

LEANDRO KAKUMU KAYANO

**GESTÃO DE ESTOQUES
DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO
DE UMA EMPRESA FERROVIÁRIA**

**Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção**

São Paulo
2005

LEANDRO KAKUMU KAYANO

**GESTÃO DE ESTOQUES
DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO
DE UMA EMPRESA FERROVIÁRIA**

**Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção**

Orientador:
Prof. Dr. Antonio Rafael Namur Muscat

São Paulo
2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Kayano, Leandro Kakumu

Gestão de estoques das peças de reposição de uma empresa ferroviária

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

**1. Gestão de estoques 2. Peças de Reposição 3. Manutenção
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.**

À minha querida Juliana.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Newton e Marilena, pelo apoio fundamental durante toda a minha vida.

À minha irmã LÍlian, pelos seus conselhos, brincadeiras e risadas.

Aos amigos e familiares pela companhia em todos os momentos.

Ao meu tutor de trabalho de formatura, Fabrice Bonneau da empresa *CapGemini*, que me acolheu com muita gentileza e simpatia em sua equipe e me deu esta oportunidade de realizar uma experiência enriquecedora.

Ao Professor Antonio Rafael Namur Muscat, da Escola Politécnica, e ao Professor Eric Pesnel, da *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, pela orientação fundamental durante todo o período do meu trabalho.

A todas as pessoas com quem tive a oportunidade de conviver e trabalhar e que forneceram todos os elementos necessários para a realização do meu trabalho, criando um ambiente propício ao estudo.

OBRIGADO A TODOS POR ESTA EXPERIÊNCIA INESQUECÍVEL!

RESUMO

O presente trabalho de formatura consiste na elaboração de uma nova gestão de estoques nos centros de manutenção da Diretoria do Material da *Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)*, empresa responsável pelo transporte ferroviário na França.

Esta reformulação insere-se em um contexto mais amplo: trata-se de uma das etapas da nova configuração logística proposta pelo projeto *Performance Logistique Industrielle (PLI)*, idealizado pela empresa francesa de consultoria *CapGemini Consulting*.

Objetivando aumentar a produtividade da manutenção da *SNCF*, melhor controlando os custos logísticos e maximizando a disponibilidade dos materiais, o projeto *Performance Logistique Industrielle* propõe um novo sistema de abastecimento de peças de reposição calcado na implantação de uma plataforma única de distribuição.

Neste sentido, definindo regras de dimensionamento de estoques e desenvolvendo um aplicativo para automatizar os cálculos destas regras, o autor busca, no presente trabalho, justificar a referida forma de abastecimento e encontra, na diminuição dos níveis de estoques, seu principal argumento.

ABSTRACT

This study consists in the elaboration of a new system to manage inventories in the maintenance sites of the Equipment Direction of *Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)*, company responsible for the railway transport in France.

This reformulation belongs to a vaster context: it is one of the steps of a new logistic configuration proposed by a project called *Performance Logistique Industrielle (PLI)*, which was developed by the French consulting company *CapGemini Consulting*.

With the objective of improving the maintenance productivity of *SNCF*, better controlling the logistics costs and maximizing the availability of its equipments, the project *Performance Logistique Industrielle* recommends a new system to supply replacement parts based in the implementation of a distribution platform.

In this sense, defining new rules to establish stock parameters and developing a tool capable to calculate them, this present work intends to justify this new form of supplying replacement parts, having as its principal argument, the reduction of stock levels.

RESUMÉ

Ce travail consiste à élaborer une nouvelle gestion des stocks dans les sites de maintenance de la Direction du Matériel de la Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF), entreprise responsable du transport ferroviaire en France.

Ce changement est situé dans un contexte plus large : il s'agit d'une des étapes de la nouvelle configuration logistique introduite par le projet *Performance Logistique Industrielle (PLI)* à l'initiative du cabinet de conseil *CapGemini Consulting*.

Avec l'objectif de contribuer à la productivité de la maintenance de la SNCF, en maîtrisant les coûts logistiques et en maximisant la disponibilité des matériels, le projet Performance Logistique Industrielle propose un nouveau système d'approvisionnement de pièces de rechange envisagé sur la base d'une plateforme unique.

Dans ce sens, en définissant les règles de dimensionnement des stocks et en développant un outil pour automatiser les calculs de ces règles, l'auteur cherche, dans ce travail, à justifier cette forme d'approvisionnement et trouve, dans la diminution des niveaux des stocks, son principal argument.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Contextualização do trabalho	1
1.2. Apresentação da empresa	2
1.3. O estágio	4
a. <i>Supply Chain Management Consulting Services</i> : departamento onde foi realizado o estágio	4
b. <i>SNCF</i> : a empresa cliente	7
1.4. Diagnóstico	9
2. O projeto <i>Performance Logistique Industrielle</i>	13
2.1. Definição e expectativas do projeto <i>PLI</i>	13
2.2. A organização do projeto <i>PLI</i>	17
2.3. A frente da logística interna	20
2.4. A adaptação dos centros de manutenção ao novo cenário logístico	22
2.5. Os princípios 5S na adaptação dos centros de manutenção	24
3. Definição do problema	29
4. Revisão da literatura	30
4.1. Conceitos estatísticos	31
a. Distribuição normal	31
b. Distribuição de Poisson	33
c. Testes de aderência	34
4.2. Lote econômico de compra (LEC)	35

4.3. Modelos de gestão de estoque para peças de reposição	36
a. Gestão de peças de reposição de baixíssimo consumo	37
b. Gestão de peças de reposição de baixo consumo	40
5. Solução Proposta	43
5.1. Dificuldades do dimensionamento de estoques no caso da <i>SNCF</i>	43
5.2. Aplicação dos modelos de gestão de estoque e das regras de dimensionamento	46
a. Regras de dimensionamento das prateleiras	49
b. Regras de dimensionamento das gavetas ou do armazém.....	52
c. As leis estatísticas utilizadas.....	56
d. Exemplo das regras estabelecidas.....	59
e. A ferramenta de dimensionamento	61
6. Resultados	62
7. Conclusão	64
BIBLIOGRAFIA.....	66
ANEXOS	68
Anexo A: organograma de consultores da empresa <i>CapGemini</i> no projeto <i>PLI</i>	69
Anexo B: principais dados da <i>SNCF</i>	70
Anexo C: organograma da <i>SNCF</i>	71
Anexo D: regras de dimensionamento para a fase final (plataforma operacional)	72
Anexo E: testes de aderência	74
Anexo F: exemplos de cálculos de parâmetros de gestão de estoques	77
Anexo G: ferramenta em MS Access para o dimensionamento de estoques	79
GLOSSÁRIO	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 : Repartição do faturamento por zonas geográficas (empresa <i>CapGemini</i> , 2005) ...	2
Figura 1-2 : Composição do faturamento por setor e por área de atuação (empresa <i>CapGemini</i> , 2005)	3
Figura 1-3 : Pólos de competências do departamento “ <i>Supply Chain Management</i> ” (empresa <i>CapGemini</i> , 2005).....	4
Figura 1-4 : Centros de manutenção da <i>SNCF</i> na França (empresa <i>SNCF</i> , 2005).....	9
Figura 1-5 : Fluxos físicos atuais das peças de reposição (autor, 2005)	11
Figura 2-1 : Fluxos almejados para as peças de reposição (autor, 2005).....	14
Figura 2-2 : Cronograma do projeto <i>PLI</i> (projeto <i>PLI</i> , 2005)	19
Figura 2-3 : Etapas do procedimento de adaptação de um centro de manutenção ao novo cenário logístico (projeto <i>PLI</i> , 2005)	22
Figura 2-4 : Os princípios 5S na adaptação dos centros de manutenção (projeto <i>PLI</i> , 2005)..	24
Figura 2-5 : Os três níveis de estoques no novo cenário (autor, 2005)	26
Figura 2-6 : Melhorias obtidas nos centros de manutenção da <i>SNCF</i> (projeto <i>PLI</i> , 2005).....	28
Figura 3-1 : Fatores levados em consideração no dimensionamento de estoques (projeto <i>PLI</i> , 2005)	29
Figura 4-1 : Distribuição normal (Bussab, 2004)	31
Figura 4-2 : Exemplo de uma distribuição de Poisson (Bussab, 2004)	33
Figura 4-3 : Teoria do LEC - Lote Econômico de Compra (Lasnier, 2004).....	35
Figura 4-4 : Representação gráfica da decisão de manter zero peça em estoque (Wanke, 2003)	37
Figura 4-5 : Representação gráfica da decisão de manter uma peça em estoque (Wanke, 2003)	39
Figura 5-1 : Casos possíveis para as prateleiras (autor, 2005)	49
Figura 5-2 : Regras de dimensionamento para as prateleiras (autor, 2005)	50
Figura 5-3 : Casos possíveis para armazém ou gavetas (autor, 2005).....	52

Figura 5-4 : Regras de dimensionamento para armazém ou gavetas (autor, 2005)	54
Figura 5-5 : Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005)	59
Figura 6-1 : Variação do estoque médio em função da frequência de entregas (autor, 2005) .	62
Figura A-1: organograma de consultores da empresa <i>CapGemini</i> no projeto <i>PLI</i> (empresa <i>CapGemini</i> , 2005).....	69
Figura B-1: principais dados da <i>SNCF</i> (empresa <i>SNCF</i> , 2005).....	70
Figura C-1: organograma da empresa <i>SNCF</i> (empresa <i>SNCF</i> , 2005).....	71
Figura D-1: Regras de dimensionamento para as prateleiras na fase final (autor, 2005).....	72
Figura D-2: Regras de dimensionamento para gavetas e armazém na fase final (autor, 2005)	73
Figura F-1: Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005).....	77
Figura F-2: Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005).....	78
Figura G-1: Interface da ferramenta de dimensionamento em MS Access (autor, 2005)	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 : Proporção de valores que se encontram nos intervalos estabelecidos a partir da média de uma distribuição normal (Bussab, 2004)	32
Tabela 4-2 : Avaliação do consumo de peças de reposição para o período de reposição de um mês, considerando um consumo médio histórico de três unidades mensais (adaptado de Wanke, 2003).....	41
Tabela 5-1 : Distorção nos dados de desvio padrão (autor, 2005)	57
Tabela E-1 : Histórico de consumo da referência 77365677 (autor, 2005).....	74
Tabela E-2 : Teste de aderência pelo qui-quadrado para a referência 77365677 (autor, 2005)	74
Tabela E-3 : Histórico de consumo da referência 77334557 (autor, 2005).....	75
Tabela E-4 : Teste de aderência pelo qui-quadrado para a referência 77334557 (autor, 2005)	76

1. Introdução

1.1. Contextualização do trabalho

Nos últimos anos, a área de manutenção da Diretoria do Material da *SNCF* vem apresentando graves deficiências em sua logística industrial, tais como estoques desnecessários de peças de reposição e imobilizações onerosas de equipamentos por falta de materiais. Diante disso e visando tornar-se mais competitiva, a *SNCF* contratou os serviços da empresa de consultoria *CapGemini*.

Apresentado o sistema atual, que conta com 17 centros principais de manutenção incumbidos de distribuir peças de reposição entre si e para os 70 centros menores, a proposta da *CapGemini* foi a implantação de uma plataforma central que concentra a atribuição de gerir todas as peças de reposição e seus respectivos fluxos.

A mudança proposta exige a adaptação dos 87 centros de manutenção ao novo modo de funcionamento. Porém, como tal ajuste não pode se dar de forma abrupta, desenvolveu-se um procedimento padrão a ser seguido pelos centros de manutenção.

Buscando efetuar tal transição: (i) realizam-se vistorias nos centros de manutenção para identificar quais peças eles utilizam; (ii) decide-se, com base nesta informação e nas peculiaridades de cada peça, seu local de estocagem; (iii) e, em seguida, determinam-se quantas peças ficarão em estoque para garantir o nível de serviço desejado. O presente trabalho de formatura insere-se justamente nesta última etapa referente à determinação da quantidade de peças a serem estocadas.

1.2. Apresentação da empresa

O grupo francês *Capgemini*, sediado em Paris, foi fundado por Serge Kampf em 1967 na cidade de Grenoble. É, atualmente, um dos líderes mundiais em serviços de consultoria, tecnologia e terceirização, com mais de 59.000 colaboradores no mundo¹.

Implantado em mais de trinta países, o grupo oferece amplo repertório de competências que sabe colocar em prática de forma coerente. Contribui, com a cooperação de seus clientes, para a elaboração e a implementação de orientações estratégicas, ajudando-os a se beneficiarem, ao máximo, da tecnologia.

Associando seus conhecimentos em tecnologia e em gestão de operações, o grupo *CapGemini* propõe serviços realmente integrados, o que constitui sua especialidade.

A figura 1 mostra a repartição do faturamento do grupo por zona geográfica em 2004:

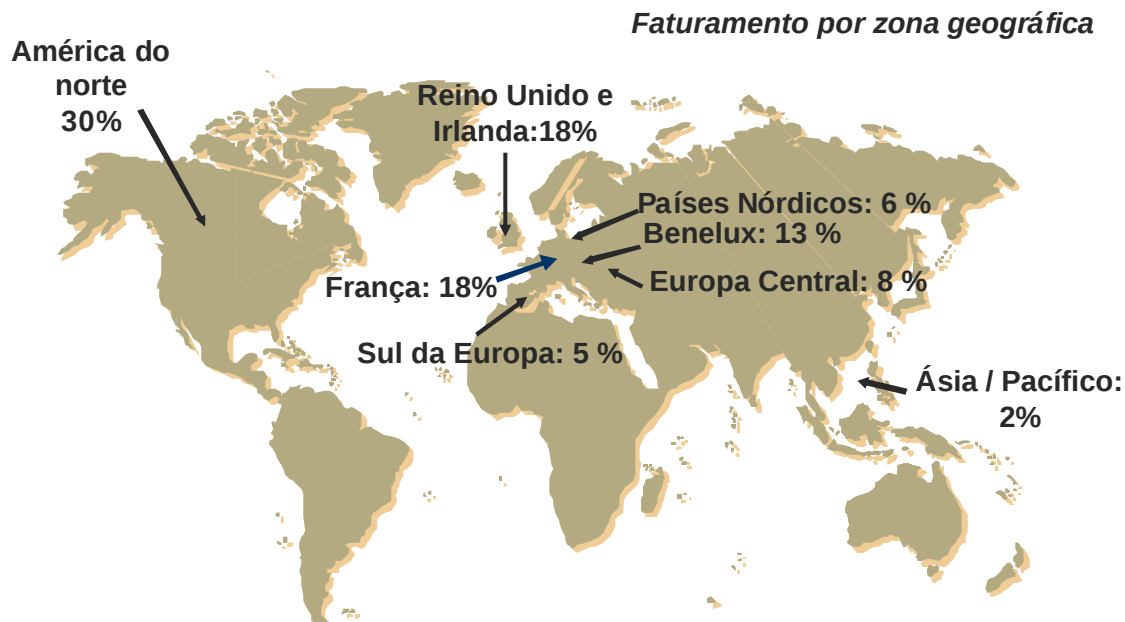


Figura 1-1 : Repartição do faturamento por zonas geográficas (empresa *CapGemini*, 2005)

¹ Dados internos do grupo CapGemini do fim do ano de 2004

O grupo *Capgemini* propõe a seus clientes uma gama completa de serviços organizados em quatro áreas de atuação:

- **Consultoria**, que, munido-se de vasto e profundo conhecimento das atividades e processos das empresas clientes, objetiva contribuir para o aprimoramento de suas performances. Esta área é chamada “*Consulting Services*” ou CS;
- **Tecnologia**, que permite planificar, dirigir e desenvolver desde os menores aos maiores projetos de sistemas e aplicações tecnológicas (“*Technology Services*” ou TS);
- **Terceirização**, que se responsabiliza, integral ou parcialmente, pela transformação e pela terceirização das funções de suporte “*Business Process Outsourcing*” (BPO), em um conjunto de serviços chamados “*Outsourcing Services*” ou OS;
- **Serviços Informáticos de Proximidade**, que propõem às empresas acompanhamento e conhecimento em tecnologia (“*Local Professional Services*” ou LPS).

A composição do faturamento, por setor e por área de atuação, é mostrada abaixo:

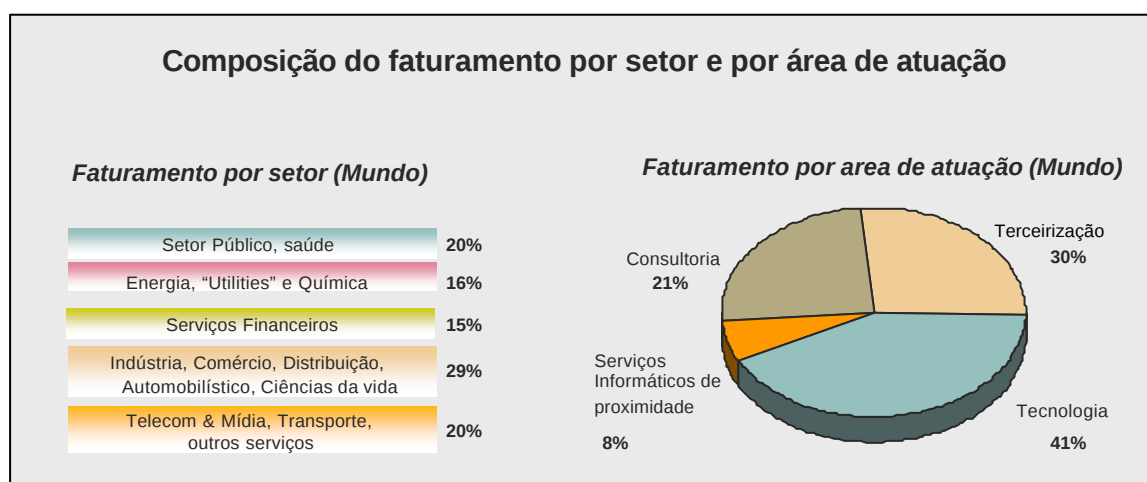


Figura 1-2 : Composição do faturamento por setor e por área de atuação (empresa *CapGemini*, 2005)

Em 2004, o grupo *CapGemini* obteve faturamento de 6.291 milhões de euros, o que significou uma alta de 9,3%, se comparado ao exercício anterior.

1.3. O estágio

a. *Supply Chain Management Consulting Services*: departamento onde foi realizado o estágio

O estágio na empresa de consultoria *CapGemini Consulting* teve início em 7 de março de 2005 no departamento dedicado aos problemas da cadeia de suprimentos, denominado *Supply Chain Management Consulting Services*².

Referido departamento conta com mais de 150 consultores e mobiliza seus centros de competências com o intuito de responder às necessidades da empresa cliente. Essas competências podem ser segmentadas em cinco pólos:

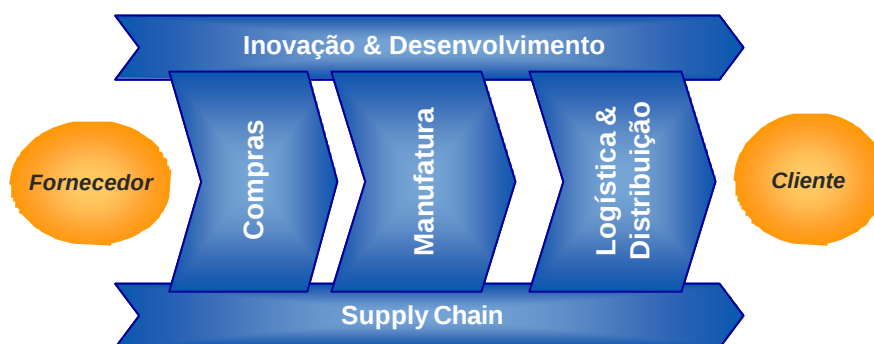


Figura 1-3 : Pólos de competências do departamento “*Supply Chain Management*” (empresa *CapGemini*, 2005)

² No anexo A, encontra-se o organograma dos consultores do grupo que trabalham no projeto *Performance Logistique Industrielle* da Diretoria do Material da SNCF. Apesar de a maioria dos consultores pertencer ao departamento “*Supply Chain Management*”, participam, também, consultores de outros departamentos como “*Business Transformation*”, “*HR Performance & Transformation*” e “*Business & Information Strategy*”.

