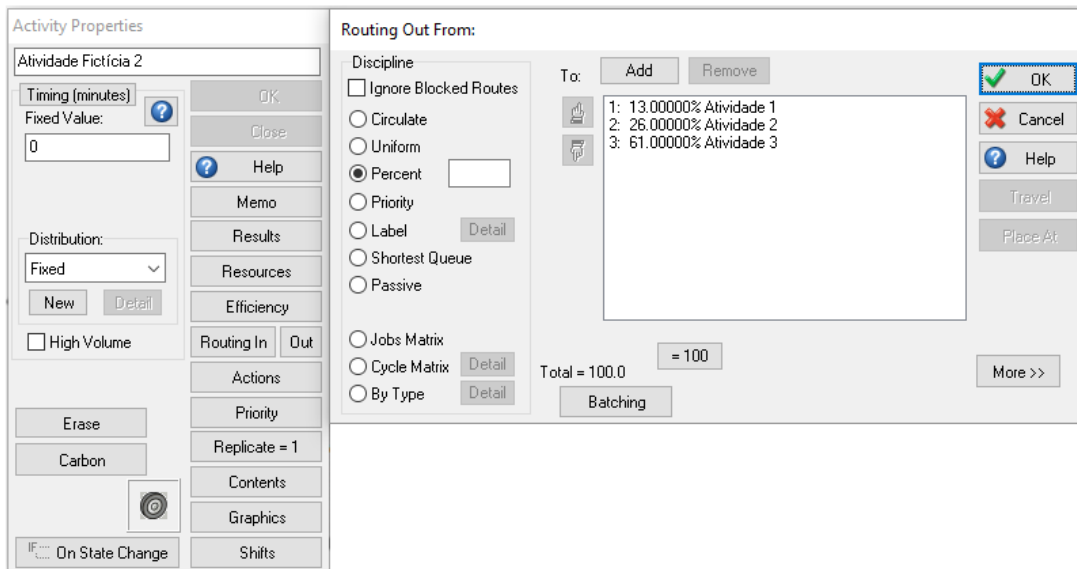


Figura 4 - Janelas de SIMUL8 com parametrização das Atividades 1, 2 e 3.

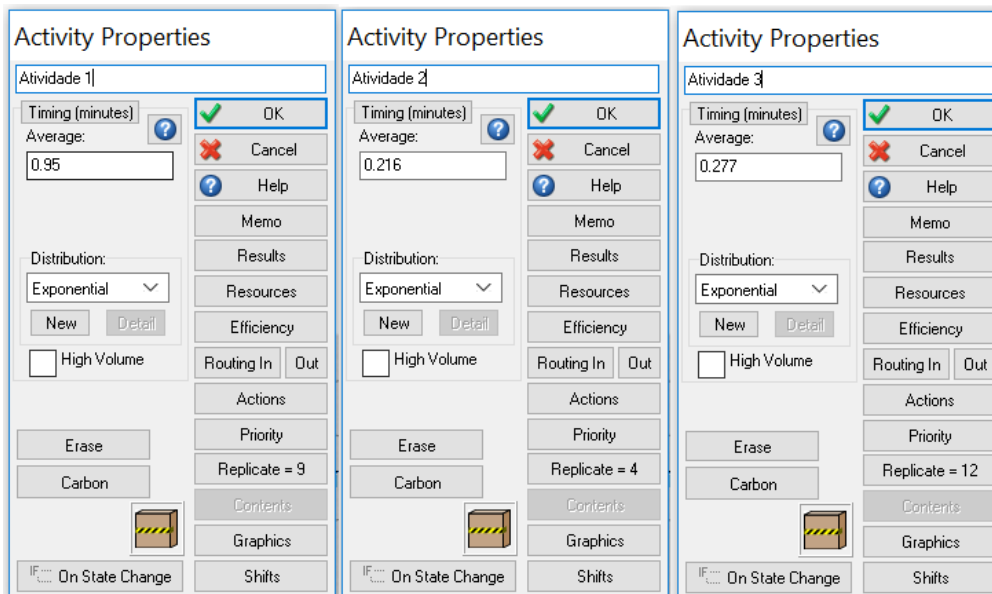


Figura 5 - Janelas de SIMUL8 com parametrização das Atividades 4 e 5.

