

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
DEP – Departamento de Engenharia de Produção

Trabalho de Formatura

**Modelo Pró-ativo de Previsão e Entrega de
Suprimentos**

Davi Claudio

Orientador: Reinaldo Pacheco da Costa

2001

42001
C571m

“Não clama porventura a sabedoria, e a inteligência não faz ouvir a sua voz?
No cume das alturas, junto ao caminho, na encruzilhadas das veredas se posta.
Do lado das portas da cidade, à entrada da cidade, e à entrada das portas está gritando:
A vós, ó homens, clamo; e a minha voz se dirige aos filhos dos homens.”

Provérbios de Salomão 8:1-4.

À minha querida Tati.

Agradecimentos

Ao meu querido orientador e amigo Prof. Dr. Reinaldo Pacheco da Costa por seus estimados conselhos e seu apoio.

À Fundação Carlos Alberto Vanzolini pela oportunidade de trabalho da qual este trabalho é fruto.

A Luiz Carlos Martinez Júnior pela confiança depositada na minha capacidade de trabalho.

Às todas as pessoas envolvidas direta ou indiretamente no projeto do sistema de gestão de suprimentos pela batalha para construção de um sistema inovador.

Aos professores do departamento de Engenharia de Produção por toda a cobrança e orientação concedidos nestes anos.

Aos meus colegas de graduação por inestimáveis bons momentos que passamos juntos. Que os anos fortaleçam nossa amizade.

Índice analítico

1	Apresentação	8
2	Introdução	9
2.1	O estágio	10
3	O problema	11
3.1	A Empresa	11
3.2	Escopo do trabalho	12
3.3	Processo atual de entregas	15
4	Revisão teórica	17
4.1	Sistemas e empresas	17
4.2	Modelos	18
4.3	Logística	19
4.4	Classificação dos sistemas produtivos	20
4.5	Gestão de demanda	21
4.6	Previsão de demanda	24
4.7	Modelo de Winter	29
4.8	Erros de previsão	32
4.9	Gestão de estoques	35
4.10	Lote econômico	42
5	O Modelo	47
5.1	Visão geral	48
5.2	Dados para estimar a demanda	50
5.3	Previsão de demanda	51
5.4	Estimativa das quantidades consumidas e previstas	72
5.5	Lote econômico	76
5.6	Determinação da quantidade a ser entregue	87
5.7	Ponto de pedido	88
5.8	Controle dos estoques dos estabelecimentos	90
5.9	Planejamento de entregas	94
6	Conclusão	95
7	Bibliografia	97

Índice de figuras

<i>Figura 1 - Fluxo de operações da EMPRESA. Fonte: o autor</i>	11
<i>Figura 2 - Lógica do antigo sistema. Fonte: EMPRESA.</i>	13
<i>Figura 3 - Modelo Fase 1. Fonte: FCAV</i>	14
<i>Figura 4 - Gestão de demanda. Fonte: CORREA (2001).</i>	24
<i>Figura 5 - Estoques. Fonte: CORREA (2001).</i>	38
<i>Figura 6 - Ponto de pedido. Fonte: o autor.</i>	40
<i>Figura 7 - Quadro fator de serviço. Fonte: CORREA (2001)</i>	42
<i>Figura 8 - Lote econômico. Fonte: SLACK (1996)</i>	43
<i>Figura 9 - dedução da fórmula do lote econômico. Fonte: SLACK (1996)</i>	44
<i>Figura 10 - Lote econômico, custo estoque revisado. Fonte: SLACK (1996)</i>	45
<i>Figura 11 - Entrada e saída. Fonte: o autor</i>	47
<i>Figura 12 - Diagrama do modelo. Fonte: o autor.</i>	50
<i>Figura 13 - Gráfico de padrão diário de transações. Fonte: EMPRESA.</i>	52
<i>Figura 14 - Gráfico do padrão mensal de transações por estado. Fonte: EMPRESA.</i>	53
<i>Figura 15 - Gráfico de padrão de mensal por ramo de atividade. Fonte: EMPRESA.</i>	53
<i>Figura 16 - Previsão. Fonte: o autor.</i>	55
<i>Figura 17 - o PV Padrão. Fonte: o autor.</i>	56
<i>Figura 18 - Gráfico da previsão do PV padrão. Fonte: o autor.</i>	63
<i>Figura 19 - Gráfico da previsão para os estabelecimentos. Fonte: o autor.</i>	72
<i>Figura 20 - Cálculo dos estoques estimados. Fonte: o autor.</i>	73
<i>Figura 21 - Cálculo das quantidade previstas de material. Fonte: o autor.</i>	73
<i>Figura 22 - Cálculo do lote econômico. Fonte: o autor.</i>	76
<i>Figura 23 - Lote econômico sem perda. Fonte: o autor.</i>	77
<i>Figura 24 - Lote econômico com perdas. Fonte: o autor.</i>	78
<i>Figura 25 - Cálculo dos pontos de pedido. Fonte: o autor.</i>	88
<i>Figura 26 - Controle do estoque dos estabelecimentos. Fonte: o autor.</i>	91

Índice de equações

Equação 1 - media móvel. Fonte: CORREA (2001)	27
Equação 2 - media móvel ponderada. Fonte: o autor.	28
Equação 3 - restrições para média móvel ponderada. Fonte: o autor.	28
Equação 4 - Suavizamento exponencial. Fonte: CORREA (2001).	29
Equação 5 - Desenvolvimento do suavizamento exponencial. Fonte: CORREA (2001).	29
Equação 6 - Modelo de Winter. Fonte: HAX (1984)	31
Equação 7 - Erro. Fonte: HAX (1984).	32
Equação 8 - Erro médio	33
Equação 9 - Erro absoluto médio	34
Equação 10 - Erro absoluto médio percentual	34
Equação 11 - Tracking signal	35
Equação 12 - Ponto de pedido. Fonte: CORREA (2001)	41
Equação 13 - Estoque de segurança. Fonte: HAX (1984).	41
Equação 14 - Custo total, lote econômico . Fonte: CORREA (2001).	44
Equação 15 - Transações do PV padrão. Fonte: o autor.	57
Equação 16 - Média de transações do PV padrão. Fonte: o autor.	58
Equação 17 - Índices de sazonalidade do PV padrão. Fonte: o autor.	58
Equação 18 - Transações do PV padrão. Fonte: o autor.	61
Equação 19 - Cálculo das previsões para o PV padrão. Fonte: o autor.	61
Equação 20 - Erro médio PV padrão. Fonte: o autor.	63
Equação 21 - Erro absoluto médio PV padrão. Fonte: o autor.	64
Equação 22 - Erro absoluto médio percentual do PV padrão. Fonte: o autor.	64
Equação 23 - Base para novos PVs. Fonte: o autor.	65
Equação 24 - Tendência para novos PVs. Fonte: o autor.	65
Equação 25 - Sazonalidade novos PVs. Fonte: o autor.	65
Equação 26 - Base inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.	66
Equação 27 - tendência inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.	66
Equação 28 - Sazonalidade inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.	67
Equação 29 - Média dos primeiros 12 meses de transações. Fonte: o autor.	67
Equação 30 - Índice de sazonalidade dos para PVs com pelo menos 12 meses de dados. Fonte: o autor.	68
Equação 31 - Base inicial do PV com pelo menos 12 meses de dados. Fonte: o autor.	68
Equação 32 - Tendência do PV com pelo meno 12 meses. Fonte: o autor.	68
Equação 33 - Equações para cálculo dos parâmetros de previsão até o mês atual. Fonte: o autor.	69
Equação 34 - Previsão para os próximos meses. Fonte: o autor.	70
Equação 35 - Erro médio para previsão dos PVs. Fonte: o autor.	71
Equação 36 - Erro absoluto médio das previsões dos PVs. Fonte.: o autor.	71
Equação 37 - Erro absoluto médio percentual da previsão do PV. Fonte: o autor.	71
Equação 38 - Coeficiente técnico de transações por unidade de material. Fonte: o autor.	74
Equação 39 - Quantidade de material calculada a partir da previsão e das transações realizadas. Fonte: o autor.	74
Equação 40 - Perda de material. Fonte: o autor.	75
Equação 41 - Cálculo material gasto. Fonte: o autor.	75
Equação 42 - Cálculo da perda média. Fonte: o autor.	81
Equação 43 - Modelo de perda adotado. Fonte: o autor.	83
Equação 44 - Custo de perda. Fonte: o autor.	83
Equação 45 - Desvio dos erros de previsão. Fonte: o autor.	88
Equação 46 - Estoque de segurança. Fonte: o autor.	89
Equação 47 - Quantidade prevista de material utilizado. Fonte: o autor.	89
Equação 48 - Material gasto. Fonte: o autor.	90
Equação 49 - Estoque mínimo. Fonte: o autor.	90
Equação 50 - Ponto de pedido. Fonte: o autor.	90
Equação 51 - Cálculo do material utilizado. Fonte: o autor.	91
Equação 52 - Cálculo do material gasto. Fonte: o autor.	92
Equação 53 - Estoque final do dia anterior. Fonte: o autor.	92
Equação 54 - Estoque inicial do dia. Fonte: o autor.	92
Equação 55 - Material utilizado no mês. Fonte: o autor.	93
Equação 56 - Material gasto no mês. Fonte: o autor.	93
Equação 57 - Cálculo do estoque final mensal. Fonte: o autor.	94
Equação 58 - Estoque inicial do próximo mês. Fonte: o autor.	94

Resumo

Este trabalho propõe um modelo de envio pró-ativo de suprimentos em uma empresa do setor financeiro, como parte do projeto de um sistema de suprimentos.