- *Inovação & Desenvolvimento da cadeia de suprimentos (cerca de 25 consultores)*

Criar, desenvolver e vender produtos, serviços e novos processos que criam valor para o cliente.

- o Pilotagem da inovação
- o Gestão da eficiência de programas de novos desenvolvimentos
- o Cooperação na inovação

- *Compras (cerca de 45 consultores)*

Melhorar a performance da empresa através da otimização de seus recursos externos.

- o Reduzir os custos de compras
- o Aumentar a maturidade do setor de compras
- o Política de compras e “*Supplier Relationship Management*” (SRM)
- o “*E-procurement*” e “*e-sourcing*”

- *Manufatura (cerca de 30 consultores)*

Produzir cada vez melhor.

- o Tirar o melhor proveito das instalações existentes
- o Ajustar os fluxos e reduzir os estoques
- o Melhorar a qualidade dos produtos e processos
- o Aumentar a confiabilidade na gestão de produtos
- o Colocar em prática uma organização adaptada e motivar todos os colaboradores
- o Informatizar a produção

- *Logística & Distribuição (cerca de 25 consultores)*

Melhorar a performance da distribuição.

- o Terceirização da logística
- o Prestação logística global
- o Rastreamento e pilotagem de eventos (SCEM)
- o Colaboração e divisão de informações (fornecedores / distribuidores)
- o Otimização do transporte e da rede logística
- o Otimização de centros de distribuição
- o Otimização de pontos de venda

- *“Supply Chain” (cerca de 35 consultores)*

Transformar a cadeia de suprimentos dos clientes utilizando como base novas tecnologias.

- o Estratégias “*Supply Chain*”
- o Redução de custos da “*Supply Chain*”
- o Aumento da eficiência no processo de entrega dos clientes
- o Pilotagem tática da “*Supply Chain*”
- o Implantação de APS (“*Advanced Planning and Scheduling*”)

b. SNCF: a empresa cliente

O estágio foi realizado no projeto *Performance Logistique Industrielle*, cuja proposta era a adoção de um novo sistema de abastecimento de peças de reposição pela ***Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)***, empresa responsável pelo transporte ferroviário na França.

Cumprе, nesta oportunidade, tecer breves considerações acerca da empresa cliente para a real compreensão da dimensão do projeto *Performance Logistique Industrielle*.

A “*Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)*” foi criada no dia 1º de janeiro de 1938 para: (i) integrar as redes ferroviárias da França em uma rede única; (ii) colocar esta rede sob a responsabilidade do Estado francês; e (iii) equilibrar as despesas e as receitas desta nova rede. Hoje, com mais de 238.000 colaboradores, o grupo *SNCF* tem como objetivo ser o transportador, explorador e gestor da infra-estrutura da rede ferroviária francesa³.

Trata-se de uma parceria de empresas estruturada em 4 áreas de atuação: (i) transporte de longa distância de passageiros; (ii) transporte de pequena distância de passageiros; (iii) transporte e logística de mercadorias; e (iv) infra-estrutura e valorização do patrimônio e do conhecimento.

O presente trabalho de formatura foi desenvolvido na **Diretoria do Material da SNCF**, concentrando-se na elaboração de uma nova gestão de estoques das peças de reposição para seus centros de manutenção.

A Diretoria do Material⁴ conta com mais de 25.000 funcionários, dos quais cerca de 1.330 estão vinculados à área de logística.

³ No anexo B, encontram-se os principais dados do grupo.

⁴ A Diretoria do Material está subordinada ao Diretor de Operações Industriais da SNCF pela intrínseca relação de suas atribuições com a qualidade dos serviços oferecidos, pela Diretoria de Operações Industriais, no transporte de mercadorias e passageiros. O organograma da empresa SNCF está disponível no anexo C.

Em relação às suas atribuições, esta diretoria:

- Define a política de conservação e reparação dos equipamentos em função das necessidades de suas atividades, coordena a rede de suas entidades, intervindo na área de engenharia de manutenção, e aprova os procedimentos e referenciais técnicos correspondentes. Outrossim, pilota o funcionamento de seus estabelecimentos, dotando-os de equipamentos e pessoal qualificado.
- Ajuda a definir as necessidades da empresa *SNCF* no que tange a novos materiais. Trazendo consigo seu conhecimento, trabalha em colaboração com outras divisões da empresa para elaborar as especificações dos procedimentos licitatórios. Além disso, analisa as propostas de construtores, assegura o acompanhamento da execução das propostas quanto à qualidade, à conformidade e ao respeito aos prazos de entrega.
- Quando alguns materiais passam a ficar aquém das expectativas dos clientes ou das necessidades dos serviços prestados pela empresa, auxilia as divisões responsáveis a adaptá-los através de revisões. Somado a isso, propõe soluções técnicas, realiza modificações necessárias em seus centros de manutenção e controla as modificações feitas por terceiros (indústrias privadas).
- Contribui para a definição da política da empresa em relação à segurança do trabalho e à elaboração de regulamentos correspondentes. Viabiliza, também, as reflexões sobre a interoperabilidade das redes ferroviárias e a padronização dos materiais europeus.
- Para responder às expectativas coletivas no que concerne ao meio ambiente, à segurança e à confiabilidade na circulação, propõe projetos de pesquisa e se responsabiliza pelos projetos que lhe são confiados, através de testes e homologações de novos materiais.

1.4. Diagnóstico

A Diretoria do Material da *SNCF* responde, nacionalmente, pelo gerenciamento de mais de 130.000 referências (SKU's). O valor total das peças em estoque atinge cerca de 400 milhões de euros.

O sistema atual conta com 87 centros de manutenção (CDM), dos quais 17 (chamados de EIMM) são incumbidos de distribuir peças de reposição entre si e para os 70 centros menores.

A disposição dos centros, no território francês, é retratada na figura abaixo:

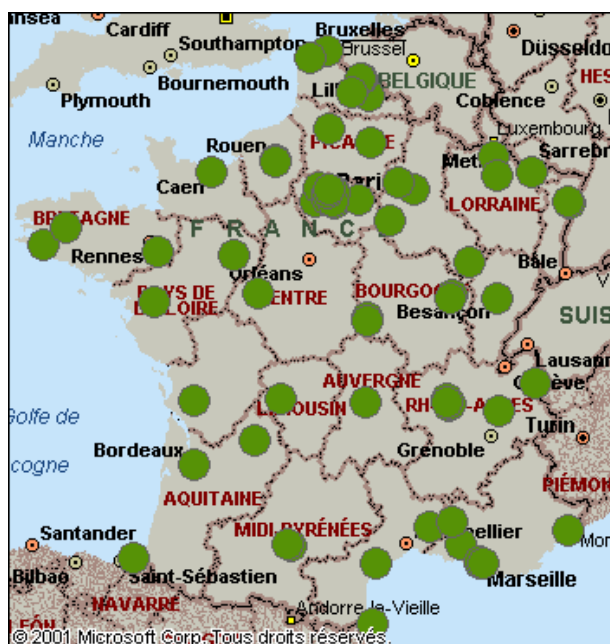


Figura 1-4 : Centros de manutenção da *SNCF* na França (empresa *SNCF*, 2005)

Cabe destacar que a organização da logística industrial da Diretoria do Material da *SNCF* foi colocada em prática nos anos 70 e informatizada nos anos 80. Desde então, nenhum projeto de grande amplitude foi realizado nesta diretoria com o objetivo de adequá-la ao atual contexto da manutenção industrial.

Com a informatização dos anos 80, cada um dos 17 EIMM (principais estabelecimentos da Diretoria do Material, incumbidos de gerenciar recursos em âmbito nacional), ficou responsável pela gestão de um conjunto de peças descartáveis e reparáveis.

Além da atribuição de gerir nacionalmente tais artigos, os EIMM ainda respondem pela definição dos fluxos logísticos, pelo dimensionamento e gestão dos três níveis de estoque (nacional, locais e de equipes) e pelo reabastecimento externo (emissão e recepção de pedidos).

Atualmente, o desempenho das referidas incumbências é auxiliado pelo sistema de informação nacional “*SIO-stock*”, no qual são definidos os níveis de estoques de segurança e as regras de reabastecimento de cada artigo.

Na configuração atual, as peças de reposição (novas e reparadas) são entregues pelos fornecedores externos e pelos centros de reparação da *SNCF* aos 17 EIMM. Estes últimos estocam-nas em seus armazéns, entregando-as aos diversos centros de manutenção conforme a necessidade. Neste sistema, um pedido demora, em média, três semanas para ser entregue a um centro de manutenção, o que revela reatividade bastante limitada.

Para realizar este abastecimento, que abrange todo o território nacional francês, a Diretoria do Material utiliza os serviços da “*SNCF Fret*” (diretoria da *SNCF* responsável pelo transporte de mercadorias) e da *Sernam* (operador europeu de transporte e logística).

A figura seguinte ilustra os fluxos de peças de reposição na configuração atual da logística industrial da Diretoria do Material da SNCF:

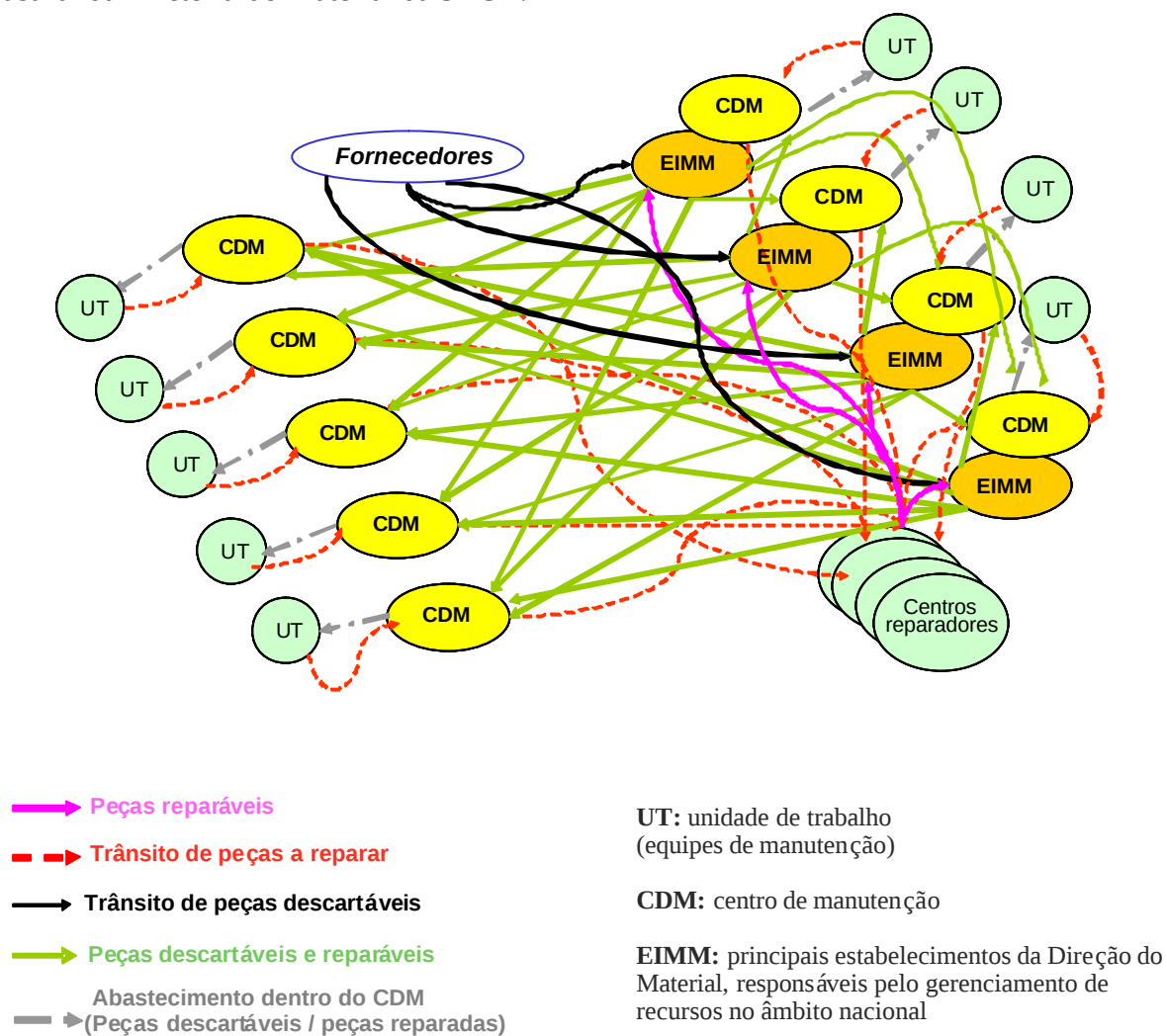


Figura 1-5 : Fluxos físicos atuais das peças de reposição (autor, 2005)

Nos últimos anos, o sistema logístico mencionado mostrou-se deficiente. Assim, a melhora da função “abastecimento / estoques” tornou-se urgente para afrontar as novas demandas do mercado da manutenção no que se refere:

- à pressão para reduzir o número de rupturas de estoques e a conseqüente melhora da disponibilidade dos materiais;
- ao uso crescente do transporte rodoviário para obter maior reatividade nas entregas;
- à necessidade de modernizar os sistemas de informações obsoletos;
- ao questionamento quanto ao modo de funcionamento do setor de compras e de relacionamento com construtores e fornecedores;
- à chegada em massa de novas séries de materiais.

2. O projeto *Performance Logistique Industrielle*

Como antes ressaltado, o objeto de estudo do presente relatório faz parte de um cenário maior: o Projeto *Performance Logistique Industrielle* (PLI). Daí a relevância deste tópico, o qual pretende detalhar o conteúdo de tal projeto para bem contextualizar o trabalho desenvolvido pelo autor.

2.1. Definição e expectativas do projeto *PLI*

Objetivando aumentar a produtividade da manutenção da *SNCF*, melhor controlando os custos logísticos e maximizando a disponibilidade dos materiais, o projeto *Performance Logistique Industrielle* propõe um novo sistema de abastecimento de peças de reposição calcado na implantação de uma plataforma única de distribuição.

Diante do contexto diagnosticado, a empresa de consultoria *CapGemini* apresentou o projeto *Performance Logistique Industrielle*. Este propõe a concentração da logística da Diretoria do Material em uma plataforma única de distribuição, que terá movimentações internas de peças terceirizadas a um prestador de serviços. Tal proposta foi aceita pelo Comitê de Direção da *SNCF* no dia 26 de abril de 2004.

A figura seguinte ilustra esta nova configuração logística, bem como a conseqüente concentração dos fluxos de peças:

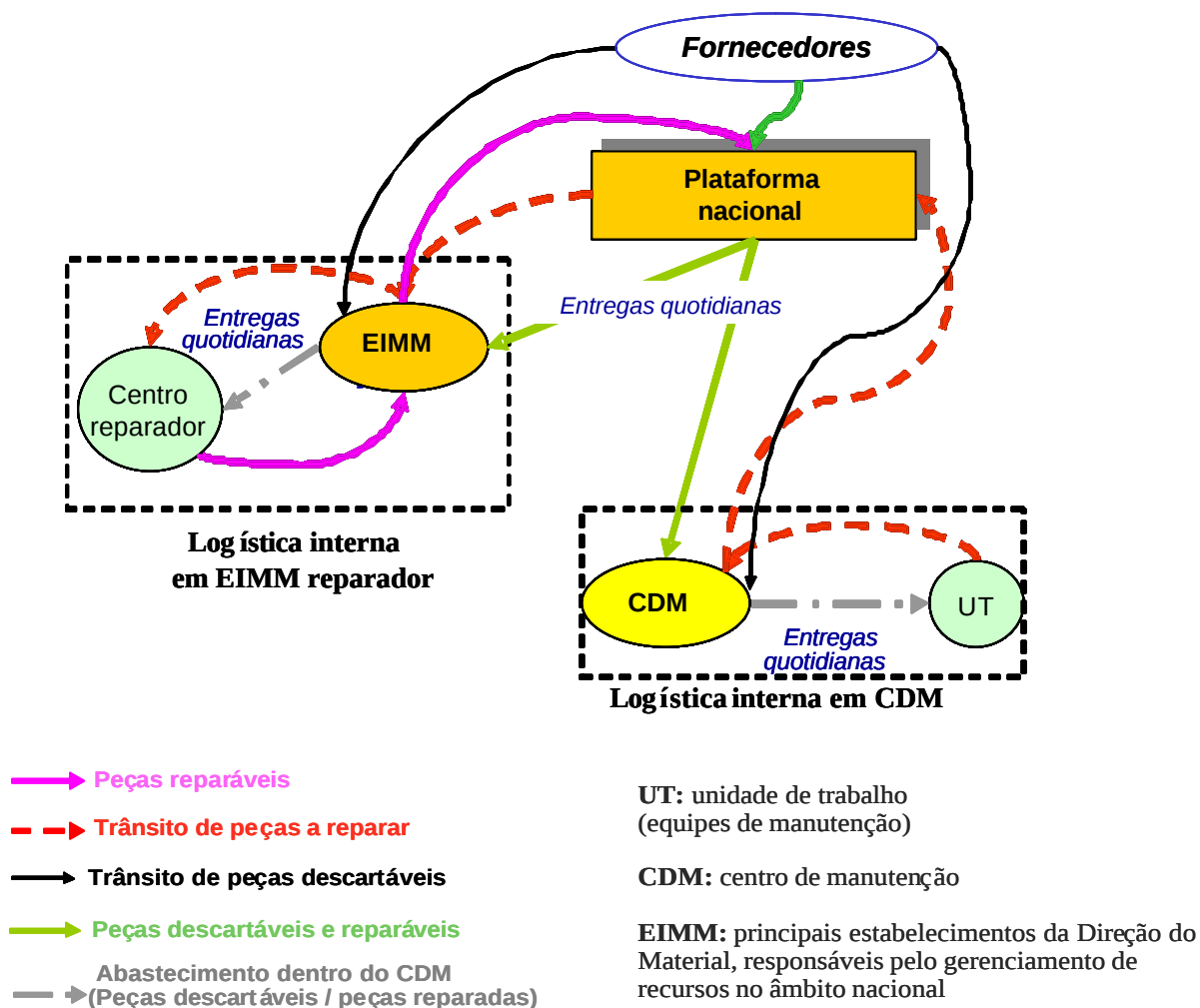


Figura 2-1 : Fluxos almejados para as peças de reposição (autor, 2005)

Neste novo cenário logístico de terceirização e concentração da logística industrial da Diretoria do Material decidido em abril de 2004, muitos benefícios são esperados, dentre eles:

- **Melhor serviço a um menor custo** (redução dos estoques e dos custos anuais de funcionamento) através da aplicação combinada de produtividade, concentração e terceirização.

Com o conseqüente aumento da reatividade e uma pilotagem mais eficaz da cadeia logística, um ganho de 15% é esperado em redução de estoques. Tal ganho representa cerca de 60 milhões de euros e é uma das metas mais importantes do projeto *PLI*.

Estima-se que a concentração dos fluxos de peças e o conseqüente aumento das taxas de ocupação dos meios de transporte, reflexos da implantação da plataforma, conduzirão à redução do custo global do transporte para a Diretoria do Material, ainda que considerado o aumento da carga transportada pelas rodovias.

Além disso, uma diminuição nos gastos de operação é esperada como conseqüência da redução nas áreas de estocagem nos 87 centros de manutenção. Trata-se, porém, de uma conseqüência de longo prazo.

- **Maior reatividade** (entregas aos centros de manutenção no dia seguinte ao do pedido, ao invés de retardar duas ou três semanas em média, como ocorre atualmente) e **melhor pilotagem** da cadeia de suprimentos como um todo (maior controle das peças em estoque), desde o fornecedor até a produção.