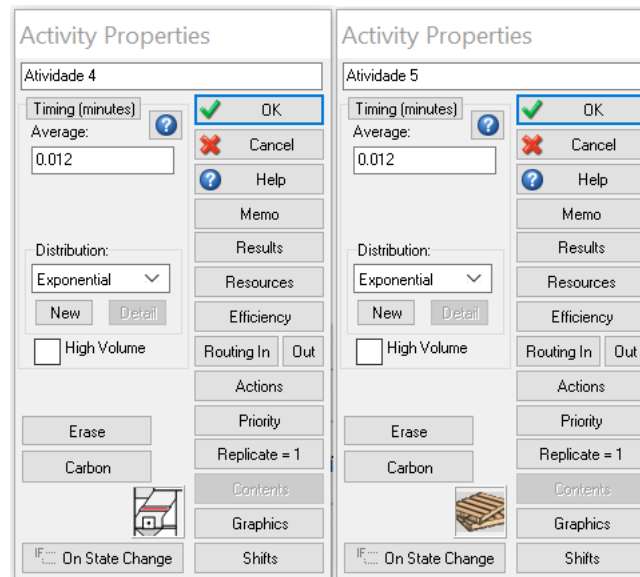


Figura 6 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade 7.

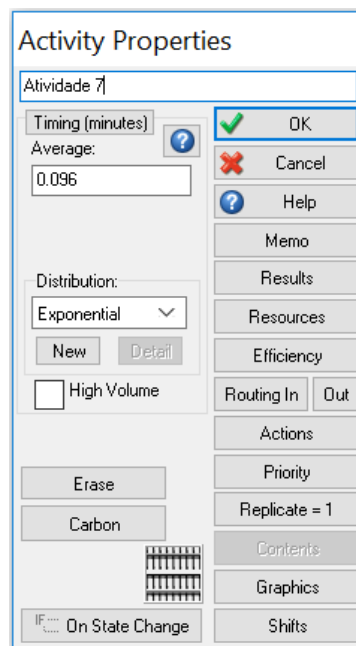


Figura 7 - Janelas de SIMUL8 com parametrização do Ponto de Entrada 2.

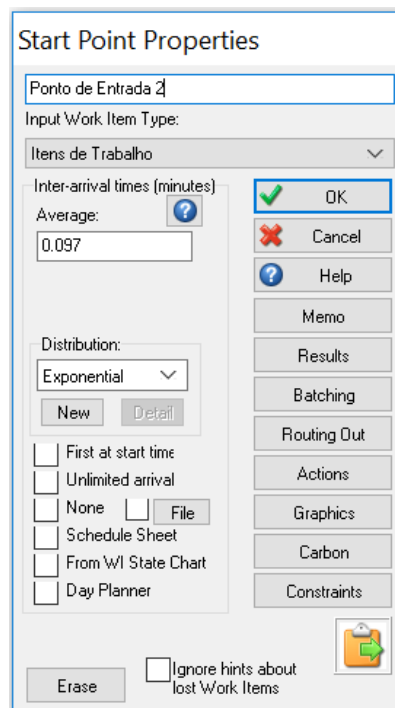


Figura 8 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade Fictícia 3.