A empresa atua como interface entre empresas de crédito e estabelecimentos comerciais.

Os objetivos básicos projeto são: garantir que os estabelecimentos tenham o material necessário para efetuar as transações; minimizar o custo total de suprimentos; planejar as entregas e controlar os estoques de todos os agentes que participam do processo de suprimentos.

Para alcançar este objetivo são utilizadas técnicas de gestão de demanda, como é o caso da previsão através de séries temporais, e de gestão de estoques, como revisão periódica, ponto de pedido e lote econômico.

1 Apresentação

A engenharia de produção é interface entre vários campos de outras ciências. Utilizando ferramentas da economia, matemática, sociologia entre outras ciências, a engenharia de produção estuda os sistemas produtivos e suas interações para produção de bens e serviços.

Como podemos ver a amplitude e a complexidade da área faz necessário que o profissional que atua na área tenha uma visão sistêmica das diversas partes envolvidas. Só assim este profissional poderá analisar sob os diversos ângulos necessários ao desempenho de suas funções.

Este trabalho visa pesquisar, modelar e aplicar as metodologias da engenharia de produção na empresa estudada.

Vamos identificar a empresa estudada apenas por EMPRESA para não expor os dados e os resultados apresentados. O sigilo das informações operacionais é importante para a EMPRESA e, portanto, será conservado no decorrer do trabalho. Veremos que tanto os dados como as políticas específicas de operação são apresentadas sem detalhes, porém sem perda de conteúdo para o trabalho proposto.

Neste trabalho se encontrará várias expressões para identificar os clientes da EMPRESA como estabelecimento e PV (Ponto de Venda).

2 Introdução

Segundo BUFFA (1983), a empresa é um complexo sistema onde há interação de diversos agentes para cumprir seu objetivo de existência. Por mais diferentes que sejam suas características internas e seus objetivos, empresas sempre se deparam com tomadas de decisões. Esta decisões apenas surgem quando há **diversas alternativas** das quais deve-se escolher a melhor **segundo critérios selecionados**.

O foco deste trabalho está voltado à construção de um modelo de planejamento de entregas de material para:

- Gerar programação automática de entrega de materiais;
- Ser instrumento de apoio à decisão no gerenciamento de distribuição e de estoques na EMPRESA.

Como destacado acima, o modelo deve avaliar diversas alternativas de quando e quanto entregar analisando, segundo os critérios selecionados, reduzindo o custo total do abastecimento ao longo do tempo.

Para tanto iniciamos o trabalho com alguns conceitos básicos de planejamento e de modelos explicitando informações da literatura nas quais foram baseadas o modelo. A seguir explicamos o modelo, a definição das interfaces, o compõem, suas interações e funções.

2.1 O estágio

Nos últimos três anos tive a oportunidade de realizar trabalhos de consultoria junto ao SEBRAE (Serviços de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do estado de São Paulo) juntamente com professores do departamento de Engenharia de Produção da POLI através da consultoria PPE. As empresas atendidas são de diversos ramos de atividade, estando, em sua maioria, localizadas na Grande São Paulo.

Os trabalhos desenvolvidos envolveram as áreas de custeio, formação de preços, análises de rentabilidade, análise de processos, análises de investimentos, reestruturação de layout, estudos de métodos, implantação de JIT, reestruturação do PPCP, revisão dos sistemas de informação da empresa, revisão de políticas de compras e de administração de estoques.

Através destes trabalhos verificamos que nenhuma das empresas visitadas utiliza modelos matemáticos para auxílio às decisões. Pudemos constatar que muitas destas empresas são de administração familiar e que a não adequada formação acadêmica destes se torna, muitas vezes, um entrave à implementação de métodos mais elaborados de administração de produção. Também observamos que mesmo em grandes empresas estes métodos são de difícil implementação devido à dificuldade de mudança dos paradigmas consolidados.

Dentro deste estágio tive muitas oportunidades. Construir sistemas, fazer propostas, apresentar e implantar as soluções projetadas pela equipe. Porém, construir modelos matemáticos e torná-los de fácil utilização é o maior desafio enfrentado. Atravessar as barreiras da incredulidade e conseguir o apoio da alta administração são solução para unir os times de trabalho e tornar estes modelos fortes vantagens competitivas dentro das organizações.

3 O problema

Aqui abordaremos as partes que compõe o problema a ser solucionado, mostrando seu histórico e suas características fundamentais.

3.1 A Empresa

A EMPRESA atua no setor financeiro sendo interface entre estabelecimentos comerciais e empresas de crédito. O fluxo de informação se inicia no estabelecimento que faz uma transação comercial. Esta transação é capturada pela EMPRESA por meios eletrônicos ou através de formulário padronizado entregue nas redes bancárias. A transação capturada é passada para empresa de crédito responsável. Esta aprova o crédito e transfere fundos para a EMPRESA afim de pagar a transação comercial para o estabelecimento. No fim do ciclo esta paga o estabelecimento, processa erros e possíveis fraudes.

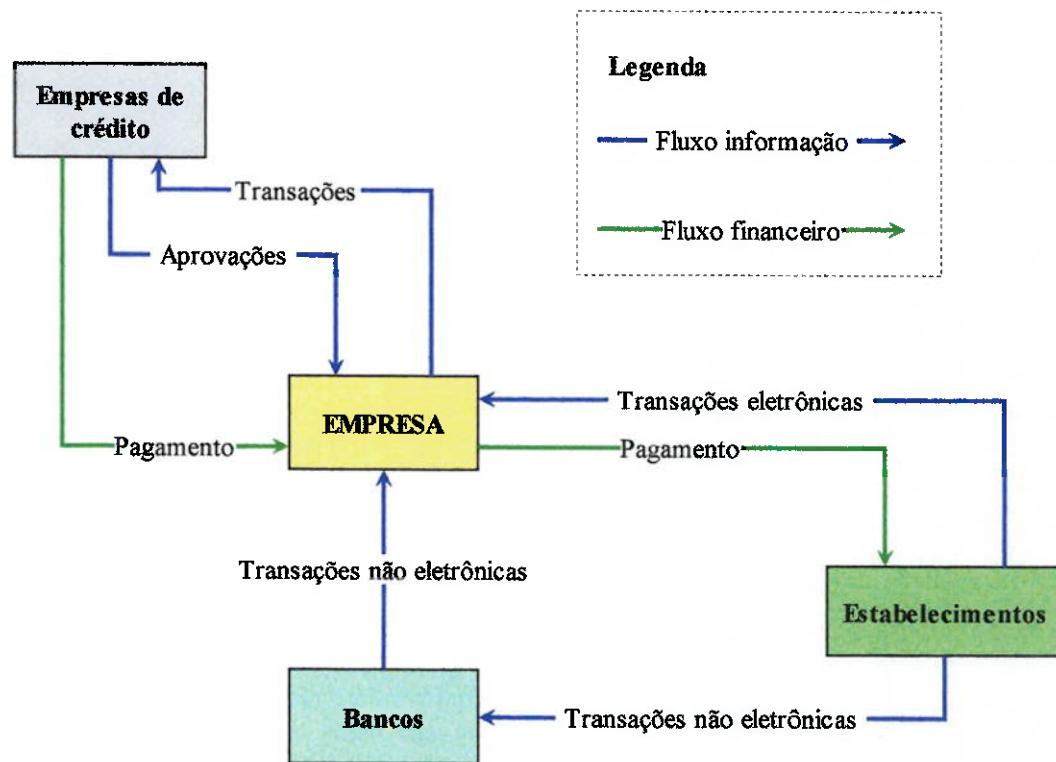


Figura 1 - Fluxo de operações da EMPRESA. Fonte: o autor

A empresa tomou a decisão estratégica de fornecer todos os materiais necessários para os clientes que utilizam seus serviços. Para que esta operação seja feita, esta empresa possui um departamento de suprimentos que coordena prestadoras de serviço de entregas de materiais.

Em uma pesquisa realizada junto aos clientes, foi constatado que um dos mais importantes fatores de qualidade dos serviços prestados pela empresa é a entrega destes materiais. Também ficou claro na pesquisa que este era um ponto fraco da empresa e, portanto, deve ser melhorado.

3.2 *Escopo do trabalho*

Através da Fundação Carlos Alberto Vanzolini fizemos uma proposta de trabalho inicial que consistia basicamente em revisar o projeto de um novo sistema de suprimentos. Este se propunha a calcular quando cada cliente necessitaria de material através de uma regressão linear da curva de estoque estimado. De posse desta data e dos tempos de entrega, o sistema emitiria uma solicitação de entrega de material automaticamente. Todos os parâmetros apresentados seriam colocados manualmente no sistema pelos analistas do departamento.