Constatou-se, através de sondagens, que atualmente os estoques reais presentes nos centros de manutenção da *SNCF* são 1,5 ou 2 vezes superiores àqueles constantes nos sistemas de informação. Isto ocorre, em grande parte, devido aos denominados “estoques piratas” criados pelas equipes de manutenção com o intuito de diminuir as rupturas de estoque. Portanto, rígido controle sobre referidas informações é perseguido e tido como fundamental para o cumprimento das metas do projeto.

- **Melhora na disponibilidade dos trens**, em razão da diminuição de imobilizações causadas pela ineficiente entrega de peças de reposição.

No cenário atual, é demasiado freqüente a imobilização de um trem em um centro de manutenção por falta de peças de reposição. Como resultado da maior reatividade e melhor pilotagem dos fluxos de peças, significativo será o aumento na disponibilidade dos trens.

- **Melhor posicionamento da Diretoria do Material no mercado da manutenção.**

Atualmente, a principal incumbência da Diretoria do Material é a manutenção de equipamentos da *SNCF*. No entanto, em função da ampla infra-estrutura que lhe permite atender em todo o território francês, é bastante provável que a citada diretoria passe também a prestar serviços de manutenção para outras empresas, caso ela se torne uma referência no mercado de manutenção.

2.2. A organização do projeto *PLI*

Este projeto de grande amplitude da Diretoria do Material da *SNCF* pode ser analisado sob quatro frentes diferentes, que devem respeitar prazos comuns de entrega. São elas:

- **Sistema de Informação (ERP PeopleSoft)**

As evoluções dos processos implicam a substituição das aplicações existentes pela solução ERP (*Enterprise Ressources Planning*) que traz consigo a maior interação entre os diversos setores da empresa, envolvendo, notadamente, o setor de compras.

O sistema de informação possui como meta implantar este novo sistema em duas etapas: a logística interna (a partir de 2005) e a logística externa (a partir de 2006).

- **Logística interna**

Esta área responde pela implantação, nos 87 centros de manutenção, de uma nova organização da logística interna para servir à produção dos centros em um modo “*just-in-time*”. Referida implantação permitirá que um único nível de estoque no armazém local sirva as equipes de manutenção com uma reatividade diária.

O modelo organizacional da “logística interna” foi elaborado e testado em dois centros de manutenção pilotos, *Les Ardoinnes* e *Saint Pierre des Corps*⁵. Para tanto, foram levados em consideração tanto os sistemas de informação vigentes como o aspecto organizacional.

⁵ O objetivo do projeto *PLI* é concluir esta implantação nos 85 centros de manutenção restantes até o fim de 2006.

- **Logística externa**

Esta área é responsável por sincronizar, a partir do começo de 2006, a abertura da plataforma central e a gradual responsabilização operacional do organismo que vai pilotar, no âmbito nacional, a gestão dos fluxos e dos estoques das peças de reposição. Tal organismo chamar-se-á CLI (*Centre Logistique Industrielle*) e contará com muitos agentes dos atuais centros de manutenção em sua organização.

A plataforma de distribuição, concentrando os estoques nacionais, permitirá a massificação dos transportes, permitindo entregas diárias aos centros de manutenção.

- **Recursos humanos**

Dentro da nova estrutura organizacional, a área de recursos humanos responde pela adequação dos perfis dos colaboradores aos postos de trabalho, pela reorientação de alguns deles, pela elaboração de programas de formação e pelos recrutamentos externos e internos. Cabe, também, a esta área comunicar aos funcionários todas as mudanças na organização decorrentes do projeto *PLI*.

Relevante salientar que a *SNCF* é uma empresa pública que opera em um país onde o respeito às leis trabalhistas é permanentemente reivindicado por seus empregados. Sendo assim, qualquer alteração na organização sofre resistências muito grandes por parte dos funcionários e sindicatos.

Para atingir os objetivos das quatro frentes, o cronograma do projeto é bastante audacioso e pode ser simplificado da seguinte forma:

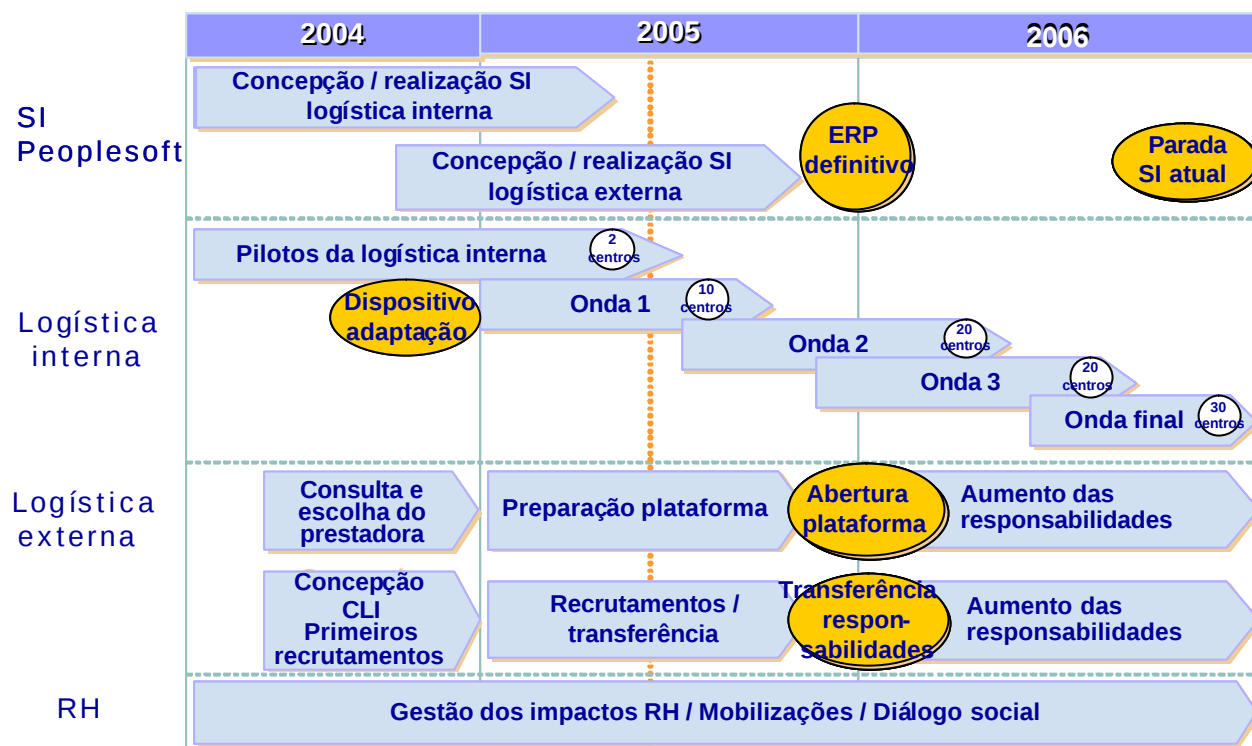


Figura 2-2 : Cronograma do projeto PLI (projeto PLI, 2005)

Por interessar mais de perto ao presente trabalho de formatura, a área da “logística interna” será detalhada no próximo item.

2.3. A frente da logística interna

Como já mencionado, a “logística interna” tem como objetivo colocar em prática, nos 87 centros de manutenção da *SNCF*, uma organização mais reativa e eficaz, capaz de servir às equipes de manutenção de um modo “*just-in-time*”.

Foi constatado que, atualmente, os centros de manutenção não são responsabilizados pela logística de suas peças de reposição. Além disso, seus estoques são reabastecidos de forma automática e pouco reativa, os processos de planificação são mal gerenciados e a urgência das peças não é levada em consideração para determinar os estoques de segurança (Por exemplo, um parafuso e um motor de trem recebem mesmo tratamento, sendo que a falta de um motor pode acabar por imobilizar um trem em um centro de manutenção).

Tendo em conta essa realidade e visando precaver-se de eventuais rupturas no reabastecimento de peças, as equipes de manutenção multiplicam seus níveis de estoque (estoque local, estoque de equipe, estoque de peças em processo). Este comportamento, no entanto, torna inviável a gestão ótima e eficaz de estoques das peças de reposição.

O novo modo de abastecimento proposto permitirá a implantação de práticas inspiradas na indústria aeronáutica e automobilística, como por exemplo:

- o rigor e a capacidade de rastrear e pilotar os fluxos (identificação de peças na área de recepção, nas zonas de preparação do pedido e de trânsito de mercadorias, etc);
- o abastecimento quotidiano de peças para as equipes de manutenção;
- a identificação formal das necessidades das equipes de produção;
- o aumento na confiabilidade das previsões, considerando, entre outros fatores, a urgência das peças.

Esta nova forma de abastecimento exige, porém, a responsabilização logística de todos os centros de manutenção. Para isto, é preciso existir uma verdadeira relação “fornecedor – cliente” entre as equipes de logística e de manutenção, que será auxiliada por um novo sistema de informação.

Ressalta-se, ainda, que a responsabilização dos centros de manutenção pela “logística interna” das peças de reposição pressupõe sincronização perfeita com a “logística externa”. Por exemplo, as entregas das peças provenientes da plataforma nacional devem cumprir os prazos previstos. Somente assim os novos níveis de estoque nos centros de manutenção poderão ser utilizados sem comprometer os níveis de serviço das peças de reposição.

Com o intuito de realizar a transição para o novo cenário proposto pelo projeto *PLI*, foi necessário criar um procedimento padrão para os 87 centros de manutenção, que será pormenorizado no item seguinte.

2.4. A adaptação dos centros de manutenção ao novo cenário logístico

Como esclarecido no diagnóstico traçado, o sistema atual conta com 17 centros principais de manutenção incumbidos de distribuir peças de reposição entre si e para os 70 centros menores. O projeto *PLI* propõe modificação deste funcionamento pela adoção de uma plataforma central de distribuição.

Para realizar esta transição para o novo cenário logístico de forma eficaz, desenvolveu-se um mecanismo padrão a ser adotado de forma gradativa pelos centros de manutenção.

Decidiu-se testar e aprimorar este modelo nos dois centros pilotos (*Les Ardoinnes* e *Saint Pierre des Corps*) e, em seguida, realizar este procedimento nos centros restantes, em levas de 10 a 30 estabelecimentos.

Aludido procedimento é organizado em cinco etapas:

1. Diagnóstico do centro de manutenção
2. Lançamento do procedimento de adaptação
3. Procedimentos técnicos e preparação da organização para o novo cenário logístico
4. Implantação da organização e do Sistema de Informação
5. Acompanhamento e capitalização das experiências

A figura seguinte ilustra essas etapas, bem como suas durações (em média):

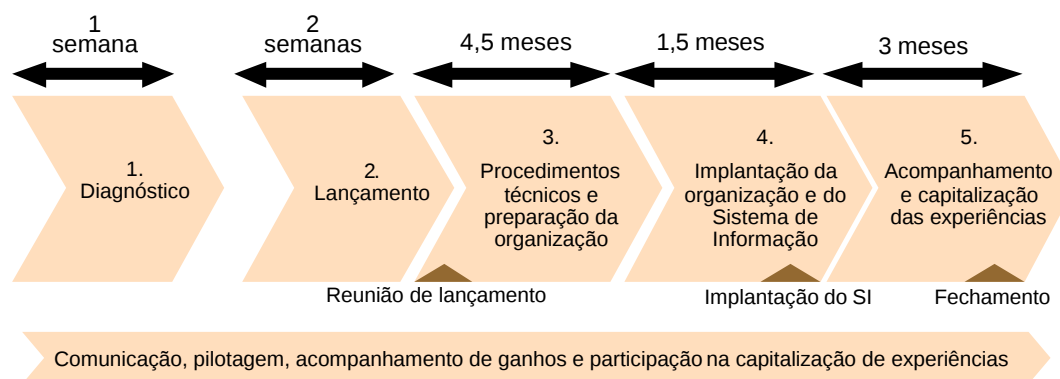


Figura 2-3 : Etapas do procedimento de adaptação de um centro de manutenção ao novo cenário logístico (projeto *PLI*, 2005)

No entanto, como os 87 centros de manutenção que passarão por esta adaptação têm perfis bastante diferentes, um procedimento padronizado mostrou-se difícil.

Esta dificuldade se deve aos diferentes perfis industriais dos centros de manutenção no que se refere:

- ao tipo de atividade :
 - o Renovação (modernização e adaptação de equipamentos)
 - o Manutenção (conserto de equipamentos)
 - o Reparação de peças (conserto de peças de reposição)
- ao tamanho do centro: de algumas dezenas até mais de mil empregados nos centros industriais;
- ao tipo de equipamento em questão:
 - o TGV⁶
 - o Vagões
 - o Locomotivas

Somado a isso, estes centros de manutenção possuem históricos, perspectivas e contextos sociais diferentes. Alguns são identificados como sendo estratégicos para o futuro da empresa *SNCF*, enquanto outros apresentam suas atividades em declínio. Há também aqueles que ainda se adaptam a reestruturações recentes.

⁶ TGV (*train à grande vitesse*): trens de alta velocidade capazes de atingir até 300 km/h.

2.5. Os princípios 5S na adaptação dos centros de manutenção

Para operacionalizar a transição ao novo cenário logístico supramencionado, alguns princípios da metodologia 5S⁷ foram implantados nos centros de manutenção da SNCF:

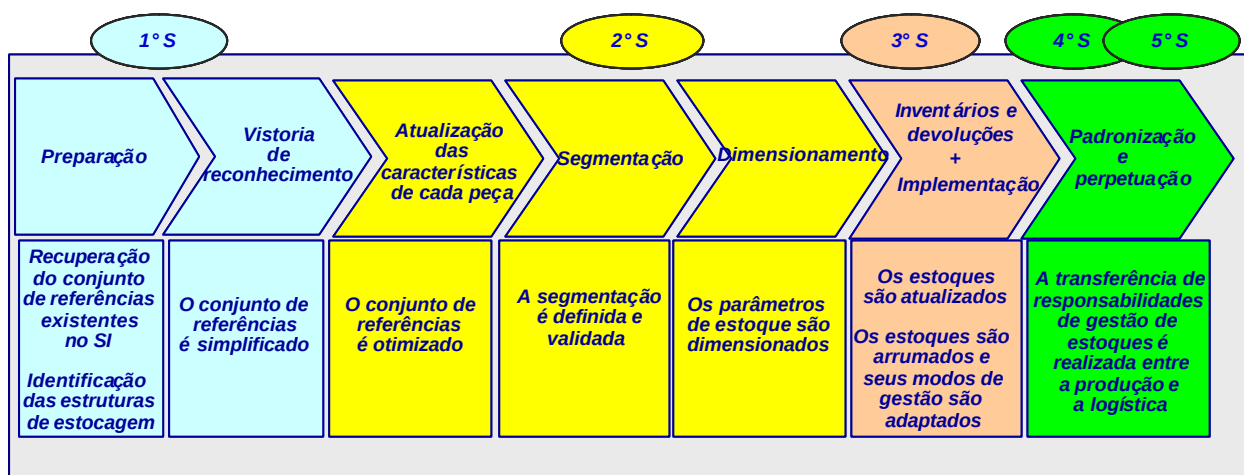


Figura 2-4 : Os princípios 5S na adaptação dos centros de manutenção (projeto PLI, 2005)

Chegando aos centros de manutenção, a primeira etapa no processo de adaptação é a realização de um diagnóstico. Nesta oportunidade, identificam-se tanto as peças utilizadas pelas equipes de manutenção como aquelas que não o são. As peças “inúteis” são descartadas e as de fato utilizadas têm suas características atualizadas (preço, consumo, urgência logística, unidade de acondicionamento, etc).

Tendo em vista que uma das maiores deficiências da organização atual refere-se à existência de estoques reais 1,5 a 2 vezes superiores aos identificados nos sistemas de informação, evidente é a relevância desta etapa inicial, pois um maior controle das referências geradas pelo estabelecimento levará a diminuições de estoques de peças desnecessárias.

O passo seguinte consiste em definir o local de estocagem de cada referência de acordo com seu comportamento logístico. Trata-se da chamada etapa de segmentação. Neste contexto,

⁷ O método 5S faz parte dos métodos japoneses que apareceram no Ocidente no final da década de sessenta. O termo “5S” faz referência aos cinco verbos de ação em japonês “Seiri”, “Seiton”, “Seiso”, “Seiketsu” e “Shitsuke” (descartar, arrumar, limpar, padronizar e disciplinar).

visando à diminuição máxima dos estoques, é desejável minimizar os níveis de estocagem de cada referência e estocá-las o mais próximo possível da plataforma.

Contudo, diante do novo cenário logístico, importa considerar como premissa desta etapa a existência de três níveis de estoques: estoques na plataforma central (centro de distribuição único), estoques nos armazéns dos centros de manutenção e os estoques em equipes (gavetas ou prateleiras).

No âmbito dos estoques localizados nas proximidades das equipes, os estoques em gavetas e em prateleiras diferenciam-se, notadamente, quanto ao controle que se tem de sua contabilidade. Ou seja, as peças colocadas em prateleiras são contabilizadas como consumidas assim que postas à disposição das equipes. Por sua vez, as peças alocadas em gavetas têm seu consumo real permanentemente atualizado no sistema de informação.

Dessa forma, peças de menor valor e que são necessárias próximas às equipes de manutenção são, geralmente, estocadas em prateleiras (é o que ocorre, por exemplo, com parafusos e porcas). Seguindo o mesmo raciocínio, peças com características logísticas semelhantes, porém de valores mais altos, são estocadas em gavetas.

A figura seguinte ilustra os três níveis de estoque possíveis no novo cenário logístico:

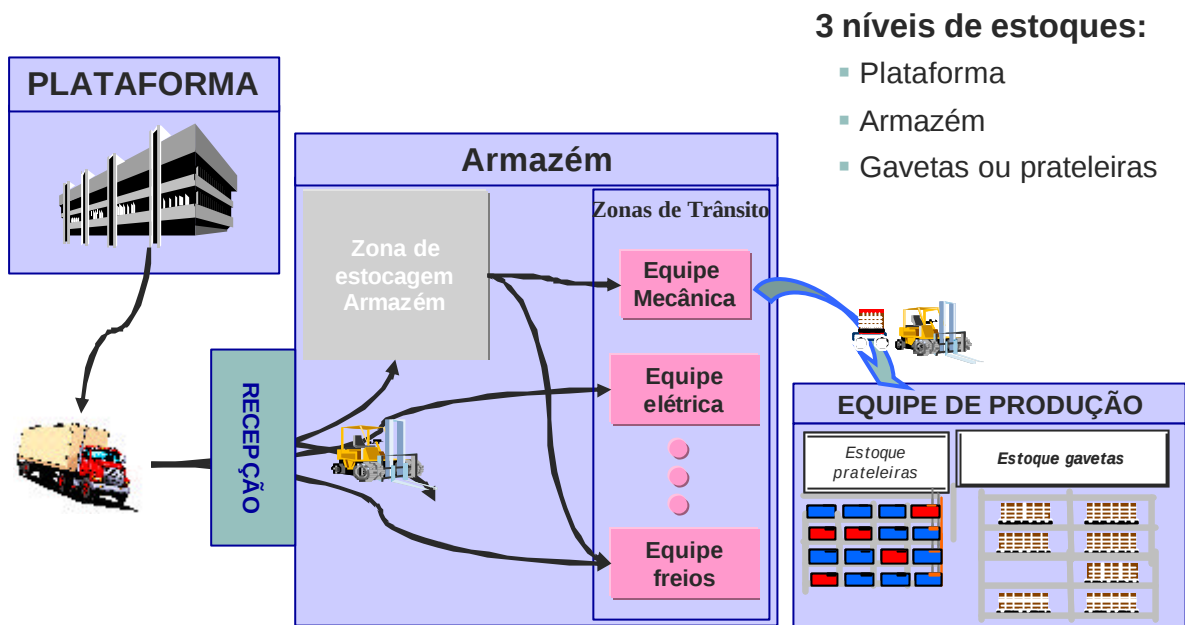


Figura 2-5 : Os três níveis de estoques no novo cenário (autor, 2005)

Para proceder à etapa de segmentação, várias características das peças são levadas em consideração:

- o urgência logística (por exemplo, sua falta pode ou não acarretar a imobilização de um trem);
- o previsibilidade;
- o consumo;
- o preço;
- o unidade de acondicionamento;
- o outros.