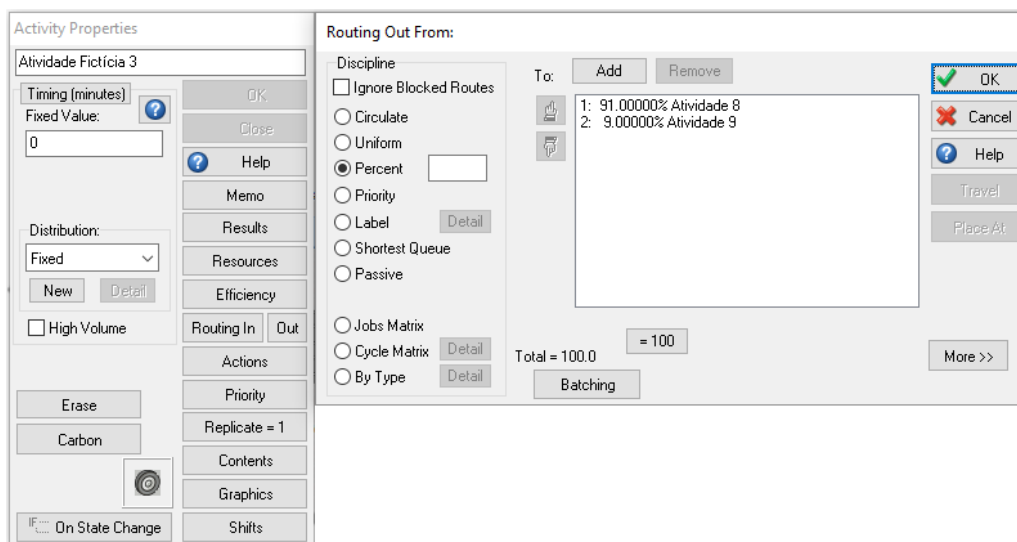


Figura 9 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade 8.

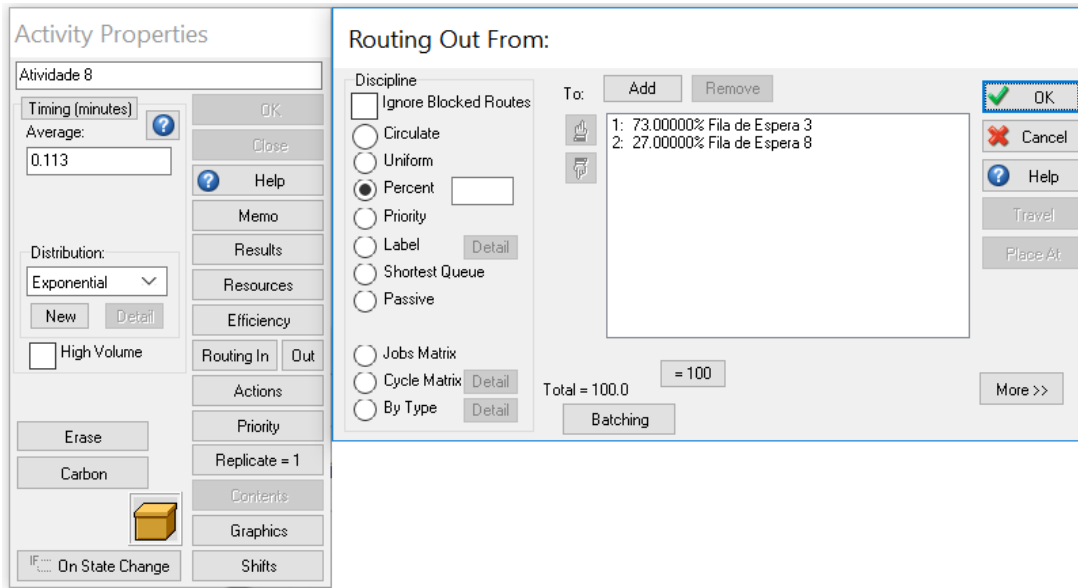


Figura 10 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade 9.

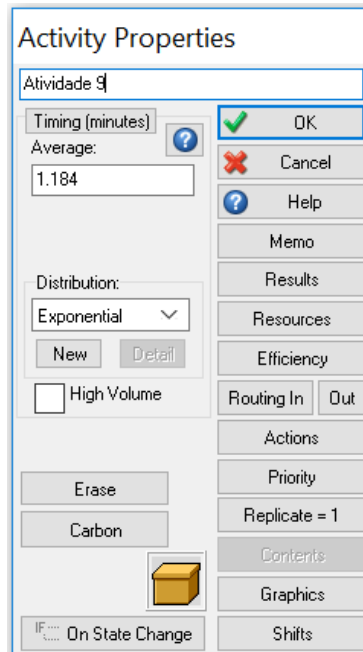
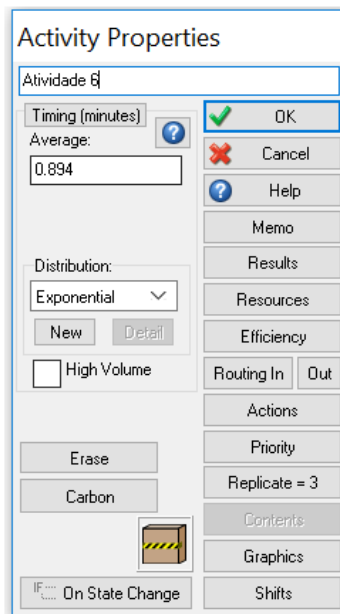


Figura 11 - Janelas de SIMUL8 com parametrização da Atividade 6.