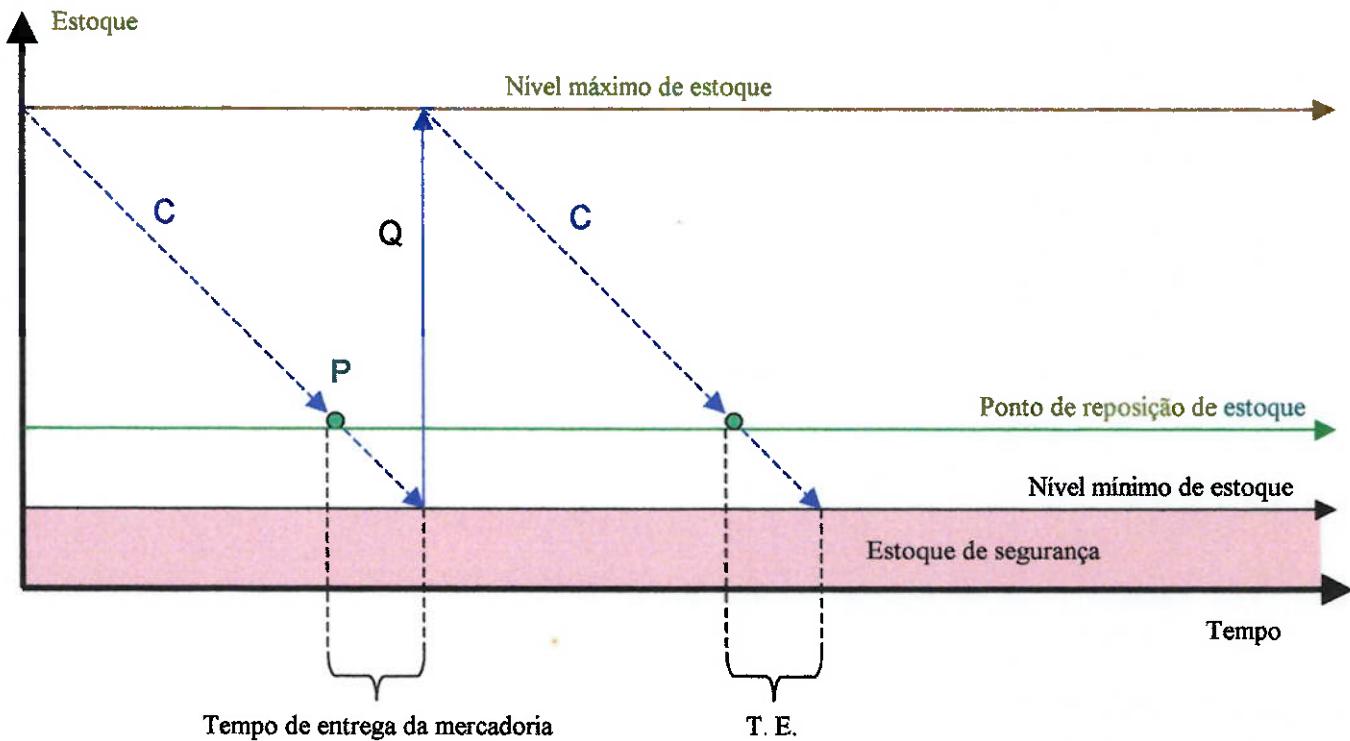


Figura 2 - Lógica do antigo sistema. Fonte: EMPRESA.

Este projeto não levava em consideração diversos pontos que deveriam ser observados. Podemos destacar:

- Não trata a sazonalidade de cada cliente;
- Não trata a aleatoriedade de cada cliente;
- Não coloca os custos envolvidos no processo como parâmetros relevantes;
- A informação mais recente tem a mesma importância da mais antiga;
- Não leva em conta os tempos de programação envolvidos no processo;
- Possui fraco conteúdo de informação para ajudar os administradores a planejar melhor os fluxos de materiais.

Portanto, o resultado desta primeira fase do trabalho foi propor um novo projeto para este sistema. Um projeto envolvendo todos os agentes do processo e melhorando todo o fluxo de informação e de materiais. Dentro deste trabalho

fiquei incumbido de projetar o modelo de entregas automáticas de materiais para os clientes. A seguir vemos o diagrama geral do novo sistema.

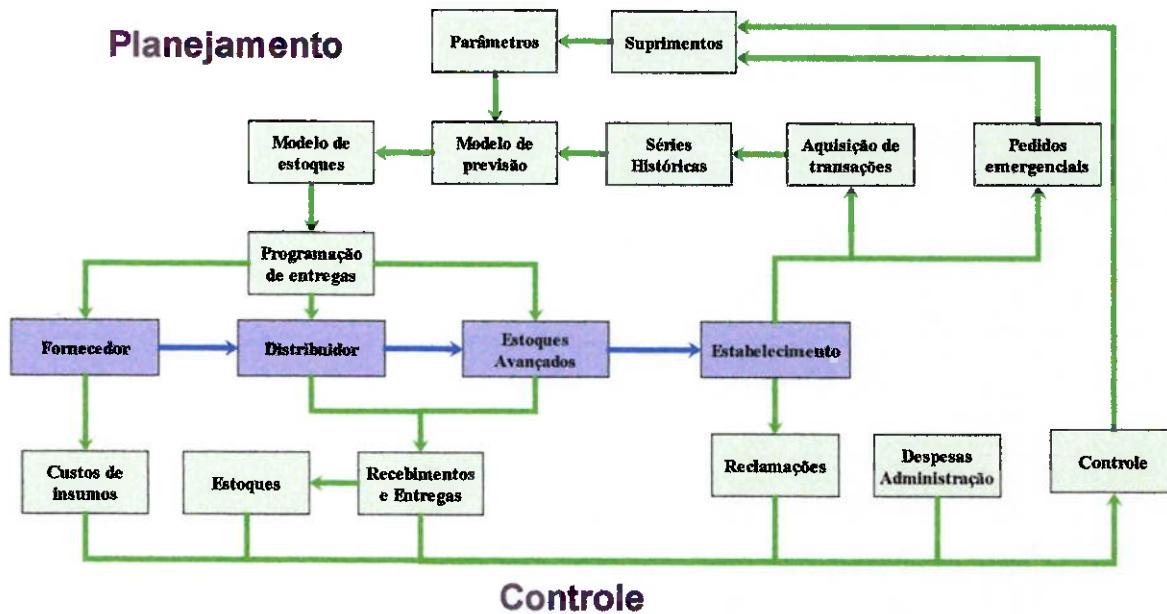


Figura 3 - Modelo Fase 1. Fonte: FCAV

O projeto do sistema, desde sua fase sem a consultoria, iniciou-se em janeiro de 2001. O sistema tinha implementação prevista para agosto de 2001. Participaram diretamente do projeto funcionários da EMPRESA dos Departamentos de Suprimentos, Processos e Sistemas. Além deles, funcionários de outras áreas que também utilizarão o sistema, como: Atendimento, Marketing e Comercial. A definição das necessidades, a especificação e o treinamento foram responsabilidades da Fundação Vanzolini. A construção do sistema ficou a cargo da empresa e-W.

No início desta segunda fase, consolidamos os objetivos do projeto que guiaram a criação do modelo apresentado neste trabalho.

Objetivos do projeto:

- Garantir que os estabelecimentos tenham o material necessário para efetuar as transações;
- Minimizar o custo total de suprimentos;
- Planejar as entregas e controlar os estoques de todos os agentes que participam do processo de suprimentos.

3.3 Processo atual de entregas

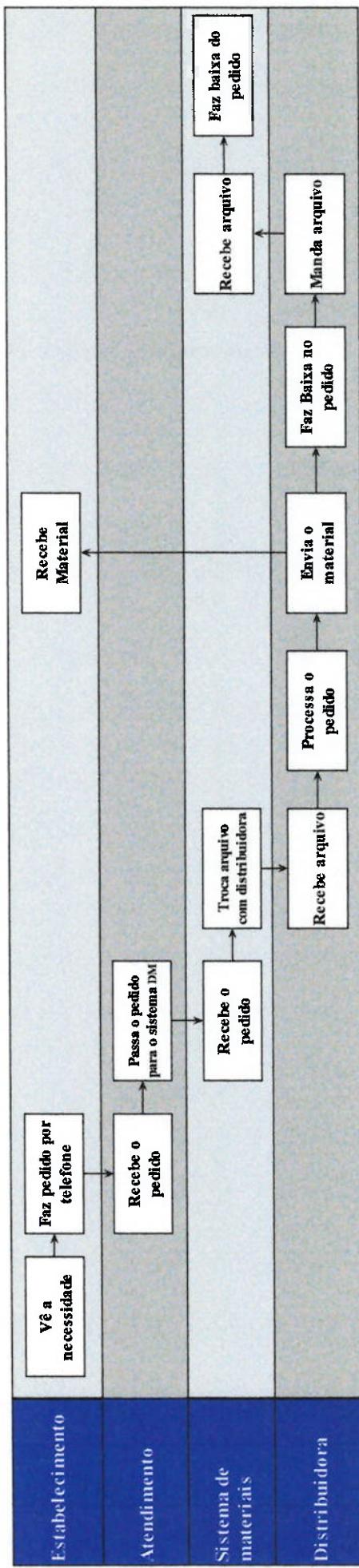
O processo atual de abastecimento dos estabelecimentos se inicia com os estabelecimentos fazendo solicitações de materiais de venda e materiais promocionais para a área de Atendimento ou pela Internet. A maior parte destes pedidos é feita através do Atendimento. Estes pedidos são registrados no sistema de materiais. O sistema coloca o número da solicitação e separa pelo CEP do estabelecimento qual distribuidora irá atendê-lo.

Todos os dias, às 17:30, formam-se arquivos com os pedidos das últimas 24 horas. Esses arquivos possuem o número seqüencial, o número do ponto de venda, o material, quantidade pedida e a ficha cadastral do estabelecimento. Em seguida, esses arquivos são enviados para o Microcentro, que repassa para as distribuidoras através de um sistema chamado Carbon Copy.