Considerando que a segmentação é feita individualmente, as peças de reposição utilizadas por mais de uma equipe de um mesmo centro de manutenção demandam análise diferenciada, pois cada equipe pode ter necessidades diferentes quanto ao nível de estocagem de uma mesma referência. Por exemplo, uma equipe pode precisar de um artigo com maior urgência, o que justificaria a segmentação em prateleiras ou gavetas. A necessidade deste mesmo artigo, para outra equipe, pode ser menos urgente, permitindo que este seja entregue diretamente da plataforma assim que constatada sua necessidade.

Por isso, para segmentar peças que se enquadrem nesta categoria diferenciada, é imprescindível considerar conjuntamente os interesses de cada equipe, sem descuidar da manutenção dos níveis de estocagem no seu grau mínimo.

Aprovada a segmentação, parte-se para o estabelecimento de novos parâmetros de gestão de estoques (pontos de pedido, quantidades de abastecimento, estoques de segurança, etc). Trata-se do chamado dimensionamento de estoques. Este dimensionamento faz-se necessário, pois, na nova conjuntura logística, a maior reatividade logística e a melhor pilotagem da cadeia de suprimentos permitem significativa redução dos níveis de estoques (Relevante frisar que foi justamente nesta fase de dimensionamento que o autor desenvolveu o presente trabalho de formatura).

Efetivado o dimensionamento, realiza-se o inventário. Neste último, atualiza-se o sistema de informação pela contagem da efetiva quantidade de itens presentes nos estoques dos centros de manutenção.

Passa-se, então, à etapa subsequente: colocar em prática os novos níveis de estoques. Nesta etapa, devolver-se-ão os excedentes de peças, em um primeiro momento, aos principais centros industriais nacionais (EIMMs) e, depois, à plataforma central, tão logo esta entre em funcionamento.

Por fim, como fase derradeira da aplicação do método 5S nos centros de manutenção da *SNCF*, dever-se-á perseguir a perpetuação e a padronização desta metodologia. Para tanto, é preciso desenvolver visualmente os centros de manutenção, o que favorecerá o respeito aos padrões estabelecidos.

Abaixo, encontram-se algumas fotos ilustrativas das melhorias decorrentes da aplicação dos princípios do método 5S nos postos de trabalho dos centros de manutenção da *SNCF*:



Figura 2-6 : Melhorias obtidas nos centros de manutenção da *SNCF* (projeto *PLI*, 2005)

Detalhado o contexto no qual se insere a etapa de dimensionamento dos parâmetros de gestão de estoque, parte-se para a definição do problema deste trabalho.

3. Definição do problema

No novo cenário logístico criado pelo projeto *PLI*, a etapa de dimensionamento é essencial para reduzir estoques e melhorar o nível de serviço, gastando o mínimo possível.

O estoque nada produz. Além de não corresponder a um investimento, não é amortizável e representa imobilização financeira. Daí vem o interesse em minimizá-los, disponibilizando em estoque somente as peças cujas “esperas” são custosas.

A figura abaixo mostra os fatores que condicionam a decisão quanto ao montante de peças de reposição a ser colocado em estoque:

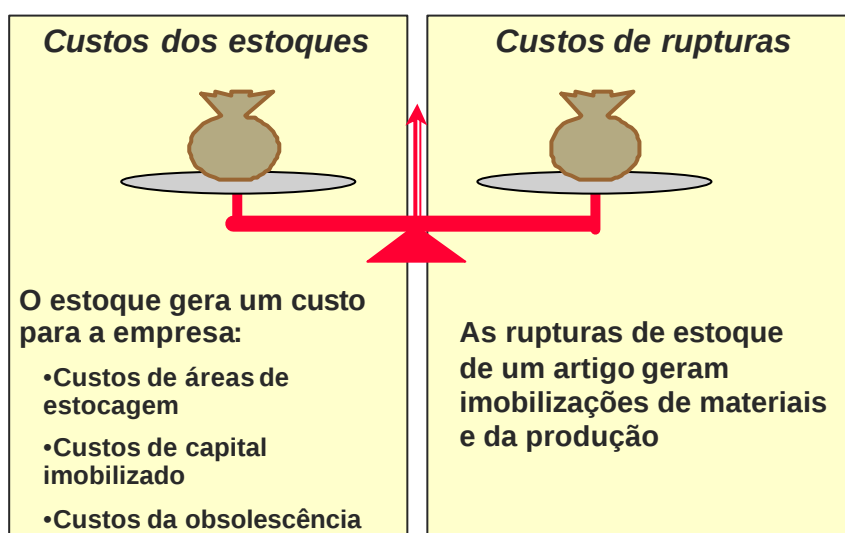


Figura 3-1 : Fatores levados em consideração no dimensionamento de estoques (projeto *PLI*, 2005)

Diante de tal complexidade, o presente trabalho propõe como objeto de estudo o desenvolvimento de regras de dimensionamento visando à gestão eficaz de estoques de peças de reposição dos centros de manutenção da *SNCF*.

Para fazer face à conjuntura logística criada pela implantação da plataforma, os parâmetros de estoque devem ser inteiramente repensados e recalculados. Além disso, todas as particularidades da Diretoria do Material devem ser levadas em consideração (heterogeneidade dos centros de manutenção, diversidade de comportamentos logísticos das 130.000 peças de reposição, limitada previsibilidade de consumo, etc).

4. Revisão da literatura

Este capítulo tem o intuito de apresentar a fundamentação teórica deste trabalho.

Primeiramente, far-se-á breves considerações sobre conceitos estatísticos empregados no presente trabalho.

Em seguida, será introduzido o conceito de lote econômico de compra (LEC), desenvolvido para determinar a quantidade de mercadorias mais vantajosa para o comprador, levando em consideração diversos fatores.

Por último, serão abordados os modelos de gestão de estoques para peças de reposição (desenvolvidos por WANKE, 2003), os quais tiveram seus princípios utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

4.1. Conceitos estatísticos

a. Distribuição normal

A distribuição normal é a mais importante das distribuições contínuas. Tal relevância relaciona-se ao fato de que muitas variáveis aleatórias de ocorrências naturais ou de processos práticos obedecem a esta distribuição. Suas origens remontam aos trabalhos de Gauss sobre erros de observações astronômicas, realizados por volta de 1.810. Daí, o nome de distribuição *gaussiana* para tal modelo.

Definição: a variável aleatória X tem distribuição normal com parâmetros μ e s^2 , $-8 < \mu < +8$ e $0 < s^2 < +8$, se a densidade é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi s^2)}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu)^2}{2s^2} \right\}.$$

Gráfico: a figura abaixo ilustra uma curva normal, determinada por valores μ e s^2 :

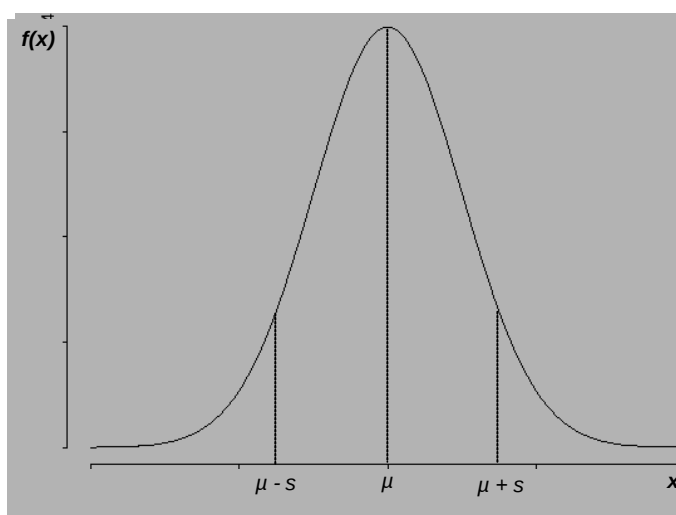


Figura 4-1 : Distribuição normal (Bussab, 2004)

A área sob a curva normal, ou de qualquer outra função de densidade de probabilidade é igual a um. Assim, para quaisquer dois valores específicos podemos determinar a proporção da área sob a curva entre esses dois valores. No caso da distribuição normal, as proporções de valores que se enquadram nos intervalos estabelecidos a partir da média (mais ou menos um, dois ou três desvios padrão) são:

Intervalo	Proporção
$\mu \pm 1s$	68.3%
$\mu \pm 2s$	95.5%
$\mu \pm 3s$	99.7%

Tabela 4-1 : Proporção de valores que se encontram nos intervalos estabelecidos a partir da média de uma distribuição normal (Bussab, 2004)

b. Distribuição de Poisson

Outra distribuição comum é a distribuição de Poisson, a qual é freqüentemente usada para modelar dados de contagem.

Se x for a ocorrência de algum evento aleatório em um intervalo de tempo ou espaço (ou algum volume de matéria), a probabilidade de ocorrência de x é dada por:

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad x = 1, 2, 3...$$

Onde:

- o λ = parâmetro de distribuição, é a média de ocorrência de x
- o a variância de uma Poisson é igual à sua média, λ .

Por exemplo, quando $\lambda = 4,68$, a distribuição apresenta o seguinte gráfico:

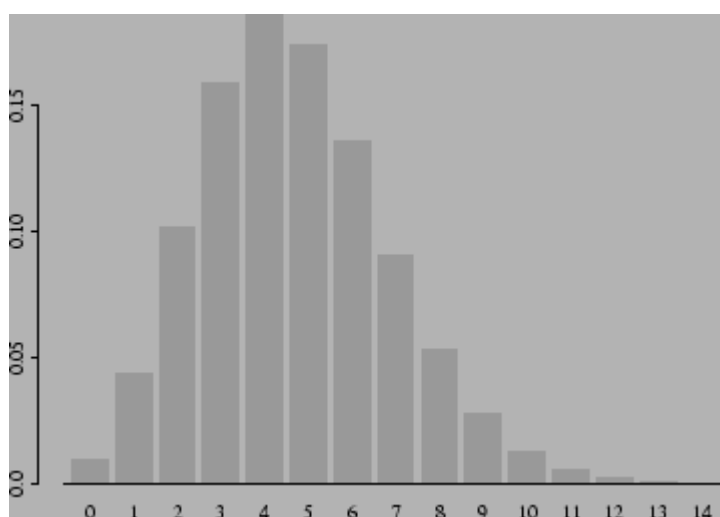


Figura 4-2 : Exemplo de uma distribuição de Poisson (Bussab, 2004)

c. Testes de aderência

Importante classe de testes não paramétricos é constituída pelos denominados testes de aderência. Nestes, a hipótese testada refere-se à forma da distribuição da população. No presente item, abordar-se-á o teste de aderência pelo qui-quadrado (χ^2).

Teste de aderência pelo χ^2

Esta forma de testar a aderência, desenvolvida por Karl Pearson, baseia-se na estatística:

$$\chi^2_v = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \sum_{i=1}^k \frac{O_i^2}{E_i} - n$$

Onde:

χ^2_v é a estatística do teste, com v graus de liberdade;

O_i a frequência observada de uma determinada classe ou valor da variável;

E_i a frequência esperada, segundo o modelo testado, dessa classe ou valor da variável;

n número de elementos da amostra;

k número de classes ou valores considerados.

Karl Pearson mostrou que, se o modelo testado for verdadeiro e se todas $E_i \geq 5$, a quantidade definida na expressão acima terá aproximadamente distribuição χ^2 com $v = k - 1 - m$, sendo k o número de parcelas somadas e m o número de parâmetros do modelo estimados independentemente a partir da amostra. A subtração de uma unidade ao valor de k deve-se à existência da restrição $\sum_{i=1}^k O_i = n$ entre frequências observadas.

Trata-se de um teste unilateral, sendo que a hipótese H_0 é rejeitada se $\chi^2_v > \chi^2_{v,\alpha}$.

4.2. Lote econômico de compra (LEC)

O princípio do lote econômico consiste em encontrar a quantidade de pedidos que otimiza o custo global na gestão de estoques (custos de manutenção de estoques e de emissão e colocação de pedidos).

Os custos de manutenção de estoques correspondem aos custos de mão de obra e de infraestrutura das equipes do armazém, assim como aos custos financeiros ligados à imobilização de capital.

Por outro lado, os custos de emissão e colocação de pedidos correspondem aos custos de mão de obra e de infra-estrutura das equipes do setor de compras e logística, bem como aos custos ligados à realização de pedidos.

A otimização destes custos pode ser visualizada na figura seguinte :

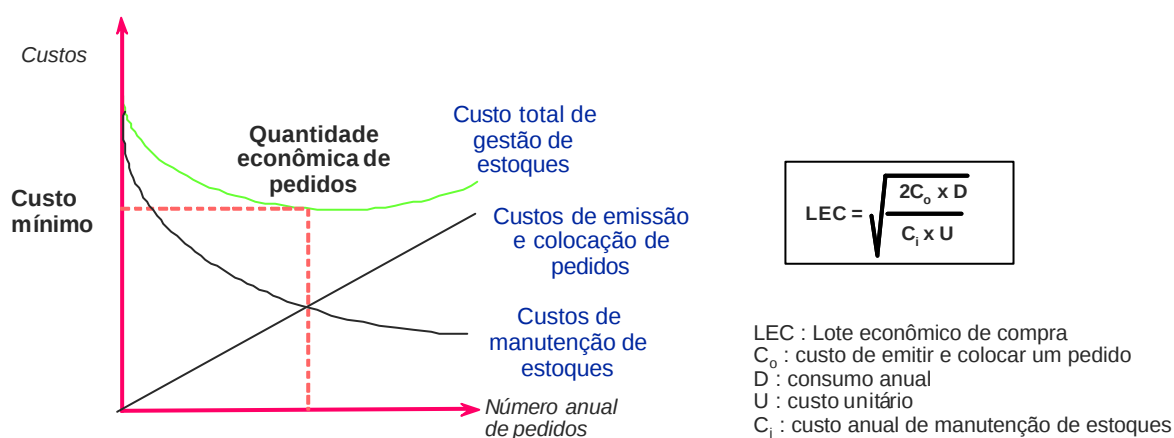


Figura 4-3 : Teoria do LEC - Lote Econômico de Compra (Lasnier, 2004)

4.3. Modelos de gestão de estoque para peças de reposição

De acordo com *SLACK, CHAMBERS e HARLAND* (1997), o conceito de gestão de estoques originou-se na função de compras em empresas que compreenderam a importância de integrar o fluxo de materiais às suas funções de suporte.

Tal integração se dá, tanto por meio do negócio, como por meio do fornecimento aos clientes imediatos. Incluídas estão, também, as funções de compras, de acompanhamento, de gestão de armazenagem, de planejamento, de controle de produção e de gestão de distribuição física.

Segundo *WANKE* (2003), a gestão de estoques de peças de reposição constitui um capítulo à parte na literatura e na prática da gestão de estoques. Os elevados custos de aquisição, os longos tempos de resposta de reabastecimento e os baixíssimos giros, característicos das peças de reposição, constituem armadilhas quando das decisões de quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoques de segurança.

O autor apresenta em sua obra modelos para a gestão de peças de reposição de baixíssimo consumo (inferior a uma unidade por ano) e de baixo consumo (entre uma e trezentas unidades por ano). Estes serão detalhados a seguir:

a. Gestão de peças de reposição de baixíssimo consumo

Segundo WANKE (2003), para peças que apresentam consumo inferior a uma unidade por ano, deve ser decidido se é mais econômico ter zero ou um item de reposição em estoque. Para esta decisão, o autor propõe a metodologia que considera vários fatores em um período de tempo de um ano:

- CTR** : custo total de reabastecimento da peça (€);
- Caq** : custo unitário de aquisição da peça (€);
- TR** : tempo de resposta do pedido (meses);
- ?** : taxa de consumo histórico (peças / ano);
- i** : taxa de oportunidade do capital (% ao ano);
- Cip** : custo de indisponibilidade e penalidade, incorrido toda vez que há solicitação da peça e a mesma não se encontra em estoque (€).

Desta forma, o custo total (**CT0**) associado à **política de não manter a peça de reposição** é dado por $? * (CTR + Cip)$, ou seja, pelo produto da taxa de consumo histórico com a soma do custo total de reabastecimento ao custo de indisponibilidade e penalidade. Este último será tão maior, ou mais relevante, quanto maior for a importância da peça em questão para a máquina, para o processo ou para a operação em si mesma. A figura seguinte ilustra a decisão de manter zero peça em estoque:

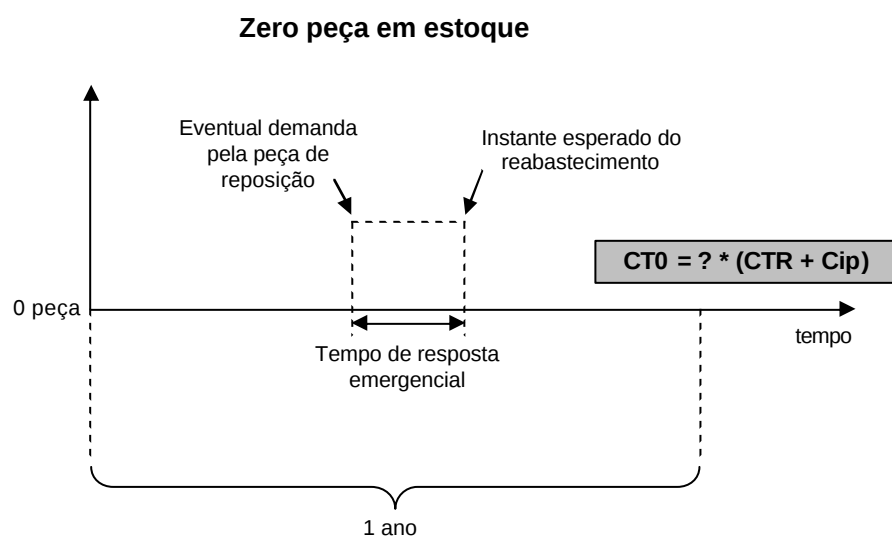


Figura 4-4 : Representação gráfica da decisão de manter zero peça em estoque (Wanke, 2003)

Por outro lado, na decisão alternativa de **manter uma unidade em estoque**, o estoque da peça é mantido até que o consumo ocorra, dando início a um período sem estoque de duração equivalente ao tempo de resposta do fornecedor. Considerando um horizonte de tempo de um ano, a fração de tempo esperada com estoque (FTECE), medida em anos, é dada por:

$$FTECE = 1 - FTECE * ? * TR$$

$$FTECE = \frac{1}{(1 + ? * TR)}$$

Além disso, o número esperado de ocorrências durante a fração de tempo esperada sem estoque (FTESE) é dado por $? * (1 - FTECE)$. O fato de já ter ocorrido o consumo da peça de reposição que estava em estoque não elimina a possibilidade de outra solicitação, ainda que sua probabilidade seja remota.