ANEXO 4

Figura 1 - Modelo com alterações efetuadas no procedimento de entrada dos pedidos de transferência.

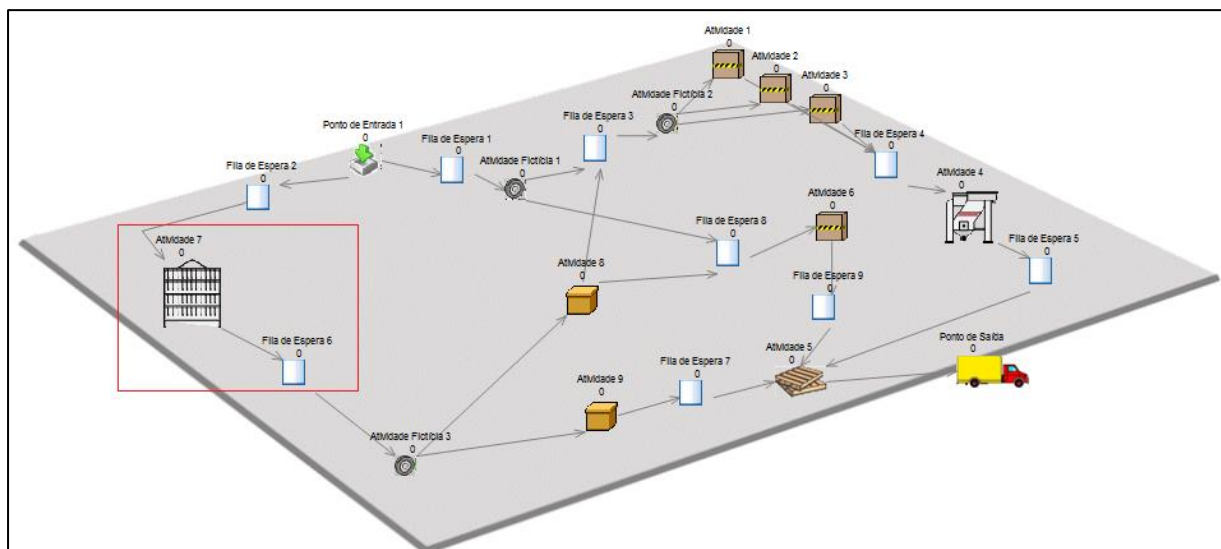


Tabela 1 – Quadro resumo dos resultados obtidos para os objetos da simulação para a verificação do modelo.

Modelo com processo de transferências (I)			Horas	Dias	Modelo sem processo de transferências (II)		
Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793116	-	-	Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793116
	Conteúdo atual	47270	-	-		Conteúdo atual	62
Fila de Espera 3	Nº entradas	731531	-	-	Fila de Espera 3	Nº entradas	669676
	Tempo médio de espera	307,76	5,13	0,64		Tempo médio de espera	0,56
	Tempo máximo na fila	618,66	10,31	1,29		Tempo máximo na fila	4,44
Fila de Espera 8	Conteúdo atual	18521	-	-	Fila de Espera 8	Conteúdo atual	9
	Nº entradas	50748	-	-		Nº entradas	27981
	Tempo médio de espera	1743,52	29,06	3,63		Tempo médio de espera	1,70
Atividade 1	Tempo máximo na fila	3493,89	58,23	7,28	Atividade 1	Tempo máximo na fila	14,26
	Nº trabalhos completos	90898	-	-		Nº trabalhos completos	89816
Atividade 2	Nº trabalhos completos	177633	-	-	Atividade 2	Nº trabalhos completos	172536
Atividade 3	Nº trabalhos completos	415704	-	-	Atividade 3	Nº trabalhos completos	407238
Atividade 6	Nº trabalhos completos	32224	-	-	Atividade 6	Nº trabalhos completos	27969
Ponto de Saída	Nº saídas	724242	-	-	Ponto de Saída	Nº saídas	697268
	Tempo médio no sistema	387,44	6,46	0,81		Tempo médio no sistema	5,90
	Tempo máximo no sistema	3676,55	61,28	7,66		Tempo máximo no sistema	23,15

(continua)

Tabela 2 – Quadro comparativo dos resultados obtidos com o modelo (variante I) face ao sistema real.