O processo de baixa inicia com as distribuidoras enviando o arquivo retorno para o Microcentro. Trata-se de um arquivo em texto contendo a solicitação e a data da entrega. O Microcentro junta os arquivos manualmente e registra as entregas no sistema de materiais. Além disso, ele envia o arquivo retorno para Suprimentos, que dá a baixa em um segundo sistema onde são controlados os estoques das distribuidoras.

As quantidades de materiais de venda a serem enviados para os estabelecimentos são calculadas pelo sistema, multiplicando-se por três as média das quantidades de transações realizadas por cada estabelecimento.

Processo de atendimento de pedido de material



4 Revisão teórica

A criatividade é uma das maiores ferramentas dos engenheiros, porém muitas soluções já foram criadas para problemas semelhantes. Os conhecimentos formados ao longo de anos estão disponíveis na literatura para criar novos horizontes de pensamento para os novos engenheiros. Por isto, vamos fazer agora uma revisão desta literatura em busca de subsídios para a construção do modelo.

4.1 Sistemas e empresas

É comum se falar em visão sistêmica, mas antes temos que definir o que é um sistema. VOLLMAN (1973) apresenta a definição de sistema como sendo “uma coleção de entidades e das relações entre os atributos destas entidades”. O autor destaca que as entidades mencionadas na definição não devem ser vistas apenas como objetos físicos, mas também como objetos conceituais que compõem os sistemas.

Duas características básicas de sistemas devem ser ressaltadas. A primeira é sua complexidade. Um sistema é mais complexo quanto maior for o número de interligações entre suas entidades. A segunda é seu tamanho. Um sistema é maior quanto maior for o número de entidades que o compõem.

Como mencionado na introdução, as empresas são sistemas complexos compostos por homens, máquinas, construções e informações organizados para cumprir um objetivo comum. A maior parte das empresas produz bens e serviços que são utilizados pela sociedade a qual esta empresa atende. Estas são sistemas produtivos.

Portanto, sistema produtivo é qualquer sistema que tenha como objetivo a produção de bens e serviços úteis para a sociedade. Devemos observar aqui que útil é pode ser considerado bastante relativo e subjetivo. Porém, podemos ver como útil algo que é valorizado pelo seu consumidor em termos econômicos.

Uma empresa pode possuir diversos sistemas produtivos diferentes, com ou sem interligações entre estes. Os tipos de sistemas e suas interligações determinam as características dos modelos utilizados para representá-lo, como veremos posteriormente.

4.2 Modelos

De modo geral podemos conceituar modelo como sendo a representação ou analogia de uma parte da realidade. Assim sendo, os modelos são parte fundamental de toda atividade tecnológica ou científica como pode-se observar na definição apresentada em PACHECO apud KOUTSOYANIS (1978):

"(...) é uma representação simplificada da realidade. Ele inclui as características principais da situação real que representa. (...) Um modelo pode ser construído em diferentes níveis de agregação, detalhe ou de sofisticação dependendo de seus objetivos. Existem dois principais objetivos para os quais um modelo é construído – análise e predição. (...) A validade de um modelo pode ser julgada por diversos critérios. Seu poder de predição, consistência e realismo de suas premissas, a profundidade das informações que provê, sua generalidade, isto é, o número de casos aos quais se aplica e sua simplicidade".

Os modelos podem ser de diversas naturezas. Podem ser físicos, para testes mecânicos por exemplo; podem ser conceituais, como no caso de um modelo sócio-econômico; ou podem ser matemáticos, como o que será apresentado neste trabalho.

Os modelos de interesse neste trabalho são compostos por equações matemáticas que representam numericamente a parte relevante da realidade de um sistema produtivo para o estudo em questão. Estes modelos têm entradas e geram saídas. A cada entrada dada, o modelo gera uma diferente saída que deve ser validada tendo-se em vista o proposto por VOLLMAN (1973):

“Validação e uso de modelos não são usualmente questões com resposta sim ou não. Geralmente as fronteiras aceitáveis das operações podem ser determinadas para um certo grau de acurácia na reprodução de alguma porção observada do mundo real”.

4.3 Logística

A globalização da economia e a evolução tecnologia colocaram a logística em um novo patamar. A sua importância vem aumentado fortemente para economia brasileira e mundial. Cada dia mais, o valor agregado pelos serviços logísticos e sua administração efetiva têm sido percebidos nos mais diferentes setores da economia. Isto pode ser percebido pelas grandes mudanças estruturais que estão acontecendo em todo o sistema logístico brasileiro, nos investimentos realizados pelas empresas para melhorarem seu sistema logístico e pelo grande aumento de ofertas de trabalhos no setor.

Podemos observar a importância da logística por um dos princípios da economia que MANKIW (1998) destaca: “Troca é melhor para todos”. Este princípio vêm da observação de que a especialização traz grandes benefícios a todos. Como consequência deste princípio temos que armazenar e transportar materiais que são produzidos em certo local para locais de troca ou diretamente ao local de consumo, como tem acontecido com a expansão das compras feitas através da internet.

As atividades logísticas existem há muito tempo. No período do Mercantilismo, as trocas de bens e serviços experimentaram um grande aumento culminando na expansão das economias européias a novos continentes. Neste período o aumento da utilização de armazenagem e transporte, componentes básicos de qualquer sistema logístico, foi fundamental para o crescimento das economias.

Muitos autores comentam que o conceito de logística é de difícil definição, porém vamos utilizar a definição de logística empresarial apresentada por BALLOU (1993):

“A logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.”

O autor comenta que o termo “produto” utilizado nesta definição deve ser visto em um sentido *lato*, incluindo tanto bens como serviços. Este conceito vêm se consolidando já que cada vez se agrega valor ao produto através de serviços que acompanham este.

4.4 Classificação dos sistemas produtivos

SANTORO (1995) propõem uma forma bastante elucidativa de classificação dos sistemas de produção. Esta forma de classificação ajuda a localizar qual abordagem deve ser utilizada nos modelos a serem construídos.

4.4.1 Estoque puro

O estoque puro se caracteriza pela inexistência de um processo de transformação física. Estão englobados aqui todos os sistemas comerciais e de transportes.

4.4.2 Contínuo

Os sistemas de produção contínuos podem ser separados em puros e com diferenciação. Um sistema contínuo puro consiste na produção com roteiro fixo de poucos produtos. O sistema contínuo com diferenciação consiste em diferentes alternativas de roteiros com uma gama maior de produtos ou variações do mesmo produto.

Neste tipo de sistema de produção são usualmente classificados processos químicos, petroquímicos, purificação de água, tratamentos afluentes, entre outros.

4.4.3 *Intermitente*

A produção intermitente é o mais comum tipo de sistema produtivo. Ele é caracterizado por produção em bateladas de vários produtos que passam em diferentes centros de processamento. A produção intermitente pode ser repetitiva ou sob encomenda.

Quando vários produtos são produzidos antes de serem realmente pedidos dizemos que é intermitente repetitiva. Vários são os exemplos, entre eles destacam-se produtos de consumo como: produtos de limpeza, alimentos, bebidas, utensílios domésticos.

Se os produtos são produzidos apenas depois de pedidos, dizemos que se trata de um sistema produtivo intermitente sob encomenda. Máquinas, moldes e brindes são bons exemplos de produtos feitos através deste sistema.

4.4.4 *Grandes Projetos*

Grandes projetos são produtos normalmente únicos feitos no próprio local ou em local especializado. Edifícios, navios, espaço naves e fábricas são exemplos deste tipo de sistema produtivo.

4.5 *Gestão de demanda*

Vários autores colocam os métodos de previsão de demanda dentro do que é chamado gestão da demanda. Vamos abordar os componentes básicos do que ela é logo após nos aprofundaremos nos métodos de interesse na previsão de demanda.

Segundo SLACK (1996), “A gestão da demanda engloba um conjunto de processos que fazem a interface da empresa com seu mercado consumidor”. Os principais processos desta função, segundo CORREA (2001), são:

- Previsão de vendas;
- Cadastramento de pedidos;

- Definição e avaliação do nível de serviço ao cliente;
- Planejamento de necessidades entre unidades produtivas e centros de distribuição;
- Distribuição física de produtos aos clientes e/ou centros de distribuição.

O mesmo autor destaca os elementos da gestão da demanda descritos a seguir.

Habilidade para prever a demanda – É importante que a empresa saiba utilizar todas as ferramentas disponíveis para conseguir antecipar a demanda futura com alguma precisão. Estas ferramentas englobam painéis de especialistas, informações do mercado, históricos passados, modelos matemáticos que expliquem o comportamento da demanda, entre outros.

Canal de comunicação com o mercado – Toda empresa tem interfaces nos mercados onde atua. Estas interfaces são utilizadas para fazer vendas e para entregar os produto e os serviços da empresa. Porém, estas interações com o mercado proporcionam uma fonte de dados estratégicos que deve fluir de forma contínua e permanente. Na realidade isto não acontece na prática, já que poucas são as empresas que colocam isto como atribuições ou vinculam o desempenho nesta atividade a seus sistemas de remuneração e reconhecimento.