Assim, o custo total associado à decisão de manter sempre uma peça em estoque (CT1) deve considerar a possível ocorrência de outra solicitação durante o tempo de resposta do fornecedor, além de suas implicações em termos de custo de reabastecimento e dos custos de indisponibilidade:

$$CT1 = \boxed{\begin{array}{c} \text{Custo de oportunidade} \\ \text{de manter a peça em} \\ \text{estoque durante a} \\ \text{fração de ano esperada} \\ \text{com estoque} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Custo total de} \\ \text{reabastecimento} \\ \text{associado a uma} \\ \text{provável} \\ \text{reposição} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Custo de} \\ \text{indisponibilidade e} \\ \text{penalidade se houver} \\ \text{alguma solicitação} \\ \text{durante a fração do ano} \\ \text{estimada sem estoque} \end{array}}$$

$$CT1 = [FTECE * Caq * i] + [CTR * ?] + [(Cip * ?) * (1 - FTECE)]$$

A figura abaixo ilustra a decisão de manter sempre uma peça de reposição em estoque:

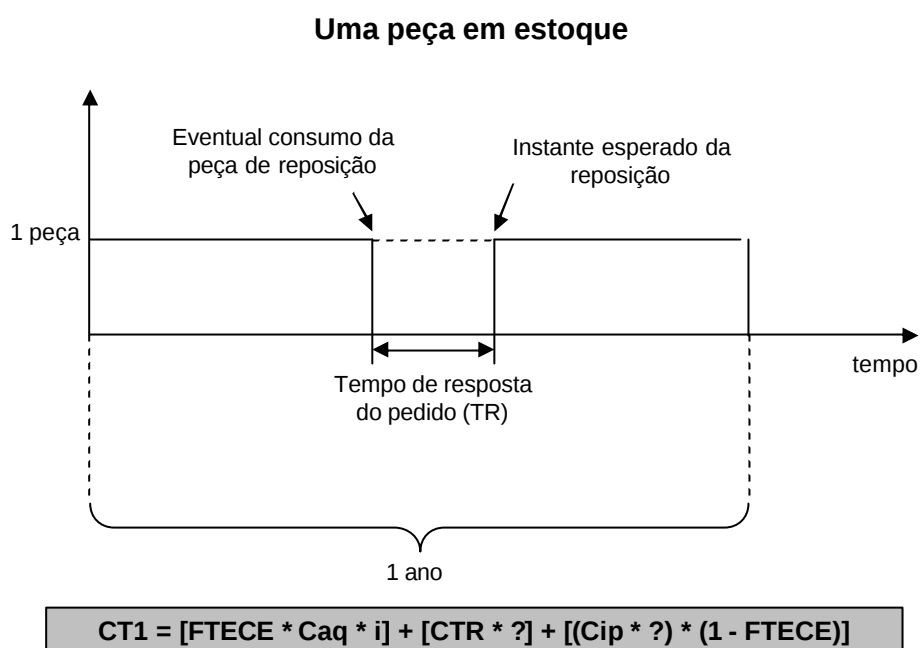


Figura 4-5 : Representação gráfica da decisão de manter uma peça em estoque (Wanke, 2003)

Sendo assim, neste modelo proposto para baixíssimas rotatividades, decide-se qual a política de gestão de estoques mais vantajosa para determinada referência com base em uma comparação dos custos incorridos nos dois cenários mencionados: uma ou nenhuma peça em estoque.

b. Gestão de peças de reposição de baixo consumo

Ainda de acordo com WANKE (2003), para peças de baixo consumo (ou seja, entre 1 e 300 unidades por ano) é arriscado assumir que a distribuição do consumo no tempo de resposta adira à distribuição normal. Isto porque é difícil avaliar a magnitude do erro na tomada de decisão decorrente da suposição da distribuição normal quando a demanda definitivamente não apresenta esse perfil.

Diante desse problema, WANKE (2003) propõe considerar que o perfil do consumo adere à distribuição de Poisson, a qual apresenta as seguintes propriedades:

- o Trata-se de uma distribuição discreta, ou seja, é possível calcular a probabilidade de ocorrência de um determinado nível de consumo com base na sua média histórica.
- o Há independência entre os eventos, ou seja, o consumo de um mês não afeta o consumo dos meses seguintes.
- o A variância do consumo (desvio padrão elevado ao quadrado) é igual ao consumo médio em determinado período.

Destarte, a partir da fórmula mostrada abaixo, baseada na lei estatística de Poisson, podemos calcular a probabilidade ($p(x)$) do consumo de peças de reposição ser igual a x unidades, quando o consumo médio histórico, durante o período de abastecimento, é λ .

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

Onde:

- $p(x)$: probabilidade de haver x solicitações por peças de reposição durante o período de abastecimento.
- λ : consumo médio da peça de reposição durante o período de abastecimento;
- x : consumo de peças de reposição cuja probabilidade se deseja estimar;

A tabela 4-1 ilustra a utilização da distribuição de Poisson considerando uma referência cujo consumo mensal é de três unidades e cujo fornecedor possui prazo de entrega de um mês. Baseado nestas características, as probabilidades individuais e as probabilidades acumuladas apresentam os seguintes valores:

Consumo de peças de reposição (x) durante o período de reposição	Probabilidades individuais	Probabilidades acumuladas (ou a probabilidade do consumo ser menor ou igual a x)
0	5,0%	5,0%
1	14,9%	19,9%
2	22,4%	42,3%
3	22,4%	64,7%
4	16,8%	81,5%
5	10,1%	91,6%
6	5,0%	96,6%
7	2,2%	98,8%
8	0,8%	99,6%
9	0,3%	99,9%
10	0,1%	100,0%

Tabela 4-2 : Avaliação do consumo de peças de reposição para o período de reposição de um mês, considerando um consumo médio histórico de três unidades mensais (adaptado de Wanke, 2003)

Esta tabela permite chegar às seguintes conclusões para o caso de uma referência com consumo médio mensal de três unidades:

- o A probabilidade de não haver solicitações de peças de reposição ($x = \text{ZERO}$), no período de reposição de um mês, é de 5,0%. Conseqüentemente, é de 95,0% a probabilidade de haver pelo menos uma solicitação de peças de reposição no período de reposição.
- o Manter cinco peças de reposição em estoque garante uma probabilidade de 91,6% de não haver falta, ao passo que manter oito peças de reposição garante 99,6%.

Sendo assim, com base neste modelo, é possível determinar o ponto de pedido de uma determinada peça em função do nível de serviço almejado.

Alternativa: uso da distribuição normal

Uma outra possibilidade é a utilização da distribuição normal para determinação do ponto de pedido em função do nível de serviço almejado.

O ponto de pedido, neste caso, é calculado a partir da soma do consumo durante o período de abastecimento, a um estoque de segurança que varia segundo o nível de serviço desejado. A fórmula utilizada é a seguinte:

Ponto de pedido = consumo durante o período de abastecimento + estoque de segurança

$$\text{Ponto de pedido} = (\text{consumo mensal} * \text{período de abastecimento}) + z * S$$

Onde:

z = coeficiente da distribuição normal que varia segundo o nível de serviço desejado

s = desvio padrão do consumo mensal

5. Solução Proposta

Com a implantação da plataforma central de distribuição, espera-se maior reatividade da logística industrial e melhor pilotagem dos fluxos das referências, o que implicará significativa redução de estoques. Para adequarem-se a esta diminuição, as regras de dimensionamento de estoques foram totalmente repensadas e recalculadas pelo autor.

5.1. Dificuldades do dimensionamento de estoques no caso da SNCF

Antes de descrever o sistema de dimensionamento de estoque das peças de manutenção elaborado para a empresa cliente, traçar-se-á um panorama geral acerca das dificuldades encontradas pelo autor neste dimensionamento. Necessário seguir tal ordem de explanação, pois o conjunto de obstáculos a ser apresentado neste passo explica a escolha dos modelos de estoque adotados para o caso da *SNCF*.

Os fatores que, no novo cenário logístico proposto, dificultam o dimensionamento de estoques são:

- o Grande número e diversidade de artigos.

Além de existirem hoje mais de 130.000 artigos nos centros de manutenção da Diretoria do Material, estes possuem comportamentos logísticos (urgência logística, previsibilidade, consumo...) bastante diversificados. Assim, apesar de muitos se enquadrarem nos modelos de baixa e baixíssima rotação, alguns apresentam consumos elevados. Referida diversidade torna complexos os cálculos de novos parâmetros de gestão de estoque, pois multiplicam seus critérios.

- o Baixa rotação das peças nos centros de manutenção.

Cerca de 95% dos artigos utilizados em um centro de manutenção possuem consumo inferior a dez peças por mês. Estas referências entram na categoria de baixa e baixíssima rotação, modelos que são pouco abordados na literatura acadêmica.

- o Dificuldade na previsão dos consumos das peças.

Averiguou-se que hoje são praticamente inexistentes planificações e previsões de reparações dos materiais da *SNCF* e que as poucas constantes nos sistemas de informação referentes a esta área são estimadas, sem muito rigor, pelas equipes de manutenção.

Portanto, tendo em vista que o dimensionamento de estoques também é guiado pelas previsões de consumo, maior o risco da incidência de estoques excessivos e de rupturas de abastecimento.

- o Limitada margem de erro para o dimensionamento.

Como existem peças de alto valor (motores de até 25.000 euros), o excesso de uma única peça no estoque pode representar significativa imobilização de capital. Por essa razão, uma atenção especial deve ser dada a essa categoria de peças.

- o Os parâmetros atuais de abastecimento são definidos de forma precária, tendo os dados históricos como sua fonte principal.

Um artigo pode passar subitamente de um consumo nulo para um consumo nada desprezível. Porém, como os cálculos logísticos embasam-se em dados históricos, tal descompasso acarretará inúmeras rupturas de abastecimento. Por outro lado, a diminuição brusca no consumo de certa referência gerará estoques desnecessários e, portanto, custosos.

- o A baixa confiabilidade dos dados existentes nos sistemas de informação.

Como supracitado, o arcaísmo dos sistemas nacionais de informação da *SNCF* estimulou o surgimento de sistemas paralelos em alguns centros de manutenção. Constatou-se que as informações presentes nas diversas bases de dados nem sempre gozam de uniformidade. Para um mesmo item, por exemplo, há registros diferentes de preços e de unidades de acondicionamento em cada sistema.

5.2. Aplicação dos modelos de gestão de estoque e das regras de dimensionamento⁸

Neste passo do trabalho, focar-se-á a aplicação dos conceitos enunciados na revisão bibliográfica ao dimensionamento de estoques dos centros de manutenção da *SNCF*.

Em razão da grande variedade e quantidade de peças geradas pela Diretoria do Material (mais de 130.000 referências), adotaram-se modelos de gestão de estoque e regras de dimensionamento diferentes para cada grupo de artigos com comportamentos logísticos similares.

Com relação aos modelos, além de não ser possível utilizar um único modelo de gestão de estoque, mesmo quando adotado um deles, adaptações fizeram-se necessárias em razão das singularidades das peças.

Com referência às regras de dimensionamento de estoque, cumpre frisar sua intrínseca relação com os locais de armazenamento determinados na etapa de segmentação (estoque na plataforma central, estoque no armazém, estoque em equipe).

De modo geral, as regras de dimensionamento estabelecidas obedecem às seguintes premissas:

- Na etapa de segmentação, as peças de baixo valor e forte rotatividade são geralmente alocadas próximas às equipes de manutenção, ou seja, nas prateleiras. Com relação a estas, é preferível haver um eventual excesso a ocorrer ruptura de estoque, já que seu valor diminuto não significa relevante imobilização de capital. Conseqüentemente, quanto a essas peças, maior nível de serviço é esperado.

⁸ Antes de qualquer outra consideração, importa destacar a existência de duas fases para a implantação da nova configuração logística proposta: intermediária e final.

No período de transição para esta nova conjuntura, a *fase intermediária* perdurará até que a plataforma comece a operar normalmente. Nesta fase, não há expectativa de que os prazos de entrega almejados sejam rigorosamente cumpridos. Como decorrência, os níveis de estoque deverão ser mais altos para prevenir eventuais rupturas.

Passando a plataforma a funcionar normalmente, proceder-se-á à atualização gradativa dos parâmetros de gestão de estoque até que se alcance o cenário logístico ótimo. Trata-se da *fase final*.

Assim, relevante ter em conta que à etapa de dimensionamento, aqui estudada, caberá calcular os parâmetros de gestão de estoques de ambas as fases.

-
- Consoante a mesma linha de raciocínio, itens de elevado valor unitário recebem tratamento mais prudente na etapa de dimensionamento e, na fase de segmentação, são colocados o mais próximo possível da plataforma (exceção feita às peças muito críticas como, por exemplo, aquela cuja falta possa acarretar a imobilização de um TGV⁹). Para o cálculo dos parâmetros de gestão dessas peças, foram utilizadas leis estatísticas (distribuição normal e de Poisson). Essas leis permitem definir diferentes níveis de serviço segundo critérios estabelecidos para cada grupo de peças com comportamentos logísticos homogêneos e serão, oportunamente, pormenorizadas neste trabalho.
 - Conforme a origem da peça (fornecedores externos, centros de manutenção, etc), verifica-se variação na confiabilidade dos prazos de entrega. Quanto menor a confiabilidade, maior a necessidade de estocar itens suplementares para se precaver de eventuais atrasos. Tal ponderação, aliada aos erros de previsão de demanda, é determinante para decidir a quantidade a ser mantida no estoque para garantir o nível de serviço desejado. Esta quantidade é chamada de estoque de segurança. Portanto, de acordo com a origem da peça, decidiu-se adotar estoques de segurança diferentes para os cálculos dos parâmetros de gestão de estoques.
 - As quantidades de reabastecimento devem considerar: (i) as unidades de acondicionamento; (ii) o pedido mínimo fixado pelo fornecedor (por exemplo, um fornecedor não irá entregar somente uma caixa de parafusos); (iii) as unidades de troca (Há, por exemplo, referências que são sempre consumidas de quatro em quatro unidades. Inútil, portanto, reabastecer uma equipe com apenas uma unidade desta referência).

⁹ Muitos passageiros pagam preços mais elevados para usufruir da tecnologia de trens de alta velocidade em troca da economia de tempo. Destarte, a imobilização de um trem desta categoria pode implicar prejuízos consideráveis à empresa SNCF.

- Quanto aos artigos de baixíssimo consumo (inferior a uma unidade por ano), o modelo descrito na revisão bibliográfica não foi rigorosamente adotado. Tal modelo considera o custo da indisponibilidade e penalidade da peça, mas a aferição desse fator é muito complexa no caso específico da *SNCF*¹⁰. Portanto, optou-se por adotar a urgência logística da referência como critério de decisão na alocação de uma ou nenhuma peça nos centros de manutenção (estoque nas prateleiras, gavetas ou armazém). Assim, caso a alocação do item no centro de manutenção não seja fundamental, este será estocado somente na plataforma, sendo entregue ao centro conforme a necessidade.

Observadas essas premissas, as regras utilizadas para os cálculos dos parâmetros de gestão de estoques, na fase intermediária, serão sintetizadas nos dois sub-itens seguintes¹¹.

¹⁰ Quase 40%, ou seja, aproximadamente 50.000 referências, apresentam consumo anual inferior a uma unidade. Isto tornaria inviável o cálculo individual do custo de indisponibilidade de cada peça.

¹¹ As regras de dimensionamento para a fase final, em que a plataforma já opera normalmente, está documentada no anexo D. Seguem elas a mesma lógica da fase transitória, mas pressupõem prazos de entrega inferiores.

a. Regras de dimensionamento das prateleiras

As referências segmentadas nas **prateleiras** foram divididas em três grupos segundo o comportamento logístico:

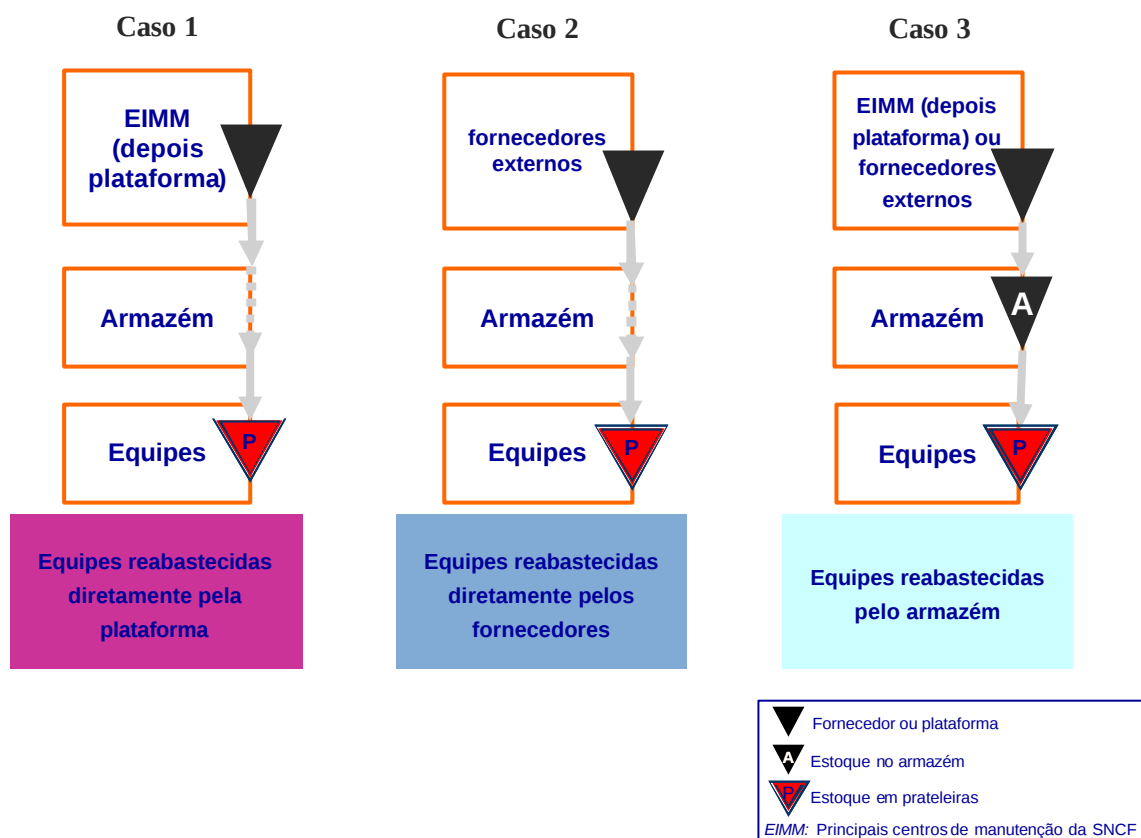


Figura 5-1 : Casos possíveis para as prateleiras (autor, 2005)

Nos casos 1 e 2, a diferença encontra-se na origem do abastecimento que implica prazos de entrega diversos. Por esta razão, tratamentos diferentes são utilizados para os cálculos dos pontos de pedido e das quantidades de abastecimento.

Diferente dos dois primeiros casos, o caso 3 prevê dois níveis de estoques no centro de manutenção: nas prateleiras e no armazém. Neste caso, o armazém reabastece diretamente as prateleiras das equipes e é reabastecido pela plataforma ou pelos fornecedores externos. Esta configuração (raramente utilizada) é geralmente prevista para referências de baixo valor que são utilizadas por várias equipes de um mesmo centro de manutenção.

Assim, para calcular os parâmetros de gestão de estoques no caso 3, imprescindível valer-se tanto das regras de dimensionamento para as prateleiras como daquelas que serão detalhadas para o armazém.

As correspondentes regras de dimensionamento para as **prateleiras** são detalhadas abaixo (fase intermediária):

	Artigos envolvidos	Origem do abastecimento	Ponto de pedido *múltiplo do acondicionamento	Quantidade de abastecimento
Caso 1	Referências disponíveis no sistema de informação nacional	EIMM (depois plataforma)	Max* (1 unidade de troca ; 1 semana de cobertura + consumo médio durante abastecimento; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) *Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; 2 meses de cobertura*) * Arredondado ao acondicionamento
Caso 2	Contratos específicos com fornecedores externos	Fornecedores externos	Max* (1 unidade de troca ; 2 semanas de cobertura + consumo médio durante reabastecimento; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) * Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; Min*(LEC; 3 meses de cobertura)) * Arredondado ao acondicionamento
Caso 3	Referências estocadas nas proximidades de mais de uma equipe, para as quais é vantajoso o estoque intermediário no armazém.	Armazém = estoque intermediário	Max* (1 unidade de troca ; 1 dia de consumo; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) * Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; 1 semana de cobertura*) * Arredondado ao acondicionamento

Figura 5-2 : Regras de dimensionamento para as prateleiras (autor, 2005)

Aplicando a fórmula do lote econômico¹², verificou-se que as peças estocadas nas prateleiras, por possuírem baixo valor unitário, apresentam quantidades muito altas de abastecimento. Isto implica frequências de entrega muito baixas, o que acaba por dificultar a utilização plena dos caminhões enviados diariamente aos centros de manutenção. Por esta razão, para referências estocadas em prateleiras, foi dada preferência por lotes menores de abastecimento. Por exemplo, no caso 2, a quantidade de abastecimento é calculada pela fórmula do lote econômico somente se o resultado desta for inferior à quantidade suficiente para três meses de consumo.