Fases Sistema Real	Dados reais	Entidades modelo	Resultados da simulação	Desvio
Unidades Rececionadas	823.196	Ponto de Entrada 1	793.116	-3,7%
Unidades Expedidas	829.332	Ponto de Saída	724.242	-12,7%
Unidades Processadas				
- Prod. Técnicos	93.173	Atividade 1	90.898	-2,4%
- Entretenimento	183.816	Atividade 2	177.633	-3,4%
- Livros	430.492	Atividade 3	415.704	-3,4%
- Ventilação	33.035	Atividade 6	32.224	-2,5%
Unidades Solicitadas p/ Transf.	102.693	Atividade 7	95.372	-7,1%

ANEXO 5

Tabela 1 – Resultados obtidos com a “condução de experiências”.

Entidades	Indicadores	1	2	3	4	-95%	Média	95%
Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793091	793585	793214	792572	792449,22	793115,50	793781,78
Atividade 1	Nº trabalhos completos	90478	91303	90979	90832	90353,53	90898,00	91442,47
Atividade 2	Nº trabalhos completos	177576	178001	177608	177345	177199,47	177632,50	178065,53
Atividade 3	Nº trabalhos completos	415165	415694	415931	416025	415090,86	415703,75	416316,64
Atividade 4	Nº trabalhos completos	683140	684904	684447	684110	682960,21	684150,25	685340,29
Atividade 5	Nº trabalhos completos	723103	725309	724773	724322	722881,00	724376,75	725872,50
Atividade 6	Nº trabalhos completos	32103	32393	32253	32148	32019,23	32224,25	32429,27
Atividade 7	Nº trabalhos completos	95400	95419	95174	95493	95152,51	95371,50	95590,49
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84464	84745	85103	84233	84039,56	84636,25	85232,94
Atividade 9	Nº trabalhos completos	7960	8079	8163	8142	7940,79	8086,00	8231,21
Atividade Fictícia 1	Nº trabalhos completos	697672	698151	698027	697065	696954,19	697728,75	698503,31
Fila de Espera 3	Conteúdo atual	48096	46751	48039	46195	45761,28	47270,25	48779,22
	Nº entradas	731341	731775	732583	730423	730098,60	731530,50	732962,40
	Tempo médio de espera	314,71	299,13	312,03	305,19	296,60	307,76	318,92
	Tempo máximo na fila	627,02	611,42	631,50	604,70	598,49	618,66	638,83
Fila de Espera 6	Conteúdo atual	2961	2579	1900	3100	1780,26	2635,00	3489,74
	Nº entradas	95388	95406	95169	95478	95148,17	95360,25	95572,33
	Tempo médio de espera	147,67	133,10	103,97	170,79	94,37	138,88	183,39
	Tempo máximo na fila	300,58	264,11	200,17	321,50	186,97	271,59	356,22
Fila de Espera 8	Conteúdo atual	18614	18641	18199	18628	18179,04	18520,50	18861,96
	Nº entradas	50720	51037	50455	50779	50367,78	50747,75	51127,72
	Tempo médio de espera	1759,63	1737,36	1703,42	1773,65	1694,80	1743,52	1792,24
	Tempo máximo na fila	3495,46	3505,09	3441,26	3533,74	3432,37	3493,89	3555,41
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3693,66	3659,77	3591,32	3761,46	3563,87	3676,55	3789,24
	Tempo médio no sistema	395,22	378,82	386,30	389,42	376,57	387,44	398,31
	Nº de saídas	722974	725177	724633	724184	722749,99	724242,00	725734,01

Tabela 2 – Indicadores de estado, por posto, para as entidades do cenário inicial.