Poder de influência sobre a demanda – Esta influência pode ser sobre a demanda já manifesta, negociando condições e agregando mais serviços e produtos a clientes que já estão sendo atendidos ou sobre a demanda que ainda vai acontecer, incentivando representantes e vendedores a oferecerem produtos com maior rentabilidade ou que ocupam melhor a capacidade. Estas ações mudam as demandas sobre os processos internos e, portanto, devem ser informadas a toda a organização para que o planejamento de cada área esteja correspondente as ações globais da empresa.

Habilidade de prometer prazos – Prometer prazos faz parte do trabalho do gestor da demanda, sendo muito importante para garantir desempenho em confiabilidade de entregas.

Habilidade de priorização e alocação – O planejamento visa alocar os recursos da empresa de modo que todos os clientes possam ser atendidos. Porém, a capacidade de atendimento pode ficar limitada por uma série de motivos. Quando isto acontece, cabe ao departamento comercial priorizar e negociar os pedidos sempre contando com o auxílio dos gestores da demanda.

Veremos mais adiante que para o objetivo deste trabalho se destacam os elementos: habilidade para prever a demanda e habilidade de prometer prazos.

O diagrama a seguir ilustra os elementos apresentados.

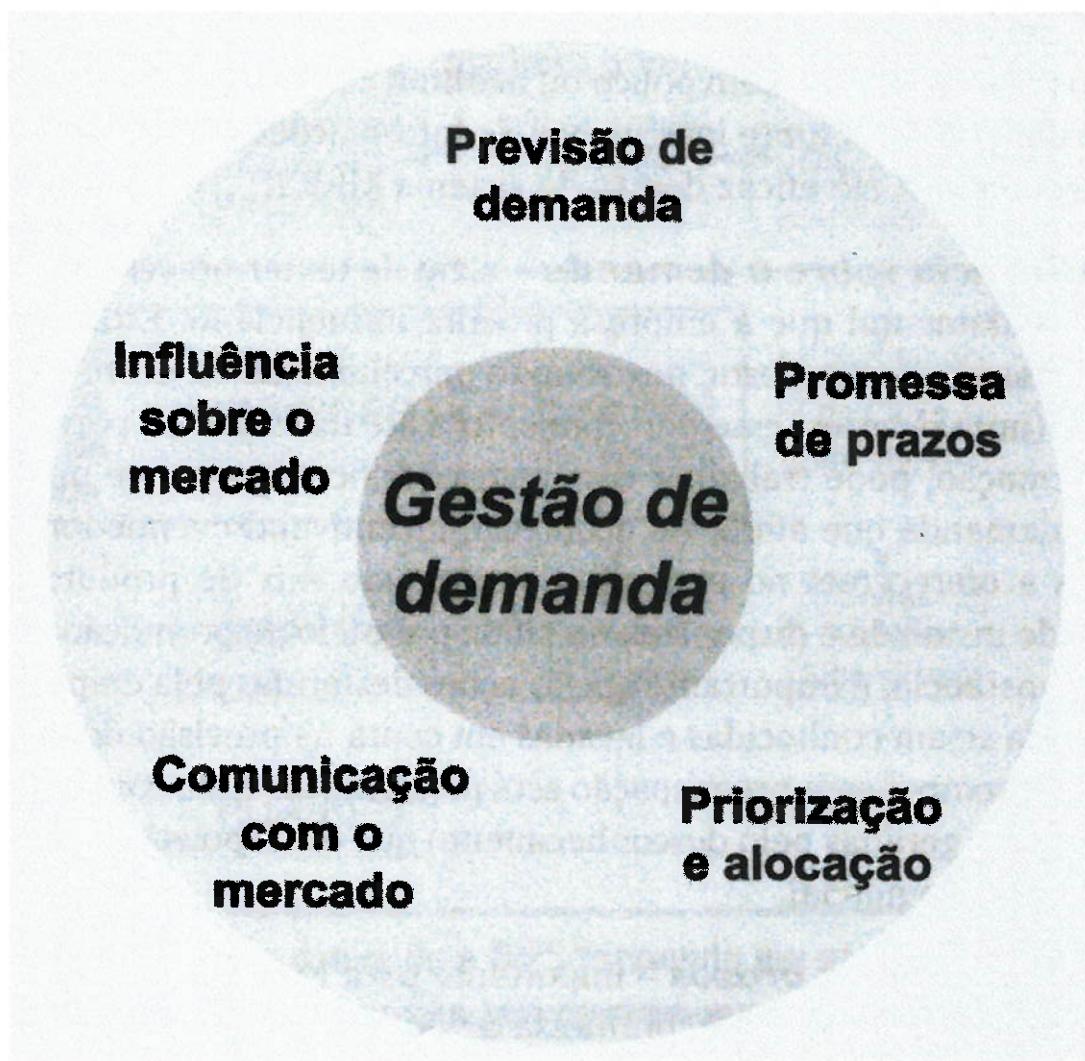


Figura 4 - Gestão de demanda. Fonte: CORREA (2001).

4.6 Previsão de demanda

Explicitamente ou não, a maioria das decisões tomadas por qualquer pessoa é inevitavelmente baseada em previsões. Intuitivamente construímos modelos de previsão baseados em nossas experiências passadas e outros conhecimentos que adquirimos ao longo da vida. Nas organizações não podia ser diferente: gerentes se deparam com previsões a cada momento. A literatura apresenta uma grande variedade de métodos de previsão. Estes podem ser divididos em dois grandes grupos: quantitativos e qualitativos.

Os métodos quantitativos baseiam-se na construção de equações matemáticas que explicam o comportamento da variável de previsão. Vamos abordar estes métodos com mais detalhes posteriormente.

Os métodos qualitativos de previsão se baseiam na intuição e experiência de especialistas. Lançamento de novos produtos, campanhas promocionais ou até novas políticas econômicas a serem implementadas pelo governo são fatores de grande influência nas previsões e que dificilmente estão contemplados nos modelos quantitativos. Portanto, os especialistas possuem informações que complementam e ajustam os modelos quantitativos aumentando muito sua utilidade.

4.6.1 Métodos quantitativos de previsão

Observando a bibliografia pudemos observar que geralmente os processos de previsão de demanda se iniciam por um método quantitativo que será ajustado posteriormente por métodos qualitativos.

WEATHERFORD (1998) mostra características importantes dos métodos quantitativos:

- **Notação matemática** – Os métodos quantitativos de previsão são conjuntos de equações expressos em linguagem matemática. Isto cria um registro não ambíguo de como foi construída a previsão, proporcionando comunicação clara entre os agentes participantes do processo. Outra vantagem é a flexibilidade para melhoria contínua do modelo através de atualização de coeficientes ou mudanças nos termos das equações.
- **Implementação computacional** – Os modelos quantitativos podem ser implementados com facilidade em computadores para tratamento de uma massa de dados realmente espantosa, com alto nível de automação. O resultado é a construção de modelos com alto nível de detalhes e baixo custo de implementação.

Todo método quantitativo é baseado em uma série de hipóteses sobre o futuro. Dependendo de quais hipóteses são adotadas, o modelo pode apresentar grandes distorções em relação a realidade. Dentro de ambientes turbulentos ou de alta incerteza como: mudanças nas taxas de progresso da economia, ações políticas com influência direta sobre o mercado, introdução de novos produtos, mudanças nos padrões de sazonalidade, estes métodos devem ser complementados através dos métodos qualitativos de previsão.

Os métodos quantitativos são classificados em duas categorias: Séries Temporais e Modelos Causais. As séries temporais se baseiam na hipótese de que o futuro será uma continuação dos padrões observados no passado. Já os modelos causais procuram relações de causa-efeito para explicar o comportamento da variável de previsão.

4.6.2 Séries Temporais

Como mencionado anteriormente, as séries temporais têm como hipótese que o mesmo padrão do passado continuará ocorrendo no futuro. Ou seja, a previsão é tratada como uma caixa preta, onde os fatores que influenciam a demanda não são decompostos em relações de causa-efeito e continuarão influenciando a demanda da mesma forma que influenciaram os dados históricos.

Segundo CORREA (2001) quatro hipóteses básicas podem ser adotadas para o comportamento dos dados:

1. Permanência;
2. Trajetória;
3. Sazonal com permanência;
4. Sazonal com trajetória.

Nos mais diversos trabalhos sobre o assunto vemos que MAKRIDAKIS é sempre um autor destacado. SLACK (1996) transcreve a seguinte passagem do autor a respeito da previsão de curto prazo:

“(...) considerável inércia na maioria dos fenômenos econômicos e naturais. Logo os estados atuais de todas as variáveis são preditivos do futuro de curto prazo (i.e., três meses ou menos). Métodos mecanísticos relativamente simples, como os usados nas previsões de séries temporais, em geral podem fazer previsões acuradas de curto prazo e mesmo ter melhor desempenho do que as abordagens teoricamente elegantes e elaboradas, usadas em previsão econométrica.”

A literatura sobre séries temporais é bastante vasta e completa. Vamos nos concentrar nos métodos mais comumente encontrados na literatura de gerenciamento de operações e de logística que são as áreas de interesse deste trabalho.

4.6.2.1 Modelo de média móvel

Os modelos de média móvel são úteis nas previsões de curto prazo para diversos itens devido à sua simplicidade e baixo custo. É indicado para produtos com um histórico de pequenas flutuações, onde pode-se assumir a hipótese de permanência. Segundo CORREA (2001), a hipótese de permanência implica que as causas das variações nas vendas são aleatórias e distribuídas de forma simétrica ao redor da média.