¹² Pode verificar-se, na revisão da bibliografia, que quanto menor o valor da referência, maior o lote econômico.

No caso 1, a quantidade de abastecimento é dada pelo valor máximo entre uma unidade de acondicionamento e o montante equivalente a dois meses de consumo da referência (arredondado à unidade de acondicionamento). Trata-se de peças de reposição que serão estocadas na plataforma central e que serão entregues aos centros de manutenção conforme necessidade. Esse caso representa aproximadamente 90% das referências estocadas em prateleiras.

O caso 2 é calculado de forma análoga, sendo que o consumo em análise corresponde a um período de três meses. O valor mínimo entre a quantidade suficiente para três meses de consumo e a quantidade calculada pela fórmula do lote econômico é comparado com a unidade de acondicionamento. O maior valor entre eles estabelece a quantidade de abastecimento. Neste caso (se comparado com o caso 1), as quantidades de abastecimento são maiores, pois devem respeitar restrições de fornecedores externos que, não raras vezes, se recusam a realizar entregas muito freqüentes.

O caso 3, por sua vez, leva em consideração o consumo de uma semana, já que a equipe é reabastecida pelo próprio armazém do centro de manutenção. Tal abastecimento demora, no máximo, quatro horas para ser efetuado.

Para o cálculo dos pontos de pedido, a diferença principal entre os casos sob análise consiste nos estoques de segurança estipulados.

No caso 1, o estoque de segurança corresponde a uma semana de consumo. O ponto de pedido é, então, o resultado do valor máximo entre uma unidade de consumo, uma semana de cobertura (estoque de segurança) somada ao consumo durante o período de abastecimento e metade da unidade de acondicionamento. O estabelecimento desta regra pressupõe a existência de estoques destas referências na plataforma, o que elimina a necessidade de pontos de pedido elevados.

Utilizando a mesma fórmula, o caso 2 utiliza um estoque de segurança de duas semanas. Tal estoque de segurança é maior devido à existência de maior variabilidade nos prazos de entrega para os fornecedores externos.

Já no caso 3, por ser um abastecimento interno em um centro de manutenção, o estoque de segurança foi estipulado em cerca de quatro horas. O ponto de pedido é calculado, para este caso, pelo valor máximo entre uma unidade de consumo, um dia de consumo e metade de um acondicionamento. Além do estoque intermediário no armazém, pressupõe-se também a existência de estoques destas referências na plataforma, o que traz como resultado pontos de pedido mais baixos.

No caso das referências com segmentação em prateleiras, importa ressaltar que a maioria apresenta acondicionamento em montante significativo. Tal volume reflete diretamente nas quantidades de abastecimento, que devem ser um múltiplo da unidade de acondicionamento.

Essas considerações quanto às unidades de acondicionamento, somadas às baixas taxas de consumo, explicam as quantidades importantes de muitas dessas referências em estoque. No entanto, em grande parte dos casos, por se tratar de peças de baixo valor, o capital imobilizado não é considerado relevante a ponto de motivar negociações com fornecedores para reduzir suas unidades de acondicionamento.

b. Regras de dimensionamento das gavetas ou do armazém

Para os estoques em **gavetas ou no armazém**, foram identificados quatro casos:

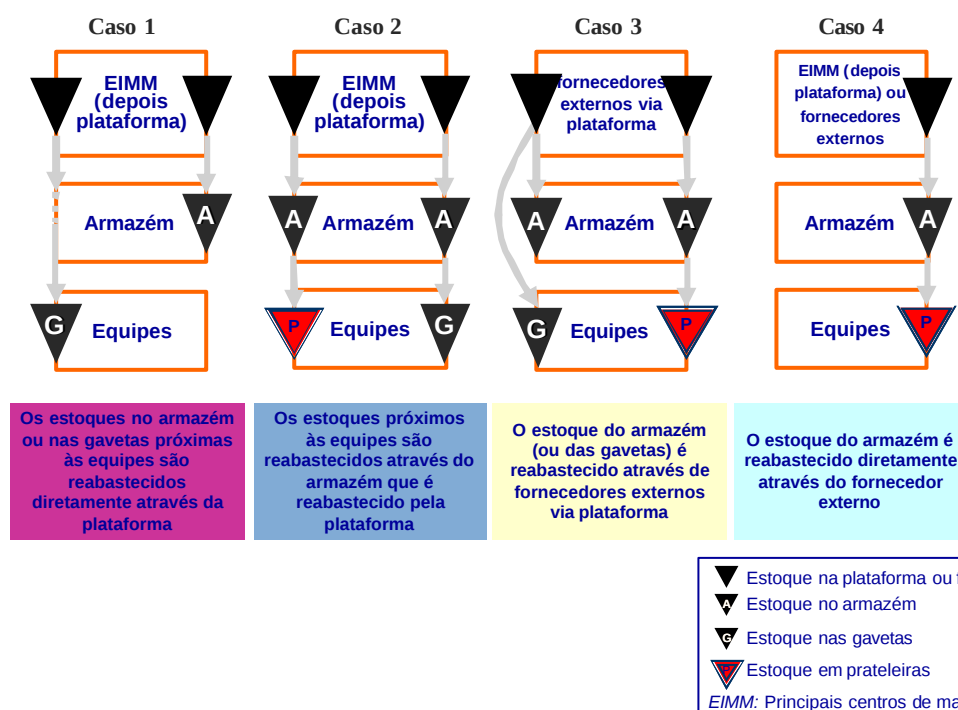


Figura 5-3 : Casos possíveis para armazém ou gavetas (autor, 2005)

Ao contrário das peças estocadas nas prateleiras, as referências estocadas no armazém ou nas gavetas de um centro de manutenção devem minimizar ao máximo suas quantidades em estoque para que as metas do projeto *PLI*, em termos de redução de estoques, possam ser alcançadas. Essa minimização motiva a utilização de leis estatísticas (distribuição normal e Poisson) que permitem, a partir de níveis de serviço almejados, calcular os pontos de pedido adequados.

Nos casos 1 e 2 (que representam cerca de 95% das referências estocadas nos armazéns ou nas gavetas), as regras são destinadas às referências oriundas dos EIMM (e, na fase final, da plataforma). A diferença entre eles está nos níveis de estocagem: enquanto no primeiro caso existe somente um nível de estocagem (no armazém ou nas gavetas), o segundo apresenta estoques em dois níveis (armazém e gavetas ou armazém e prateleiras).

O caso 3 está relacionado às referências que são entregues pelos fornecedores externos. Quando a plataforma estiver em funcionamento (fase final), estes artigos passarão por ela para que haja aproveitamento no transporte das mercadorias, concentrando os fluxos. Neste caso, a plataforma será somente um ponto de transbordo.

O caso 4 envolve as referências que são entregues diretamente aos centros de manutenção pelos fornecedores externos, sem utilizar a plataforma como ponto de transbordo. Neste caso, o armazém que deve ser dimensionado servirá de estoque intermediário para os estoques em prateleiras.

As regras de dimensionamento correspondentes são detalhadas abaixo (fase intermediária):

	Artigos envolvidos	Origem do abastecimento	Ponto de pedido* *múltiplo da unidade de troca	Quantidade de abastecimento
Caso 1	Peças de reposição com um único lugar de estocagem (gavetas ou armazém)	EIMM (depois plataforma)	Consumo mensal superior a 10 unidades = nível de serviço de 95%; Consumo mensal inferior a 10 unidades = nível de serviço de 90%;	Max (unidade de troca ; 2 semanas de cobertura*) *arredondado ao acondicionamento
Caso 2	Artigos estocados em gavetas e no armazém	EIMM (depois plataforma)	Armazém : conforme caso 1 Gavetas: 1 peça ou unidade de troca* *ou uma quantidade suficiente para uma semana de consumo	Armazém : conforme caso 1
Caso 3	Contratos específicos com fornecedores externos	Fornecedores externos via plataforma	Max* (1 unidade de troca; 2 semanas de cobertura + consumo médio durante reabastecimento) *arredondado para cima	Max(1 acondicionamento ; Min* (LEC; 3 meses de cobertura)) *arredondado ao acondicionamento
Caso 4	Contratos específicos com fornecedores externos com entregas diretas	Fornecedores externos	Nível de serviço de 99%	1 mês de cobertura* *arredondado ao acondicionamento

Figura 5-4 : Regras de dimensionamento para armazém ou gavetas (autor, 2005)

No caso 1, as referências provenientes da plataforma (ou EIMM) são estocadas na gaveta ou no armazém. Os pontos de pedido são determinados em função dos níveis de serviço, que variam segundo as taxas de consumo. Para o cálculo destes pontos são aplicadas leis estatísticas (distribuição normal ou Poisson), que serão abordadas em detalhes no próximo item. Quanto à quantidade de abastecimento, ela é, para este caso, igual ao máximo entre uma unidade de troca e duas semanas de cobertura. É importante ressaltar que, para estas referências, pressupõe-se também a existência de estoques na plataforma central.

No caso 2, há dois níveis de estoque no centro de manutenção: gavetas e armazém ou prateleiras e armazém. Para o cálculo dos pontos de pedido, o armazém que irá abastecer as gavetas (ou as prateleiras) utiliza como base as mesmas regras do caso 1. As gavetas, por seu turno, terão como pontos de pedido quantidades suficientes para uma semana de consumo. Para as prateleiras, os cálculos dos pontos de pedido e das quantidades de abastecimento já foram citados anteriormente.

No caso 3, que representa uma minoria das 130.000 referências existentes nos centros de manutenção da *SNCF*, não são utilizadas leis estatísticas para determinar os pontos de pedido das peças provenientes de fornecedores externos. Isto pode ser explicado por suas taxas de

consumo, que não se enquadram nem nos modelos de baixa nem nos de baixíssima rotação. É, inclusive, por essa razão que os pontos de pedido destas referências não utilizam as leis estatísticas (distribuição normal e Poisson). Os parâmetros de gestão de estoques para este caso são calculados da mesma forma que as referências estocadas em prateleiras oriundas de fornecedores externos.

O caso 4 corresponde ao dimensionamento do armazém que irá abastecer as prateleiras, para referências que são entregues por fornecedores externos diretamente aos centros de manutenção. Esta configuração, com dois níveis de estoque (prateleiras e armazém), representa igualmente uma minoria de peças. Para o cálculo dos pontos de pedido, são utilizadas, também, as leis estatísticas do caso 1. No entanto, como estes artigos são provenientes de fornecedores externos, que possuem prazos de entrega menos confiáveis, o nível de serviço esperado para esta configuração é um pouco superior (99%).

c. As leis estatísticas utilizadas

Como mencionado no item anterior, o cálculo dos parâmetros de gestão de estoques de algumas referências com segmentação em gavetas ou no armazém (casos 1, 2 e 4) baseou-se em leis estatísticas que permitem determinar os pontos de pedido dado um nível de serviço almejado. Esse é o princípio do modelo de gestão de estoques proposto por WANKE (2003) para peças de reposição de baixa rotação.

A escolha de leis estatísticas é justificada pela necessidade de um rigor maior na gestão de estoques das peças de maior valor, uma vez que elas representam capital imobilizado significativo quando estocadas.

Primeiramente, tentou-se identificar o modelo de distribuição de probabilidade que melhor se adequava ao perfil de consumo das referências em questão. De acordo com a revisão bibliográfica, as referências de alto consumo podem ser aproximadas pela distribuição normal. As referências de baixo consumo, por sua vez, são bem representadas pela distribuição de Poisson.

Notou-se, também, que, no cenário atual da *SNCF*, algumas referências de alto valor eram estocadas indevidamente em prateleiras. Como observado em outra oportunidade, as peças colocadas em prateleiras são contabilizadas como consumidas assim que postas à disposição das equipes.

Como algumas dessas referências de alto valor são acondicionadas em caixas com mais de uma unidade¹³, os respectivos dados históricos de desvio padrão apresentavam distorções nos sistemas de informação da *SNCF* quando estas eram colocadas em prateleiras.

Exemplifica-se: uma referência estocada em prateleira, com consumo médio de 0,5 unidade mensal e acondicionamento em caixas de seis unidades, apresenta, no sistema de informação da *SNCF*, um desvio padrão igual a 1,73 ao invés de 0,52. A tabela seguinte ilustra este exemplo:

¹³ Em geral, as peças de alto valor são acondicionadas em caixas com até 10 unidades.

	Consumo histórico real	Dados de consumo no sistema de informação da SNCF
Janeiro	1	6
Fevereiro	0	0
Março	0	0
Abril	1	0
Maiο	1	0
Junho	0	0
Julho	1	0
Agosto	0	0
Setembro	1	0
Outubro	0	0
Novembro	1	0
Dezembro	0	0
Média	0,5	0,5
Desvio padrão	0,52	1,73

Tabela 5-1 : Distorção nos dados de desvio padrão (autor, 2005)

Se fossem utilizados os dados existentes no sistema de informação da *SNCF*, o ponto de pedido para esta referência, admitindo que seu perfil de consumo aderisse ao perfil de distribuição normal, seria:

Ponto de pedido = consumo durante o período de abastecimento + estoque de segurança

Ponto de pedido = (consumo mensal * período de abastecimento de 1 mês) + $z_{90\%}$ * S

Ponto de pedido = (0,5 * 1) + 1,281 * 1,73 = 2,716 (que é arredondado para 3)

No entanto, o ponto de pedido para esta referência deveria ser:

Ponto de pedido = (0,5 * 1) + 1,281 * 0,52 = 1,169 (que é arredondado para 2)

Com base nestas constatações e na revisão de bibliografia, decidiu-se utilizar a distribuição de Poisson para as referências com consumo mensal inferior a dez unidades. Para as outras referências (consumo superior a dez unidades), optou-se pela distribuição normal já que elas não apresentavam distorções nos dados de desvio padrão.

Para verificar se os perfis de consumo das referências de maior valor poderiam ser efetivamente aproximados por modelos de distribuição, foram feitos testes de aderência. A partir de amostras¹⁴, foi possível ter indícios da coerência dessas hipóteses mencionadas.

¹⁴ Alguns dos testes de aderência são mostrados no anexo E.

d. Exemplo das regras estabelecidas

Para esclarecer as regras de dimensionamento mencionadas, um exemplo complexo, porém raro, é detalhado neste item. Neste exemplo, a referência é estocada em duas prateleiras, próximas às equipes de produção A e B¹⁵. Além destes estoques em equipe, há um estoque intermediário no armazém do centro de manutenção, que é abastecido por fornecedores externos e abastece as duas equipes citadas.

As equipes A e B consomem mensalmente 40 e 60 unidades, respectivamente. No período de 2003 – 2004, os desvios padrões dos consumos das equipes A e B são, respectivamente, 19,03 e 28,39. Trata-se de uma referência com preço unitário de 30,01 euros, que é acondicionada em caixas de dez unidades e cujo fornecedor possui um prazo de entrega de um mês.

As características desta referência, bem como os cálculos utilizados no dimensionamento, são detalhadas na figura abaixo:

Dados de entrada

Centro	Referência	Tipo abast.	Cód. Origem	IR2	FRE	Segmentação	Consumo	Preço	Unidade de troca	Acondicionamento
42161	74193020			SIM	A	PRATELEIRAS/ARMAZÉM	40	30,01	1	10
42161	74193020			SIM	B	PRATELEIRAS/ARMAZÉM	60	30,01	1	10

Ferramenta de cálculos

Caso 3	Ponto de pedido	PRATELEIRAS	Quantidade de abastecimento:
	Max* (1 unidade de troca ; 1 dia de consumo; ½ acondicionamento)		Max (1 acondicionamento ; 1 semana de cobertura*) *arredondado ao acondicionamento
FRE: A	1 unidade de troca = 1 1 dia de consumo = 40/20 = 2 ½ acondicionamento = 5 Max (1 ; 2 ; 5) = 5		1 acondicionamento = 10 1 semana de cobertura = 40/4 = 10 Max (10 ; 10) = 10
FRE: B	1 unidade de troca = 1 1 dia de consumo = 60/20 = 3 ½ acondicionamento = 5 Max (1 ; 3 ; 5) = 5		1 acondicionamento = 10 1 semana de cobertura = 60/4 = 12,5 Max (10 ; 12,5) = 12,5
Caso 4	Ponto de pedido:	ARMAZÉM	Quantidade de abastecimento:
	Nível de serviço de 99%		1 mês de cobertura* *arredondado ao acondicionamento
	Consumo mensal da referência no centro = 40 + 60 = 100 Lei estatística normal Nível de serviço = 99% → Ponto de pedido = 180		1 mês de cobertura = 100 Arredondado ao acondicionamento

Resultados

Prateleiras	Referência	FRE	Segmentação	Ponto de pedido	Qde abastecimento
	74193020	A	PRATELEIRAS/ARMAZÉM	5	10
	74193020	B	PRATELEIRAS/ARMAZÉM	5	20
Armazém	Referência	Consumo	Segmentação	Ponto de pedido	Qde abastecimento
	74193020	100	PRATELEIRAS/ARMAZÉM	180	100

Figura 5-5 : Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005)

¹⁵ Para identificar as equipes de manutenção em um centro de manutenção, utiliza-se o código FRE.

Como é possível observar na última figura, cada prateleira tem seus parâmetros de gestão de estoques calculados independentemente (caso 3 para as prateleiras). Segundo os cálculos apresentados, a prateleira da equipe A deve ser reabastecida com uma quantidade de dez unidades quando dispuser de cinco peças em estoque. A prateleira da equipe B também possui ponto de pedido de cinco unidades, mas é reabastecida em lotes de vinte unidades.

Em seguida, o armazém, que irá abastecer as prateleiras, é dimensionado (caso 4 para o armazém). Para este cálculo, o consumo levado em consideração para o armazém é a soma dos consumos das prateleiras existentes no centro de manutenção.

De acordo com as regras estabelecidas, para o cálculo do ponto de pedido do armazém de uma referência oriunda de fornecedores externos, deve-se utilizar a lei estatística de distribuição normal (consumo superior a dez unidades mensais), com nível de serviço de 99%.

Antes de detalhar tais cálculos, é necessário determinar o desvio padrão do consumo desta referência para o armazém. Sabendo que o consumo desta é dado pela soma dos consumos das equipes A e B, temos que o desvio padrão para o armazém é calculado da seguinte forma:

$$s_{\text{armazém}}^2 = (s_A)^2 + (s_B)^2$$
$$s_{\text{armazém}} = 34,18$$

Desta forma, o ponto de pedido do armazém, que consome mensalmente 100 unidades da referência em questão, é calculado da seguinte forma :

Ponto de pedido = consumo durante o período de abastecimento + estoque de segurança

Ponto de pedido = (consumo mensal * período de abastecimento) + z * s

Ponto de pedido = (100 peças/mês * 1 mês) + 2,326 * 34,18

Ponto de pedido = 179,5 (que é arredondado para 180)

Desta forma, quando o estoque no armazém atinge o nível de 180 peças, ele deve ser reabastecido a partir da plataforma com uma quantidade de 100 peças.

Outros exemplos de cálculos de dimensionamento estão documentados no anexo F.

e. A ferramenta de dimensionamento

Após a definição das regras de dimensionamento, o passo seguinte consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta em MS Access¹⁶, capaz de calcular os novos parâmetros de gestão de estoques.