	Atividades	Indicador	Valor (média)
C/ Réplicas	1	% tempo aguardar (a)	0,01%
		% tempo trabalho (b)	99,99%
	2	(a)	0,01%
		(b)	99,99%
	3	(a)	0,01%
		(b)	99,99%
6	(a)	0,01%	
	(b)	99,99%	
S/ Réplicas	4	(a)	14,17%
		(b)	85,83%
	5	(a)	9,37%
		(b)	90,63%
	7	(a)	4,87%
		(b)	95,13%
	8	(a)	0,07%
		(b)	99,93%
	9	(a)	0,03%
		(b)	99,97%

ANEXO 6

Figura 1 – Exclusão da Atividade 8 do modelo (cenário I).

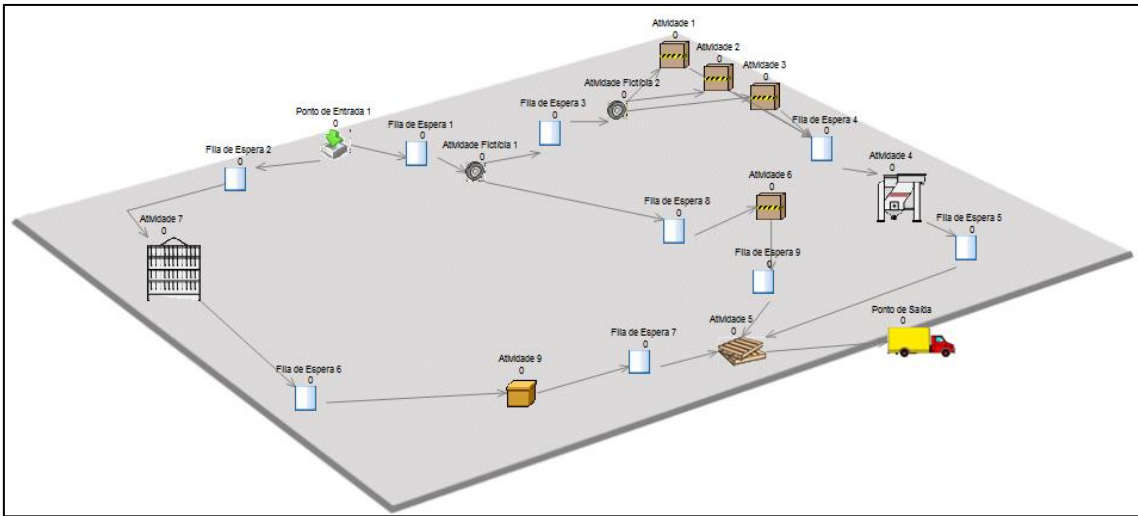


Tabela 1 – Resultados para o cenário I.

Entidades	Indicadores	Cenário inicial Média	Cenário I Média	Δ I vs. Inicial	$\Delta\%$
Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793115,50	793115,50	0,00	0,0%
Atividade 1	Nº trabalhos completos	90898,00	89815,50	-1082,50	-1,2%
Atividade 2	Nº trabalhos completos	177632,50	172535,50	-5097,00	-2,9%
Atividade 3	Nº trabalhos completos	415703,75	407238,00	-8465,75	-2,0%
Atividade 4	Nº trabalhos completos	684150,25	669512,25	-14638,00	-2,1%
Atividade 5	Nº trabalhos completos	724376,75	705489,50	-18887,25	-2,6%
Atividade 6	Nº trabalhos completos	32224,25	27968,50	-4255,75	-13,2%
Atividade 7	Nº trabalhos completos	95371,50	95371,50	0,00	0,0%
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84636,25	-	-	-
Atividade 9	Nº trabalhos completos	8086,00	8086,25	0,25	0,0%
Atividade Fictícia 1	Nº trabalhos completos	697728,75	697728,75	0,00	0,0%
Fila de Espera 3	Conteúdo atual	47270,25	62,25	-47208,00	-99,9%
	Nº entradas	731530,50	669676,25	-61854,25	-8,5%
	Tempo médio de espera	307,76	0,56	-307,21	-99,8%
	Tempo máximo na fila	618,66	4,44	-614,22	-99,3%
Fila de Espera 6	Conteúdo atual	2635,00	87265,75	84630,75	3211,8%
	Nº entradas	95360,25	95353,00	-7,25	0,0%
	Tempo médio de espera	138,88	4399,23	4260,35	3067,6%
	Tempo máximo na fila	271,59	8782,40	8510,81	3133,7%
Fila de Espera 8	Conteúdo atual	18520,50	9,25	-18511,25	-100,0%
	Nº entradas	50747,75	27980,75	-22767,00	-44,9%
	Tempo médio de espera	1743,52	1,70	-1741,82	-99,9%
	Tempo máximo na fila	3493,89	14,26	-3479,63	-99,6%
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3676,55	8787,65	5111,10	139,0%
	Tempo médio no sistema	387,44	56,33	-331,11	-85,5%
	Nº de saídas	724242,00	705355,25	-18886,75	-2,6%

Tabela 2 – Indicadores de estado, por posto, para as entidades do cenário I.