Como pode ser visto na equação a seguir, quanto maior o número de períodos considerados, maior será o suavizamento, ou seja, a sensibilidade do modelo a variações ou a mudanças no patamar de demanda.

$$P_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + D_{t-3} + \dots + D_{t-n}}{n}$$

Equação 1 – media móvel. Fonte: CORREA (2001)

O problema apontado no modelo de média móvel é quando existe uma tendência nas vendas. Isso é facilmente entendido quando visualizamos um gráfico de vendas e notamos que a tendência para o próximo mês é de aumento e a previsão é feita com base nos dados dos meses anteriores, que

são mais baixos. É como se a previsão estivesse sempre “correndo atrás da demanda”.

4.6.2.2 Modelo de média móvel ponderada

Este modelo é uma variação do modelo de média móvel, como menciona CORREA (2001). A diferença fundamental deste modelo é que se dá um peso maior para dados mais recentes, ou seja, o modelo assume que os dados mais recentes são mais confiáveis para descrever o comportamento futuro.

A ponderação dos dados históricos é feita acrescentando multiplicadores para cada dado histórico, como mostra a fórmula a seguir.

$$P_t = \frac{\alpha_1 \cdot D_{t-1} + \alpha_2 \cdot D_{t-2} + \alpha_3 \cdot D_{t-3} + \dots + \alpha_n \cdot D_{t-n}}{n}$$

Equação 2 – media móvel ponderada. Fonte: o autor.

Para que a lógica descrita seja mantida e para que a média ponderada não fique distorcida temos que garantir as seguintes restrições:

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \dots + \alpha_n &= 1 \\ \alpha_1 &\geq \alpha_2 \geq \alpha_3 \geq \alpha_4 \geq \dots \geq \alpha_n \end{aligned}$$

Equação 3 – restrições para média móvel ponderada. Fonte: o autor.

4.6.2.3 Suavização exponencial

Essencialmente, os modelos de suavização exponencial seguem a mesma lógica proposta para a média móvel ponderada. A grande diferença é que neste modelo são utilizados todos os dados históricos disponíveis com coeficientes de ponderação que decrescem exponencialmente. A formulação básica é bastante simples como se pode ver a seguir.

$$S_t = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}$$

$$P_t = S_{t-1}$$

Equação 4 – Suavização exponencial. Fonte: CORREA (2001).

Onde:

S_t = Valor da BASE calculado no instante t

α = Constante de suavização

D_t = Dado histórico no período t

P_t = Previsão para o período t

Podemos observar que, como consequência desta formulação, temos os pesos distribuídos exponencialmente a cada nova previsão, como podemos observar no desenvolvimento das equações apresentadas. O resultado é mostrado a seguir.

$$S_t = \alpha \cdot D_t + \alpha(1-\alpha) \cdot D_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 \cdot D_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 \cdot D_{t-3} + \alpha(1-\alpha)^4 \cdot D_{t-4} + \dots$$

Equação 5 - Desenvolvimento do suavizado exponencial. Fonte: CORREA (2001).

Podemos utilizar o modelo de suavização exponencial para qualquer uma das hipóteses apresentadas anteriormente com algumas modificações nos componentes do modelo. Veremos estes casos mais adiante.

4.7 Modelo de Winter

Existem vários modelos de suavização exponencial. O mais popular deles é o Modelo de Winter, apresentado em sua publicação de 1960. Este modelo é apresentado em grande parte da literatura de planejamento e controle de produção e, também, nas publicações sobre logística.

O modelo é bastante flexível e seus parâmetros são de fácil administração uma vez compreendida sua lógica. A lógica do modelo é baseada no isolamento dos

componentes da série, ou seja, assumimos por hipótese que a série é composta por três principais componentes básicos:

Sazonalidade (It): A sazonalidade é a parcela que faz com que a demanda tenha picos ou vales em meses específicos. Para alguns ramos e regiões esta parcela se destaca bastante. É o caso de lojas de roupas, que têm grande demanda no fim do ano devido ao Natal. A obtenção deste índice sazonal para cada um dos doze meses do ano, permite a suavização da curva anterior através da divisão de cada um dos valores históricos pelo índice correspondente ao mês do valor.

Tendência: Esta parcela representa uma variação constante na demanda a cada período. Esta variação pode ser positiva ou negativa dependendo se a demanda está em uma fase de aumento ou de redução. A tendência é estimada através das variações da base (Bt), como podemos observar nas fórmulas do modelo.

Base (Bt): A base é uma estimativa da demanda desazonalizada. Para construir a base dividimos a demanda de um determinado mês pelo índice de sazonalidade do período correspondente do ciclo anterior.

Existe mais uma componente da demanda que deve ser isolada: a aleatoriedade. Para tanto, cada um dos componentes do modelo é suavizado exponencialmente. Isto pode ser observado nas fórmulas do modelo nas parcelas: α , $(1-\alpha)$, β , $(1-\beta)$, γ e $(1-\gamma)$.

HAX (1984) destaca que estes tipos de modelos podem ter duas abordagens para a sazonalidade:

1. Multiplicativa: quando a amplitude da sazonalidade é proporcional ao nível das vendas.

$$\text{Demanda} = (\text{Base} + \text{Tendência}) * (\text{Fator de Sazonalidade})$$

2. Aditiva: a amplitude da sazonalidade não depende do nível de vendas.

$$\text{Demanda} = \text{Base} + \text{Tendência} + (\text{Fator de Sazonalidade})$$

Conforme cita o autor, na maioria dos casos o padrão de sazonalidade é proporcional ao nível de vendas. Esta abordagem é utilizada no Modelo de Winter, como veremos na formulação a seguir proposta por CORREA (2001).

$$B_t = \alpha * \left(\frac{D_t}{I_{t-L}} \right) + (1 - \alpha) * (B_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (B_t - B_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

$$I_t = \gamma * \left(\frac{D_t}{B_t} \right) + (1 - \gamma) * I_{t-L}$$

$$P_t = (B_{t-1} + T_{t-1}) * I_{t-L}$$

$$P_{t+m} = (B_t + T_t * m) * I_{t-L+m}$$

Equação 6 – Modelo de Winter. Fonte: HAX (1984)

Onde:

B_t = valor da base no instante t

L = número de períodos em que a sazonalidade se repete

α = constante de suavização da base

β = constante de suavização da tendência

γ = constante de suavização da sazonalidade

I_t = índice de sazonalidade no instante t

T_t = índice da tendência no instante t

D_t = valor realizado no instante t

P_t = previsão para o instante t

m = períodos de previsão. Se o tamanho do período for um mês e m for 3, então está se fazendo uma previsão para daqui a 3 meses.

Podemos ver que nesta formulação são utilizadas três constantes de suavização, uma para cada componente da suavizada no modelo. A determinação destas constantes pode ser feita utilizando métodos não-lineares de otimização.

Segundo CORREA (2001), uma outra forma para o ajuste das constantes é faze-lo por políticas. Se a demanda daquele item tem um comportamento estável, assume-se α pequeno (entre 0,05 e 0,15), para evitar que variações aleatórias afetem as previsões. Já se sua demanda não tem um comportamento muito estável, em geral aumenta-se α (entre 0,15 e 0,30), para que a previsão acompanhe as mudanças na demanda. O mesmo tipo de análise deve ser feita para determinar β e γ .

Em geral, é desaconselhada a utilização de valores de α grandes (maior que 0,5), pois isso pode tornar o modelo muito reativo, ou seja, toda variação da demanda é incorporada à previsão. Isso ocorre, uma vez que o valor de α multiplica diretamente o valor da última demanda.

4.8 Erros de previsão

Medir o desempenho do modelo de previsão é essencial. “Nenhum esforço de previsão terá sucesso se os erros não forem apontados e analisados, com o objetivo de analisar hipóteses, modificar o método de previsão e ganhar o comprometimento com a melhoria do processo.” CORREA (2001).

$$e_t = P_t - D_t$$

Equação 7 - Erro. Fonte: HAX (1984).

Segundo o autor existem duas dimensões essenciais quando estamos medindo os erros:

- **Magnitude:** É a medida da amplitude do erro, ou seja, o quanto esta está distante da media. Quanto menor a magnitude do erro melhor a previsão. Esta medida também é o indicador da incerteza envolvida no processo de previsão e é utilizada para formar os estoques de segurança.
- **Viés:** Mede os erros que estão distribuídos de forma simétrica. Se esta medida é positiva, a previsão está, em média, sendo maior que a demanda real. Se está negativa, significa que a previsão tem sido, em média, menor que a demanda real. O viés é considerado um problema mais grave que a magnitude, já que os erros estão sistematicamente orientados de forma assimétrica.

4.8.1 Erro médio (viés)

O erro médio é uma típica medida de viés que busca identificar distorções no modelo de previsão. Este verifica se o modelo está gerando previsões sistematicamente maiores que a demanda real ou sistematicamente menores. Ou, em outras palavras, a medida de viés visa identificar ocasiões em que as previsões foram sistematicamente otimistas ou pessimistas.

$$E_M = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

Equação 8- Erro médio

Na equação acima e_i é o erro em cada período e n é o número de períodos considerados. O cuidado que deve ser tomado com essa medida é o de evitar que n seja muito grande, pois isso poderia causar a perda de sensibilidade do indicador.

Uma previsão pode ser considerada como livre de viés se o erro médio for próximo de zero.