O aplicativo desenvolvido permitiu verificar a pertinência das regras de dimensionamento, bem como ajustá-las de modo a obter um dimensionamento mais coerente. Ilustra-se: a utilização desse instrumento permitiu ratificar que a fórmula do Lote Econômico de Compra, utilizada para o cálculo da quantidade ótima de pedidos, não era adequada para o caso específico da manutenção na *SNCF*, pois os fluxos, além de não serem constantes durante o ano, eram bastante fracos. Tais características implicavam lotes muito grandes e pouco frequentes de abastecimento, o que dificultava o transporte diário de mercadorias aos centros de manutenção.

Após a aprovação do seu emprego, a ferramenta ora apresentada foi integrada aos sistemas de informação dos centros de manutenção da *SNCF*, tendo como principal missão automatizar os cálculos dos parâmetros de gestão de estoques nos 87 centros de manutenção da *SNCF*.

Impende ressaltar, ainda, que a operação do aplicativo de dimensionamento foi dificultada pela limitada credibilidade dos dados existentes nos sistemas de informação dos centros de manutenção. Não raras vezes, os sistemas de informação dos centros de manutenção registravam dados díspares sobre um mesmo item. Para enfrentar tal divergência, foi imprescindível realizar inúmeros controles de dados antes de se proceder aos cálculos dos parâmetros de gestão de estoques.

¹⁶ A ferramenta em MS Access está detalhada no anexo G.

6. Resultados

Antes de qualquer consideração acerca dos resultados obtidos, cumpre notar que, até a finalização deste relatório, somente os dois centros pilotos (*Saint Pierre des Corps* e *Les Ardoignes*) haviam concluído a etapa de dimensionamento de estoques, os outros 85 centros encontravam-se ainda nas fases preliminares da etapa de adaptação ao novo cenário logístico. Destarte, a avaliação dos proveitos trazidos pela redução de estoques terá como amostra representativa apenas os resultados obtidos nos dois centros pilotos.

Esta etapa do trabalho tem como objetivo principal consignar alguns dados concretos obtidos com a aplicação da nova configuração logística no centro piloto de *Saint Pierre des Corps*. Mas, para isso, primeiramente, esclarecer-se-á como os níveis de estoque dos centros de manutenção são afetados (i) pela frequência de entregas, (ii) pelos prazos de entrega e, também, (iii) pela confiabilidade na pontualidade dos fornecedores.

Como outrora observado, a concentração dos fluxos, resultante da implantação da plataforma central, trará o incremento da frequência de entregas aos centros de manutenção. Este aumento, por sua vez, contribuirá diretamente para a redução dos níveis de estoques nos centros de manutenção, pois, como demonstrado nos gráficos abaixo, consideradas idênticas taxas de consumo, quanto maior a frequência de entregas, menor o estoque médio.

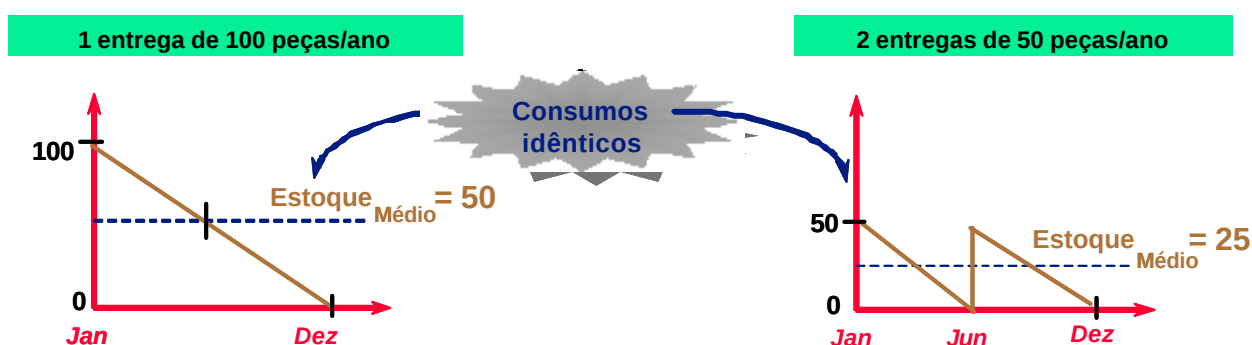


Figura 6-1 : Variação do estoque médio em função da frequência de entregas (autor, 2005)

Além do aumento da frequência de entregas, observou-se também a redução potencial dos prazos de entrega (ou de abastecimento). Aludida diminuição, motivada pela implantação da

plataforma única, pela substituição do sistema de informação e pelo aumento da participação do transporte rodoviário, também conduzirá a importante redução do montante de peças em estoque. Por exemplo: uma referência cujo consumo mensal é de vinte unidades e cujo prazo de entrega é de três semanas, demanda reabastecimento quando restarem quinze peças em estoque (quantidade necessária correspondente ao consumo de três semanas, sem considerar o estoque de segurança). Implantada a plataforma central, o prazo de entrega da mesma referência reduzirá para três dias. Como consequência, o abastecimento apenas será reclamado quando o estoque contar com três peças (desconsiderado o estoque de segurança).

Outro fator que contribui diretamente para diminuir os níveis de estoques é o aumento da confiabilidade na pontualidade dos fornecedores, pois este implica a redução do estoque de segurança. Tendo em vista que o estoque de segurança pretende manter o nível de estoque desejado, buscando precaver-se das variações na demanda e no abastecimento (prazo de entrega), quanto maior a confiabilidade dos fornecedores, menor tende a ser a necessidade dessa precaução.

Esclarecidas as relações entre o montante de peças estocadas e os três fatores supracitados, passa-se a enunciar um caso ocorrido no centro de *Saint Pierre des Corps* para que se possa entender o funcionamento prático e concreto dessa nova proposta logística.

No mencionado centro piloto, a aplicação das novas regras de dimensionamento em uma amostra de 2.500 referências permitiu reduzir em 20,4% o estoque médio existente (em termos de valor). Por outro lado, no que tange à quantidade de peças estocadas, verificou-se incremento de 21%. A explicação para este fenômeno é a seguinte: como um dos objetivos do projeto é o aperfeiçoamento do nível de serviço das peças de pequeno valor, foram criados estoques localizados próximos às equipes. A criação destes estoques refletiu no aumento do montante de unidades estocadas, embora não tenha implicado significativo incremento do valor imobilizado, devido aos valores baixos das referências. As peças de alto valor, por sua vez, tiveram suas quantidades diminuídas ao mínimo necessário para honrar os níveis de serviço estabelecidos. Tal política implicou a redução do valor imobilizado de forma expressiva.

O caso narrado confirma os esperados proveitos trazidos pelo cenário logístico proposto, já que houve redução de estoques e aprimoramento do nível de serviço.

7. Conclusão

O presente trabalho de formatura constitui uma das etapas do projeto *PLI*, que possui como objeto de trabalho a logística industrial da manutenção na empresa *SNCF*. Pretende aprimorar a performance desta logística, provendo-a de maior reatividade (agilidade de respostas) e tornando-a menos custosa.

É evidente a relevância desse projeto, pois, além de se tratar de um empreendimento de enorme vulto, apresenta reflexos sócio-econômicos consideráveis. Explica-se: por envolver a *SNCF*, empresa responsável pelo transporte ferroviário na França, o raio de influência dos resultados do projeto *PLI* serão amplos. Trata-se de 25.000 agentes que terão seus ambientes de trabalho alterados de alguma forma pelo novo cenário logístico proposto.

Com melhor reatividade no abastecimento das peças de reposição e melhor pilotagem do conjunto da cadeia de suprimentos, a plataforma única de distribuição propiciou um novo cenário logístico favorável à redução de estoques nos centros de manutenção da *SNCF*.

Concentrando os fluxos de peças e privilegiando o transporte rodoviário, logrou-se diminuir consideravelmente os prazos de entrega, sem que isto implicasse o aumento dos gastos com transporte. Nesta conjuntura renovada, as regras de gestão de estoques tiveram que ser inteiramente repensadas e recalculadas.

Como mencionado na revisão bibliográfica, quando se trata de peças de reposição, a gestão de estoques segue regras diferenciadas em razão de inúmeras particularidades. O caso da empresa *SNCF* é ainda mais especial, pois esta possui também referências com consumos consideráveis, não se limitando aos modelos de baixa e baixíssima rotatividade.

Para resolver este impasse, as 130.000 referências existentes na Diretoria do Material foram agrupadas segundo comportamentos logísticos semelhantes e o tratamento dado a cada grupo respeitou suas peculiaridades. O emprego deste método tornou possível, por exemplo, dispensar atenção especial às referências que representam significativas imobilizações de capital ou àquelas que são fundamentais para assegurar boa disponibilidade dos materiais da *SNCF*.

Após definição e aprovação das novas regras de gestão de estoques, desenvolveu-se um aplicativo em MS Access capaz de calcular os novos parâmetros de gestão para os 87 centros de manutenção da *SNCF*. Tal ferramenta não só permitiu a automatização desta etapa de cálculos, como também viabilizou a realização de ajustes nas regras estabelecidas.

Infelizmente, até a finalização do presente relatório, o aplicativo desenvolvido somente havia operado nos dois centros pilotos (*Saint Pierre des Corps* e *Les Ardoinnes*). Assim, não se teve acesso a números mais conclusivos, referentes ao projeto como um todo.

No entanto, os resultados obtidos nos centros pilotos, ainda que parciais e relativos, indicam ter sido acertada a opção pela nova configuração logística. Os dados concretos ratificaram a expectativa de redução de estoques e de melhora no desempenho do serviço de abastecimento de peças.

Por todos os argumentos teóricos e práticos sustentados neste trabalho, fácil concluir que a proposta de racionalização da área de manutenção da *SNCF* representa ganhos inestimáveis a esta empresa, que dispõe de mais de 400 milhões de euros imobilizados em estoques de peças.

Em uma fase subsequente, para aumentar ainda mais a eficiência da *SNCF* na gestão de peças de reposição, pode-se esperar um programa de incentivo à manutenção preventiva dos equipamentos. Objetiva-se, através desta política, diminuir a variabilidade na demanda das peças, alcançando redução suplementar de estoques excessivos e de eventuais rupturas.

BIBLIOGRAFIA

BLONDEL, F. *Gestion de la Production*, Dunod, 1997.

BOWERSON, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*, São Paulo, Atlas, 2000.

BUISSON, L. *Etude d'un nouveau système de livraison des pièces de rechange sur la France*, TE/88/040, 1988.

BUSSAB, W.; MORETTIN, P. *Estatística básica*, São Paulo, Saraiva, 2004.

CHING, H. Y. *Gestão de estoques na cadeia de logística integrada – “Supply Chain”*, São Paulo, Atlas, 1999.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos – Estratégia, Planejamento e Operação*, São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2004.

CHRISTOPHER, M. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria de serviços*, São Paulo, Pioneira, 1997.

COSTA NETO, P. *Estatística*, São Paulo, Edgard Blucher Ltda., 1998.

CROLAIS, M. *Gestion intégrée des stocks et approvisionnement*, Editions Hommes et Techniques, Suresnes, 1973.

FENDER, M.; DORNIER, P. P. *La Logistique Globale, Enjeux – Principes – Exemples*, Editions d'Organisation, 2001.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. *Logística Empresarial: a perspectiva brasileira*, São Paulo, Atlas, 2000.

LASNIER, G. *Gestion des approvisionnements et des stocks dans la chaîne logistique*, Lavoisier, 2004.

MEHEUST, A. *Logistique et gestion de stocks sur les magasins de pièces de rechange Renault*, TE/99/105, 1999.

ROBIN, E. *Gestion des stocks: Pièces de Rechange Renault*, TE/00/051, 2000.

SALAMONI, R. *Aplicação de Modelos de Gestão de Estoques na Área de Peças de Reposição de Empresa do Setor de Linha Branca*, São Paulo, 2001.

SAMII, A. K. *Stratégie Logistique: Supply Chain Management*, 3^{ème} édition, Dunod, Paris, 2004.

WANKE, P. *Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos quantitativos*, São Paulo, Atlas, 2003.

ZERMATI, P. *Pratique de la Gestion des Stocks*, 6^{ème} édition, Dunod, 2001.

ANEXOS

Anexo A: organograma de consultores da empresa *CapGemini* no projeto *PLI*

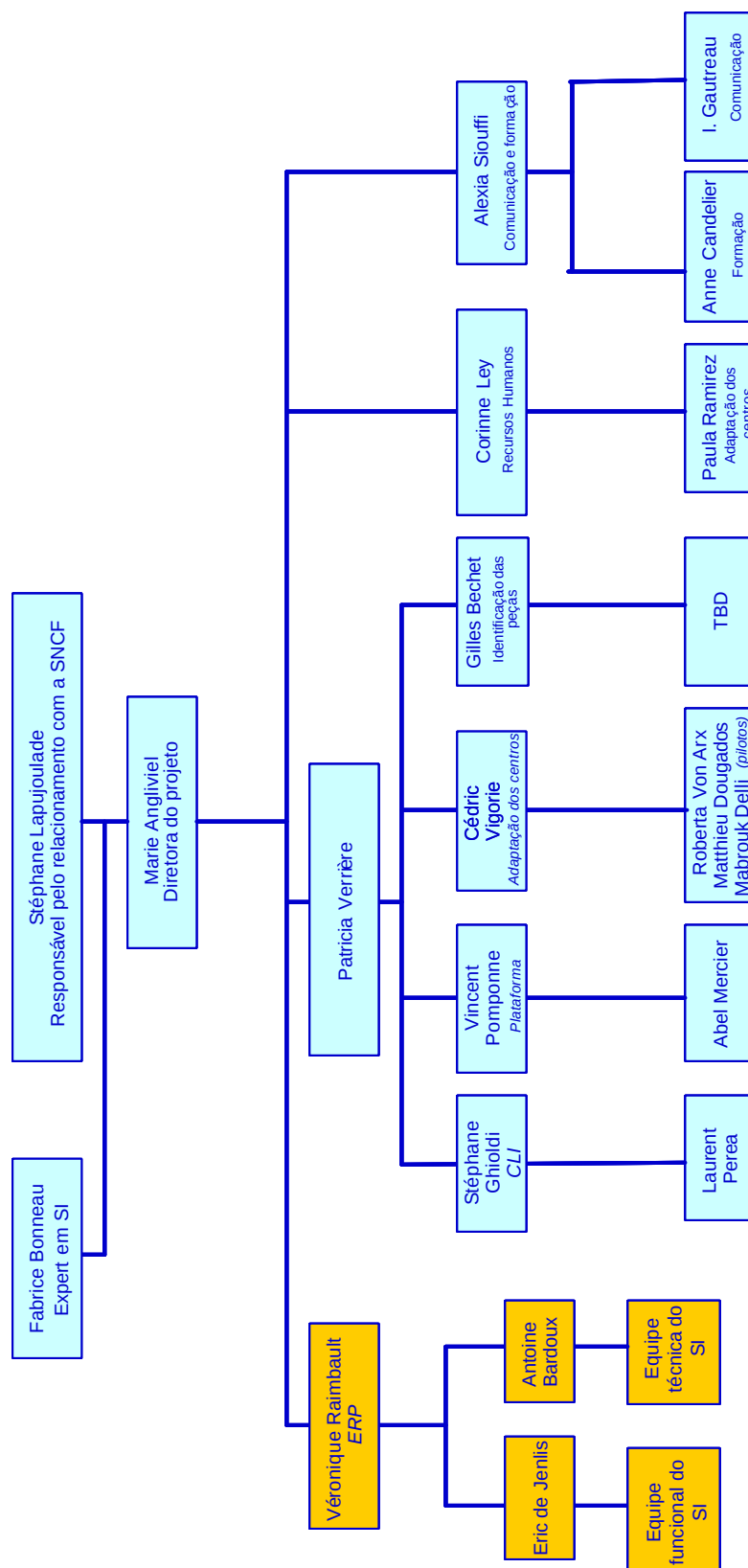


Figura A-1: organograma de consultores da empresa *CapGemini* no projeto *PLI* (empresa *CapGemini*, 2005)

Anexo B: principais dados da SNCF

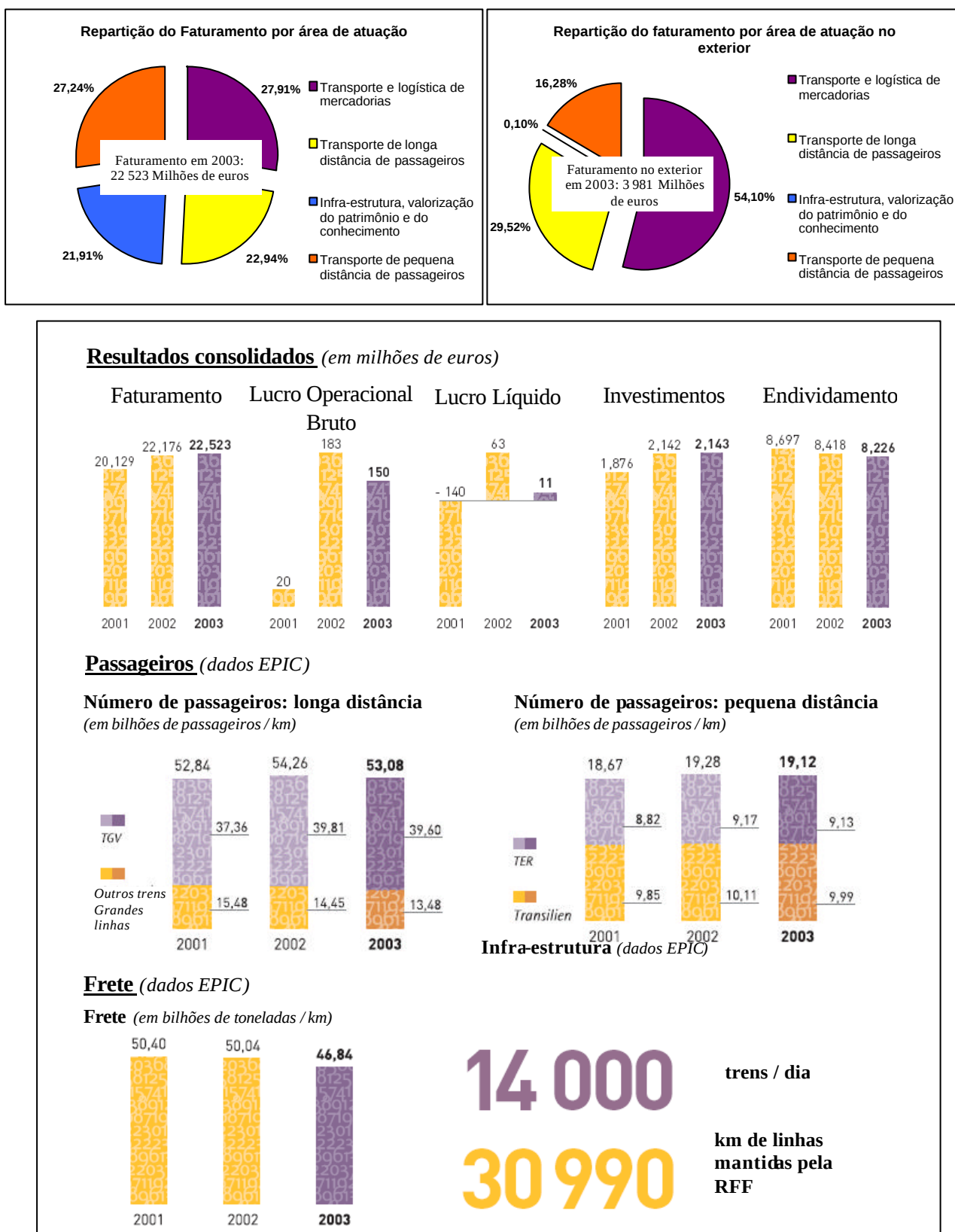


Figura B-1: principais dados da SNCF (empresa SNCF, 2005)