	Atividades	Indicador	Valor (média)
C/ Réplicas	1	% tempo aguardar (a)	0,68%
		% tempo trabalho (b)	99,32%
	2	(a)	1,92%
		(b)	98,08%
	3	(a)	1,02%
		(b)	98,98%
6	(a)	13,40%	
	(b)	86,60%	
S/ Réplicas	4	(a)	16,15%
		(b)	83,85%
	5	(a)	11,86%
		(b)	88,14%
	7	(a)	4,87%
		(b)	95,13%
	9	(a)	0,01%
		(b)	99,99%

ANEXO 7

Tabela 1 – Resultados para o cenário II.

Entidades	Indicadores	Cenário inicial	Cenário I	Cenário II	Δ I vs. Inicial	$\Delta\%$	Δ II vs. Inicial	$\Delta\%$	Δ II vs. I	$\Delta\%$
		Média	Média	Média						
Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793115,50	793115,50	793115,50	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
Atividade 1	Nº trabalhos completos	90898,00	89815,50	89815,50	-1082,50	-1,2%	-1082,50	-1,2%	0,00	0,0%
Atividade 2	Nº trabalhos completos	177632,50	172535,50	172535,50	-5097,00	-2,9%	-5097,00	-2,9%	0,00	0,0%
Atividade 3	Nº trabalhos completos	415703,75	407238,00	407238,00	-8465,75	-2,0%	-8465,75	-2,0%	0,00	0,0%
Atividade 4	Nº trabalhos completos	684150,25	669512,25	669512,25	-14638,00	-2,1%	-14638,00	-2,1%	0,00	0,0%
Atividade 5	Nº trabalhos completos	724376,75	705489,50	790472,75	-18887,25	-2,6%	66096,00	9,1%	84983,25	12,0%
Atividade 6	Nº trabalhos completos	32224,25	27968,50	27968,50	-4255,75	-13,2%	-4255,75	-13,2%	0,00	0,0%
Atividade 7	Nº trabalhos completos	95371,50	95371,50	95371,50	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84636,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Atividade 9	Nº trabalhos completos	8086,00	8086,25	93134,00	0,25	0,0%	85048,00	1051,8%	85047,75	1051,8%
Atividade Fictícia 1	Nº trabalhos completos	697728,75	697728,75	697728,75	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%
Fila de Espera 3	Conteúdo atual	47270,25	62,25	62,25	-47208,00	-99,9%	-47208,00	-99,9%	0,00	0,0%
	Nº entradas	731530,50	669676,25	669676,25	-61854,25	-8,5%	-61854,25	-8,5%	0,00	0,0%
	Tempo médio de espera	307,76	0,56	0,56	-307,21	-99,8%	-307,21	-99,8%	0,00	0,0%
	Tempo máximo na fila	618,66	4,44	4,44	-614,22	-99,3%	-614,22	-99,3%	0,00	0,0%
Fila de Espera 6	Conteúdo atual	2635,00	87265,75	2217,00	84630,75	3211,8%	-418,00	-15,9%	-85048,75	-97,5%
	Nº entradas	95360,25	95353,00	95353,00	-7,25	0,0%	-7,25	0,0%	0,00	0,0%
	Tempo médio de espera	138,88	4399,23	121,31	4260,35	3067,6%	-17,57	-12,6%	-4277,91	-97,2%
	Tempo máximo na fila	271,59	8782,40	230,26	8510,81	3133,7%	-41,33	-15,2%	-8552,14	-97,4%
Fila de Espera 8	Conteúdo atual	18520,50	9,25	9,25	-18511,25	-100,0%	-18511,25	-100,0%	0,00	0,0%
	Nº entradas	50747,75	27980,75	27980,75	-22767,00	-44,9%	-22767,00	-44,9%	0,00	0,0%
	Tempo médio de espera	1743,52	1,70	1,70	-1741,82	-99,9%	-1741,82	-99,9%	0,00	0,0%
	Tempo máximo na fila	3493,89	14,26	14,26	-3479,63	-99,6%	-3479,63	-99,6%	0,00	0,0%
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3676,55	8787,65	245,49	5111,10	139,0%	-3431,06	-93,3%	-8542,16	-97,2%
	Tempo médio no sistema	387,44	56,33	21,40	-331,11	-85,5%	-366,04	-94,5%	-34,93	-62,0%
	Nº de saídas	724242,00	705355,25	790320,00	-18886,75	-2,6%	66078,00	9,1%	84964,75	12,0%