4.8.2 Erro absoluto médio

O erro absoluto médio avalia qual a magnitude dos erros que estão sendo cometidos. Diferente da medida do viés, o E_{AM} não considera a direção do erro, mas apenas sua magnitude, conforme podemos ver na fórmula a seguir.

$$E_{AM} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}$$

Equação 9 - Erro absoluto médio

Na equação acima e_i é o erro em cada período e n é o número de períodos considerados. Da mesma forma que no item anterior, o cuidado que deve ser tomado com essa medida é o de evitar que n seja muito grande, pois isso poderia causar a perda de sensibilidade do indicador.

4.8.3 Erro absoluto médio percentual

O erro absoluto médio percentual proporciona uma medida da magnitude do erro assim como o E_{AM} . Além disso, tem a grande vantagem de ser uma medida relativa possibilitando a comparação da precisão entre dois itens diferentes.

$$E_{AMP} = \frac{E_{AM}}{\frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}}$$

Equação 10 - Erro absoluto médio percentual

Neste caso D_i é o dado real do período i . Podemos observar na equação acima que esta medida é uma proporção entre o erro absoluto médio e a média dos

dados reais. Como consequência, ela é muito útil para comparação entre erros de diferentes magnitudes.

4.8.4 *Tracking Signal*

O viés existe quando a demanda acumulada difere da previsão acumulada. A questão é saber distinguir se essa diferença é devida a aleatoriedade da demanda ou se existe viés na previsão. Segundo CORREA (2001) este método utiliza um sinal de advertência que dá uma indicação da acurácia da previsão.

Embora existam vários tipos de Tracking Signal, o mais usado deles é o representado pela equação a seguir.

$$TS = \frac{n \cdot E_M}{E_{AM}}$$

Equação 11 - Tracking signal

Com esta formulação o tracking signal tem aproximadamente 98% de probabilidade de estar entre -3 e +3, assumindo que a distribuição dos erros pode ser aproximada à normal.

4.9 Gestão de estoques

Segundo CORREA (2001), o conceito de estoques é um dos principais dentro dos sistemas de administração de produção. Nos anos 80 muitas empresas americanas tiveram grandes problemas em tentar baixar seus estoques a zero, influenciadas pelo mau entendimento das práticas de gestão japonesas daquela época.

Nesta mesma época as empresas brasileiras enfrentavam um ambiente econômico bem diferente. O protecionismo e as altas taxas inflacionárias tornaram a administração do fluxo de pagamentos muito mais importante que melhorias em efetividade operacional. Isto tornou os estoques ótimos ativos

financeiros, principalmente quando existia a possibilidade de pagar com prazos mais longos.

A estabilização econômica e a entrada de produtos importados com preços muito mais baixos, mudaram radicalmente o ambiente competitivo no Brasil. Muitas empresas não conseguiram se adaptar e mantiveram as antigas práticas de gestão. Como consequência, várias empresas foram a falência ou foram compradas por empresas mais competitivas.

Hoje, vemos que os estoques devem ser o mais baixo quanto forem estrategicamente necessários.

4.9.1 Função dos estoques

O mesmo autor conceitua estoques como acúmulos de recursos materiais em fases específicas dos processos de transformação. BALLOU (1993) coloca uma frase bastante interessante no início do capítulo: "Devemos sempre ter o produto que você necessita, mas nunca podemos ser pegos com algum estoque". Esta frase exemplifica bem o dilema que os administradores enfrentam quando o assunto é estoques.

O autor coloca que os estoques servem para uma série de finalidades, entre eles:

- Melhorar o nível de serviço;
- Incentivam economias na produção;
- Permitem economias de escala nas compras e no transporte;
- Agem como proteção contra o aumento de preços;
- Protegem a empresa de incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento e
- Servem como segurança contra contingências.

CORREA (2001) classifica as razões para o surgimento dos estoques:

Falta de coordenação: Pode ser impossível ou inviável alterar as curvas de suprimento e consumo de modo que estas sejam iguais. Este é o caso típico da necessidade de uma represa como estoque para satisfazer a necessidade de água em uma cidade. É impossível, até o momento, coordenar as taxas pluviométricas de modo que fluxo de água da chuva se equipe à taxa de demanda da cidade. Apesar de ser possível alterar a taxa de demanda de água na cidade é praticamente inviável fazer isto continuamente de forma a tornar o consumo equivalente às taxas pluviométricas. Muitas vezes o mesmo acontece com os processos produtivos. Um caso típico é o de processos que possuem um limite mínimo de produção. Neste caso é produzido um lote que vai ser consumido em uma taxa menor. Esta falta de coordenação ocorre quando se possui uma inviabilidade econômica de fazer lotes menores, como é o caso de processos com altos tempos de preparação.

Incerteza: Existem incertezas que são inerentes ao fornecimento ou à demanda. Nestes casos, estoques são utilizados para absorver estas incertezas, tornando as operações das empresas mais estáveis e controladas. Este tipo de estoque é conhecido como estoque de segurança ou estoque isolador como coloca SLACK (1996).

Especulação: A formação de estoque pode ocorrer com a intenção de criar valor e realizar lucro. Isto se dá através de especulação com a compra e venda de materiais. Esta especulação também pode ocorrer quando uma empresa tem conhecimento antecipado sobre a escassez de certo material. Com isto esta pode comprar em quantidades superiores à sua necessidade enquanto os preços ainda estão baixos. No momento de escassez e de consequente alta nos preços, a empresa não sofre com ela e também pode realizar bons lucros vendendo o material pelo preço aumentado.

Disponibilidade no canal de distribuição: (*pipeline inventory*) Os canais de distribuição possuem estoques devido a impossibilidade de transportar instantaneamente os materiais entre o ponto de fornecimento e o ponto de demanda. A expressão *pipelines*, utilizada em inglês, ilustra bem o que são estes estoques: os “canos” que ligam o fornecimento à demanda.

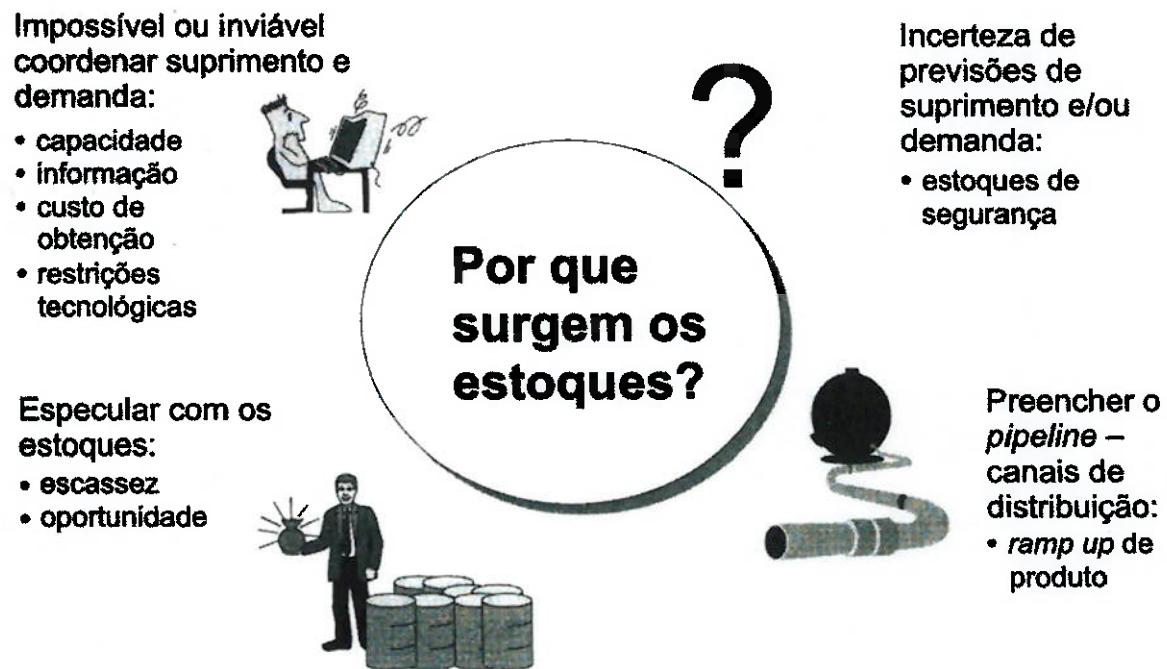


Figura 5 - Estoques. Fonte: CORREA (2001).

4.9.2 Nível de serviço

Nível de serviço é definido de várias maneiras por vários autores. Só para termos um pequeno apanhado destas definições, podemos verificar o que BALLOU (1993) *apud* HESKET (1971) lista em ordem de popularidade:

1. Tempo decorrido entre o recebimento de um pedido no depósito do fornecedor e o despacho do mesmo a partir do depósito.
2. Lote mínimo de compra ou qualquer limitação no sortimento de itens de uma ordem recebida pelo fornecedor.
3. Porcentagem de itens em falta no depósito do fornecedor a qualquer instante.
4. Proporção dos pedidos dos clientes preenchidos com exatidão.

5. Porcentagem de clientes atendidos ou volume de ordens entregues dentro de um intervalo de tempo deste a recepção do pedido.
6. Porcentagens de ordens dos clientes que podem ser preenchidas completamente assim que recebidas no depósito.
7. Proporção de bens que chegam ao cliente em condições adequadas para a venda.
8. Tempo despendido entre a colocação de um pedido pelo cliente e a entrega dos bens solicitados.
9. Facilidade e flexibilidade com que o cliente pode gerar um pedido.