Anexo C: organograma da SNCF

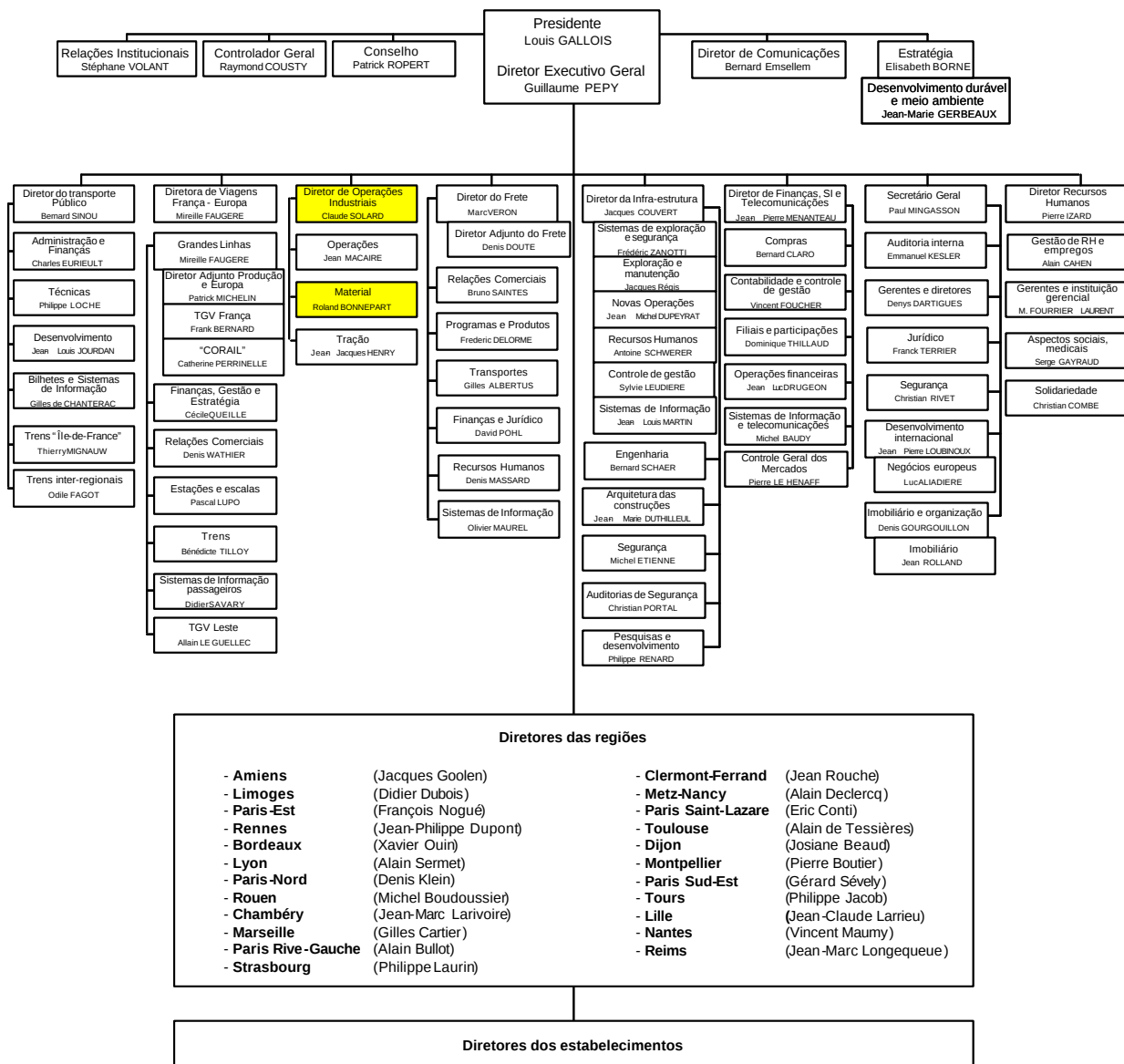


Figura C-1: organograma da empresa SNCF (empresa SNCF, 2005)

Anexo D: regras de dimensionamento para a fase final (plataforma operacional) (1/2)

Na fase final, quando a plataforma estiver operando normalmente, os prazos de entrega das peças de reposição sofrerão uma diminuição significativa se comparados com a fase intermediária. Os parâmetros de gestão de estoques, por sua vez, poderão ser atualizados, o que permitirá uma redução de peças em estoque.

Os grupos de peças de comportamentos homogêneos continuarão a existir e as respectivas regras de dimensionamento serão atualizadas da seguinte forma para as prateleiras:

	Artigos envolvidos	Origem Origem do abastecimento	Ponto de pedido *múltiplo do acondicionamento	Quantidade de abastecimento
Caso 1	Referências disponíveis no sistema de informação nacional	Plataforma	Max* (1 unidade de troca ; 1 semana de cobertura; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) *Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; 1 mês de cobertura*) * Arredondado ao acondicionamento
Caso 2	Contratos específicos com fornecedores externos	Fornecedores externos	Max* (1 unidade de troca ; 2 semanas de cobertura + consumo médio durante reabastecimento; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) * Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; Min*(Wilson; 3 meses de cobertura)) * Arredondado ao acondicionamento
Caso 3	Referências estocadas nas proximidades de mais de uma equipe, para as quais é vantajoso o estoque intermediário no armazém.	Armazém = estoque intermediário	Max* (1 unidade de troca ; 1 dia de consumo; $\frac{1}{2}$ acondicionamento) * Arredondado para cima	Max (1 acondicionamento ; 1 semana de cobertura*) * Arredondado ao acondicionamento

Figura D-1: Regras de dimensionamento para as prateleiras na fase final (autor, 2005)

Anexo D: regras de dimensionamento para a fase final (plataforma operacional) (2/2)

No mesmo raciocínio, os dimensionamentos das gavetas e do armazém também serão atualizados:

	Artigos envolvidos	Origem do abastecimento	Ponto de pedido* *múltiplo da unidade de troca	Quantidade de abastecimento
Caso 1	Peças de reposição com um único lugar de estocagem (gavetas ou armazém)	Plataforma	Consumo mensal superior a 10 unidades = nível de serviço de 95%; Consumo mensal inferior a 10 unidades = nível de serviço de 90%;	Max (unidade de troca ; 2 semanas de cobertura*) *arredondado ao acondicionamento
Caso 2	Artigos estocados em gavetas e no armazém	Plataforma	Armazém : conforme caso 1 Gavetas: 1 peça ou unidade de troca* *ou uma quantidade suficiente para uma semana de consumo	Armazém : conforme caso 1
Caso 3	Contratos específicos com fornecedores externos	Fornecedores externos via plataforma	Max* (1 unidade de troca; 2 semanas de cobertura + consumo médio durante reabastecimento) *arredondado para cima	Max(1 acondicionamento ; Min* (Wilson; 3 meses de cobertura)) *arredondado ao acondicionamento
Caso 4	Contratos específicos com fornecedores externos com entregas diretas	Fornecedores externos	Nível de serviço de 99%	1 mês de cobertura* *arredondado ao acondicionamento

Figura D-2: Regras de dimensionamento para gavetas e armazém na fase final (autor, 2005)

Anexo E: testes de aderência (1/3)

Para verificar a aderência dos perfis de consumo aos modelos de distribuição, foram realizados testes de aderência pelo *qui-quadrado*. Alguns destes testes são detalhados a seguir:

- o A referência número 77365677 (termostato 5300), com consumo médio de 3,83 unidades mensais, utilizada no centro de manutenção de *Saint Pierre des Corps*, apresentou os seguintes dados de consumo no ano 2003 e 2004:

Mês	Consumo da referência 77365677	
	2003	2004
Janeiro	3	4
Fevereiro	5	3
Março	6	4
Abril	1	2
Maio	4	1
Junho	5	6
Julho	3	7
Agosto	7	6
Setembro	2	4
Outubro	3	1
Novembro	5	3
Dezembro	3	4
Média	3,83	

Tabela E-1 : Histórico de consumo da referência 77365677 (autor, 2005)

Fazendo o teste de aderência pelo *qui-quadrado* para testar a hipótese de que a distribuição do consumo desta referência segue uma distribuição de Poisson, chega-se aos seguintes resultados:

x_i	$f_i = O_i$		$x_i * f_i$	p_i	E_i		$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2$	$(O_i - E_i)^2/E_i$
1	3	5	3	0,083	1,991	5,806	-0,806	0,650	0,112
2	2		4	0,159	3,815				
3	6		18	0,203	4,875		1,125	1,265	0,260
4	5		20	0,195	4,672		0,328	0,108	0,023
5	5	8	25	0,149	3,582	7,124	0,876	0,768	0,108
6	1		6	0,095	2,288				
7	2		14	0,052	1,253				
	24		90		22,477				0,502

Tabela E-2 : Teste de aderência pelo *qui-quadrado* para a referência 77365677 (autor, 2005)

Anexo E: testes de aderência (2/3)

Para determinação do χ^2 crítico (quatro parcelas e um parâmetro foi estimado a partir da amostra), o número de graus de liberdade deverá ser:

$$v = k - 1 - m = 4 - 1 - 1 = 2$$

Adotando $\alpha = 5\%$, obtém-se:

$$\chi^2_{\text{crítico}} = \chi^2_{2; 5\%} = 5,991$$

Logo, como $0,502 < 5,991$, aceita-se a hipótese de que a distribuição de consumo desta referência segue uma distribuição de Poisson.

- O A referência número 77334557 (parafuso FS 4x16), com consumo médio de 70,04 unidades mensais e desvio padrão de 16,56, utilizada no centro de manutenção de *Saint Pierre des Corps*, apresentou os seguintes dados de consumo no ano 2003 e 2004:

Mês	Consumo da referência 77334557	
	2003	2004
Janeiro	56	44
Fevereiro	45	76
Março	86	90
Abril	75	91
Maio	70	80
Junho	65	88
Julho	73	81
Agosto	56	54
Setembro	83	40
Outubro	66	59
Novembro	71	78
Dezembro	52	102
Média	70,04	
Desvio Padrão	16,56	

Tabela E-3 : Histórico de consumo da referência 77334557 (autor, 2005)

Anexo E: testes de aderência (3/3)

Fazendo o teste de aderência pelo *qui-quadrado* para testar a hipótese de que a distribuição do consumo desta referência segue uma distribuição normal, chega-se ao seguinte resultado:

x_i	$f_i = O_i$		$x_i * f_i$	p_i	E_i		$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2$	$(O_i - E_i)^2/E_i$
$40 \leq x < 50$	3	8	135	7,82%	1,878	5,695	2,305	5,313	0,933
$50 \leq x < 60$	5		275	15,90%	3,817				
$60 \leq x < 70$	2		130	22,69%	5,446		-3,446	11,873	2,180
$70 \leq x < 80$	6		450	22,72%	5,454		0,546	0,298	0,055
$80 \leq x < 90$	5	8	425	15,97%	3,834	6,381	1,619	2,622	0,411
$90 \leq x < 100$	2		190	7,88%	1,892				
$100 \leq x < 110$	1		105	2,73%	0,655				
	24				22,975				3,579

Tabela E-4 : Teste de aderência pelo qui-quadrado para a referência 77334557 (autor, 2005)

Para determinação do χ^2 crítico (quatro parcelas e dois parâmetros foram estimados a partir da amostra), o número de graus de liberdade deverá ser:

$$v = k - 1 - m = 4 - 1 - 2 = 1$$

Adotando $\alpha = 5\%$, obtém-se:

$$\chi^2_{\text{crítico}} = \chi^2_{1; 5\%} = 3,841$$

Logo, como $3,579 < 3,841$, aceita-se a hipótese de que a distribuição de consumo desta referência segue uma distribuição normal.

Anexo F: exemplos de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (1/2)

o Caso 1 para as prateleiras:

A referência em questão possui prazo de entrega de 15 dias, consumo mensal de três peças, preço de 0,67 euros, unidade de troca de duas unidades e é acondicionada em caixas de 10. Com base nestas características, os parâmetros de gestão de estoque para esta peça são calculados da seguinte forma:

Dados de entrada

Centro	Referência	Tipo abast.	Cód. Origem	IR2	FRE	Segmentação	Consumo	Preço	Unidade de troca	Condição
42161	74193321				C	PRATELEIRAS	3	0.67	2	10

Ferramenta de cálculos

Caso 1.	Ponto de pedido	PRATELEIRAS	Quantidade de abastecimento:
	Max* (1 unidade de troca ; 1 semana de cobertura + consumo durante reabastecimento ; ½ acondicionamento)		Max (1 acondicionamento ; 2 meses de cobertura*) *arredondado ao acondicionamento
	1 unidade de troca = 2 1 semana de cobertura + consumo durante reabastecimento = $3 * (1/4) + 3 * (3/4) = 3$ ½ acondicionamento = 5 Max (2 ; 3 ; 5) = 5		1 acondicionamento = 10 1 meses de cobertura = $3 * 2 = 6$ Max (10 ; 6) = 10

Resultados

Referência	FRE	Segmentação	Ponto de pedido	Qde abastecimento
74193321	C	PRATELEIRAS	6	10

Figura F-1: Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005)

Segundo os cálculos apresentados, esta prateleira deve ser reabastecida com uma quantidade de 10 unidades quando dispuser de 5 peças em estoque.

Anexo F: exemplos de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (2/2)

o Caso 2 para as prateleiras:

A referência em questão possui consumo mensal de sete peças, preço de 0,064 euros, unidade de troca de quatro unidades e é acondicionada em caixas de dez. Ela é entregue por um fornecedor externo em cerca de 10 dias. Com base nestas características, os parâmetros de gestão de estoque para esta peça são calculados da seguinte forma:

Dados de entrada

Centro	Referência	Tipo abast.	Cód. Origem	IR2	FRE	Segmentação	Consumo	Preço	Unidade de troca	Condicionamento
42161	74234566	CC			C	PRATELEIRAS	7	0,074	4	10

Ferramenta de cálculos

Caso 2	Ponto de pedido*	PRATELEIRAS	Quantidade de abastecimento:
	* Múltiplo da unidade de troca		
	Max* (1 unidade de troca ; 2 semana de cobertura + consumo durante reabastecimento ; ½ acondicionamento)		Max (1 acondicionamento ; Mín* (Wilson ; 3 meses de cobertura) *arredondado ao acondicionamento
	1 unidade de troca = 4 1 semana de cobertura + consumo durante reabastecimento = $7 * (2/4) + 7 * (2/4) = 7$ ½ acondicionamento = 5 Max (4 ; 7 ; 5) = 7		1 acondicionamento = 10 Wilson = $\sqrt{\frac{2 * \text{consumo}_{\text{anual}} * \text{custo}_{\text{emissão}}}{\text{Preço} * \text{custo}_{\text{posseção}}}}$ = 465 3 meses de cobertura = $3 * 7 = 21$ Max (10 ; Mín (465 ; 21)) = 21

Resultados

Referência	FRE	Segmentação	Ponto de pedido	Qde abastecimento
74234566	C	PRATELEIRAS	8	30

Múltiplo da unidade de troca

Arredondado ao acondicionamento

Figura F-2: Exemplo de cálculos de parâmetros de gestão de estoques (autor, 2005)

Segundo os cálculos apresentados, esta prateleira deve ser reabastecida com uma quantidade de 30 unidades quando dispuser de 8 peças em estoque. O ponto de pedido foi arredondado a um múltiplo da unidade de troca e a quantidade de abastecimento ao acondicionamento.

Anexo G: ferramenta em MS Access para o dimensionamento de estoques

Uma vez definidas as regras de dimensionamento, uma ferramenta em MS Access foi desenvolvida com o intuito de automatizar os cálculos dos parâmetros de gestão de estoques. A interface desta ferramenta é mostrada abaixo:

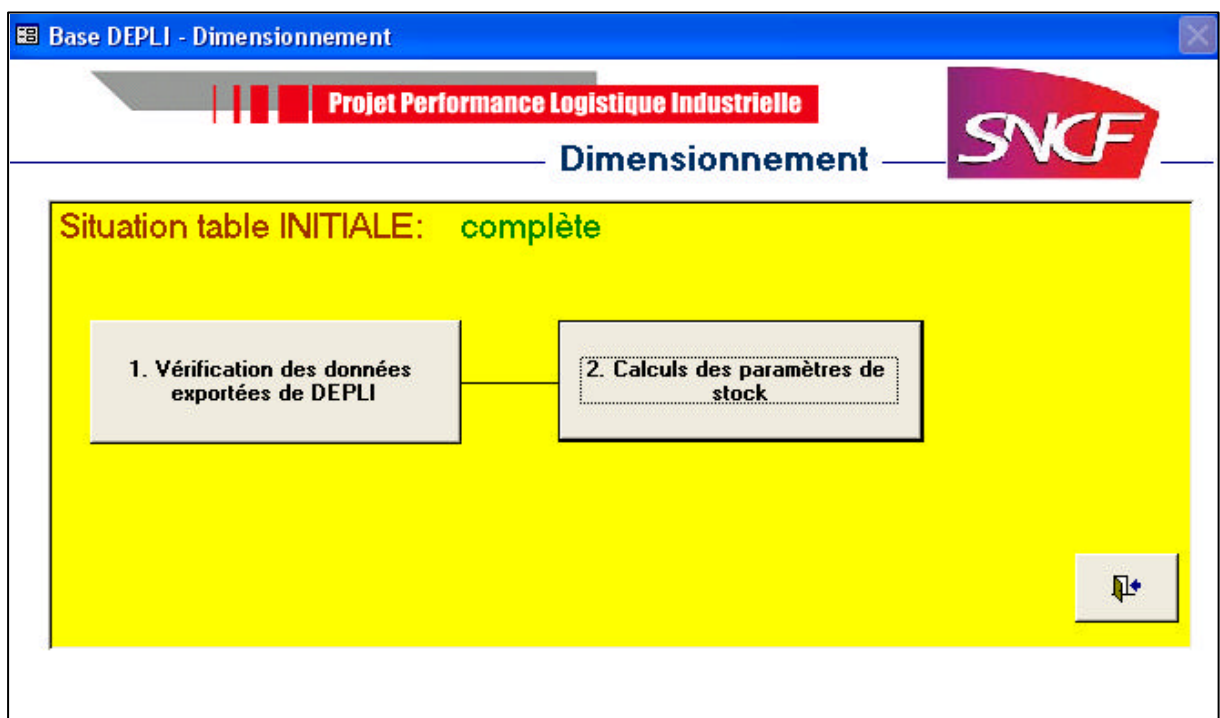


Figura G-1: Interface da ferramenta de dimensionamento em MS Access (autor, 2005)

Após a recuperação dos dados de um centro de manutenção, deve-se realizar a verificação de coerência destes dados (botão 1: *Vérification des données exportées de DEPLI*). Em seguida, uma vez corrigidas as anomalias, o segundo botão (*Calculs des paramètres de stock*) dá início aos cálculos dos parâmetros de gestão de estoques. Feito isso, os novos parâmetros de gestão de estoques são recuperados e atualizados no sistema de informação da SNCF.

GLOSSÁRIO

CDM	: Centro de manutenção
CLI	: <i>Centre Logistique Industrielle</i> . Organização que será responsável pelo funcionamento da plataforma nacional de distribuição.
EIMM	: Principais estabelecimentos da Diretoria do Material que são responsáveis pelo gerenciamento de recursos no âmbito nacional.
FRE	: Identificador de uma equipe em um centro de manutenção.
IR2	: Identificador de referências que são entregues por fornecedores externos aos centros de manutenção.
LAD	: Centro piloto de manutenção piloto <i>Les Ardoinnes</i>
LEC	: Lote Econômico de Compra
PLI	: <i>Performance Logistique Industrielle</i> . Nome do projeto.
SERNAM	: Operador europeu de transporte e logística
SNCF	: <i>Société Nationale des Chemins de Fer Français</i>
SPDC	: Centro piloto de manutenção <i>Saint Pierre des Corps</i>
UT	: Unidade de trabalho (equipes de manutenção).