ANEXO 8

Tabela 1 – Resultados para o cenário III.

Entidades	Indicadores	Cenário inicial Média	Cenário III Média	Δ III vs. original	Δ %
Ponto de Entrada 1	Nº entradas	793115,50	793115,50	0,00	0,0%
Atividade 1	Nº trabalhos completos	90898,00	89815,50	-1082,50	-1,2%
Atividade 2	Nº trabalhos completos	177632,50	172535,50	-5097,00	-2,9%
Atividade 3	Nº trabalhos completos	415703,75	407238,00	-8465,75	-2,0%
Atividade 4	Nº trabalhos completos	684150,25	669512,25	-14638,00	-2,1%
Atividade 5	Nº trabalhos completos	724376,75	772321,00	47944,25	6,6%
Atividade 6	Nº trabalhos completos	32224,25	32223,50	-0,75	0,0%
Atividade 7	Nº trabalhos completos	95371,50	95371,50	0,00	0,0%
Atividade 8	Nº trabalhos completos	84636,25	-	-	-
Atividade 9	Nº trabalhos completos	8086,00	94831,75	86745,75	1072,8%
A	Nº trabalhos completos	-	41375,00	-	-
B	Nº trabalhos completos	-	29313,50	-	-
C	Nº trabalhos completos	-	24143,25	-	-
Atividade Fictícia 1	Nº trabalhos completos	697728,75	697728,75	0,00	0,0%
Fila de Espera 3	Conteúdo atual	47270,25	62,25	-47208,00	-99,9%
	Nº entradas	731530,50	669676,25	-61854,25	-8,5%
	Tempo médio de espera	307,76	0,56	-307,21	-99,8%
	Tempo máximo na fila	618,66	4,44	-614,22	-99,3%
Fila de Espera 8	Conteúdo atual	18520,50	19890,00	1369,50	7,4%
	Nº entradas	50747,75	52116,50	1368,75	2,7%
	Tempo médio de espera	1743,52	1815,19	71,68	4,1%
	Tempo máximo na fila	3493,89	3634,17	140,29	4,0%
Ponto de Saída	Tempo máximo no sistema	3676,55	3699,82	23,26	0,6%
	Tempo médio no sistema	387,44	86,83	-300,61	-77,6%
	Nº de saídas	724242,00	772168,75	47926,75	6,6%

Tabela 2 – Indicadores de estado, por posto, para as entidades no cenário III.

	Atividades	Indicador	Valor (média)	
			Cenário inicial	Cenário III
C/ Réplicas	1	% tempo aguardar (a)	0,01%	0,68%
		% tempo trabalho (b)	99,99%	99,32%
	2	(a)	0,01%	1,92%
		(b)	99,99%	98,08%
	3	(a)	0,01%	1,02%
		(b)	99,99%	98,98%
	6	(a)	0,01%	0,02%
		(b)	99,99%	99,98%
	9A	(a)	-	0,09%
		(b)	-	99,91%
S/ Réplicas	4	(a)	14,17%	16,15%
		(b)	85,83%	83,85%
	5	(a)	9,37%	3,50%
		(b)	90,63%	96,50%
	7	(a)	4,87%	4,87%
		(b)	95,13%	95,13%
	8	(a)	0,07%	-
		(b)	99,93%	-
	9	(a)	0,03%	-
		(b)	99,97%	-
	9B	(a)	-	0,14%
		(b)	-	99,86%
	9C	(a)	-	0,15%
		(b)	-	99,85%