Estas muitas definições e medidas associadas ao conceito de nível de serviço são mais ou menos importantes conforme a estratégia que a empresa adota. Independente desta estratégia, o conceito de nível de serviço sempre está muito ligado às atividades logísticas e têm bastante influência na expectativa e percepção da qualidade do serviço logístico prestado ao cliente.

Neste trabalho utilizaremos o conceito de nível de serviço em uma abordagem probabilística. BALLOU (1993) descreve este como sendo a disponibilidade para atender a demanda. Já CORREA (2001) explica que nesta abordagem ele é “a probabilidade de não falta durante o tempo de ressuprimento”.

Veremos com mais detalhes como este conceito influencia nas fórmulas de cálculo do ponto de reposição.

4.9.3 Revisão contínua x revisão periódica

Geralmente os sistemas de revisão contínua são definidos como sendo aqueles em que os níveis de estoque sempre são conhecidos. HAX (1984) nos diz que, na prática, a atualização do estoque acontece assim que alguma transação ocorre, como é o caso de um pedido ou de um recebimento.

Este sistema é muito utilizado, mas existem situações onde ele não é uma boa opção. Em um pequeno mercado varejista, o administrador por determinar que é mais fácil rever o estoque uma vez por semana ao invés de fazer um controle a cada transação. Este sistema é chamado de revisão periódica.

A redução dos custos envolvidos na implantação de sistemas de informação automatizados têm tornado viável a revisão contínua do estoque com grande agilidade e acurácia. Porém, em casos onde existem grandes volumes de transações os sistemas podem se tornar lentos, o que torna viável uma revisão periódica nos períodos de poucas transações.

4.9.4 *Modelo de ponto de reposição*

O modelo de ponto de reposição possui uma lógica simples e pode ser utilizado tanto quando o sistema de revisão de estoque é contínuo ou periódico. Neste modelo a reposição acontece toda vez que o estoque alcançar um nível abaixo do ponto de pedido.

A seguir vemos uma figura que exemplifica a lógica do ponto de pedido.

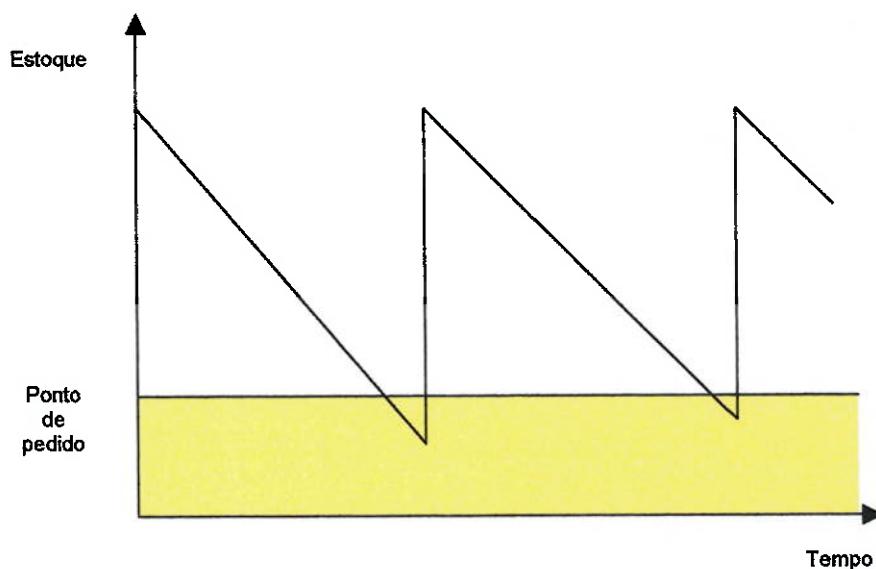


Figura 6 - Ponto de pedido. Fonte: o autor.

As formas de calcular o ponto de pedido são diversas. Muitas empresas baseiam-se na intuição de seus analistas para fixar um valor de consenso. Outras utilizam métodos estatísticos para seu cálculo.

CORREA (2001) propõe uma abordagem probabilística onde o ponto de pedido é definido pela soma da demanda durante o tempo de ressuprimento, chamado de estoque mínimo, e o estoque destinado a absorver as incertezas, chamado de estoque de segurança.

$$PP = D \cdot TR + E_{seg}$$

Equação 12 - Ponto de pedido. Fonte: CORREA (2001)

Onde PP é o ponto de pedido; D é taxa média de demanda; TR é o tempo de ressuprimento e E_{seg} é o estoque de segurança.

HAX (1984) propõe que o estoque de segurança seja calculado a partir do desvio dos erros de previsão, conforme mostrado a seguir.

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{t=n}^{t-1} (et - \bar{et})^2}{n-1}}$$

$$E_{seg} = FS \cdot \sigma_t$$

Equação 13 – Estoque de segurança. Fonte: HAX (1984).

Para obter-se o estoque de segurança multiplica-se o desvio por um fator de segurança, chamado também de fator de serviço. Supondo que os erros têm distribuição normal, podemos relacionar o fator de segurança com o nível de serviço pela tabela a seguir.

TABELA 2.3 Fatores de segurança.

Nível de serviço	Fator de serviço
50%	0
60%	0,254
70%	0,525
80%	0,842
85%	1,037
90%	1,282
95%	1,645
96%	1,751
97%	1,880
98%	2,055
99%	2,325
99,9%	3,100
99,99%	3,620

Figura 7 - Quadro fator de serviço. Fonte: CORREA (2001)

4.10 Lote econômico

A abordagem mais comum para a quantidade ótima é a do lote econômico. Esta abordagem parte do confronto de dois fatores básicos:

1. Custos envolvidos no pedido do material;
2. Custos envolvidos na manutenção do estoque.

Os custos envolvidos no pedido do material são decrescentes por unidade de material pedido quando a quantidade pedida aumenta. Já os custos de manutenção do estoque são maiores por unidade de material quanto maior o pedido. A balança entre estes dois fatores possui um ponto de mínimo custo por unidade de material.

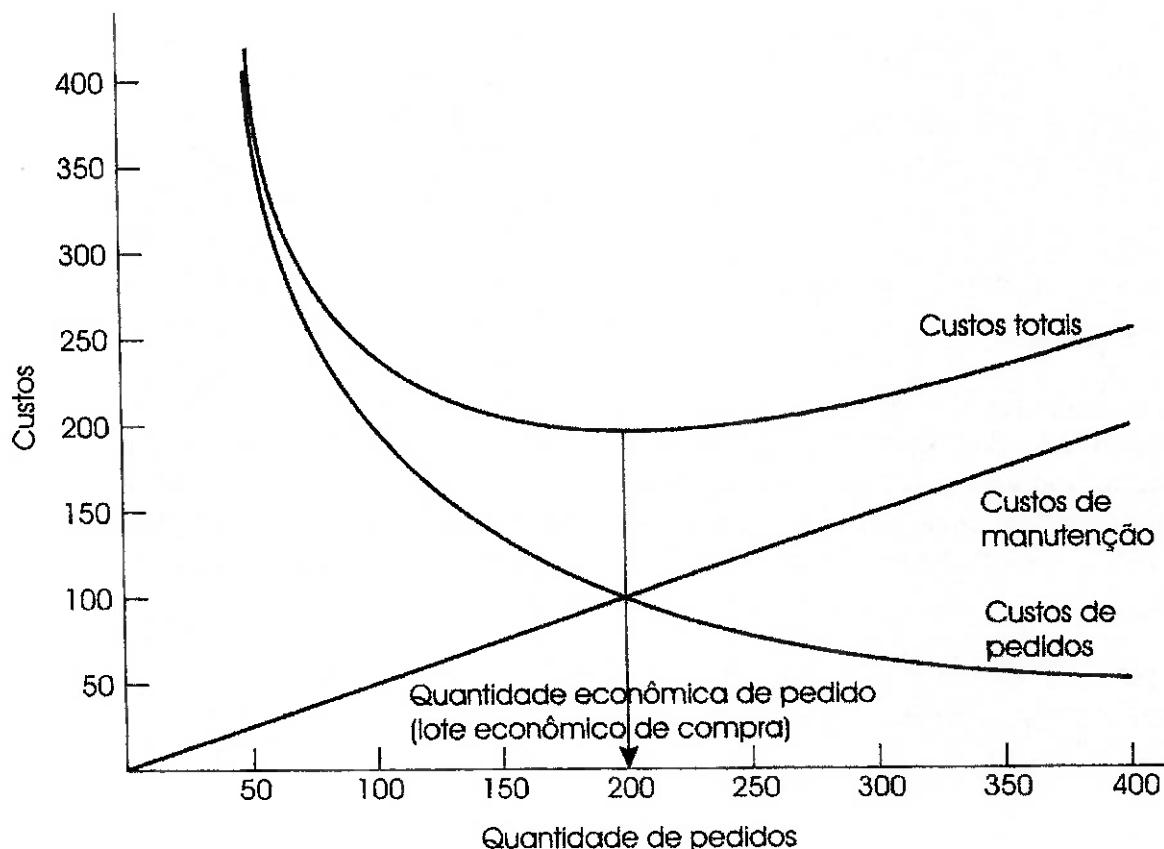


Figura 8 - Lote econômico. Fonte: SLACK (1996)

Para se chegar a uma fórmula para este ponto o modelo parte das seguintes hipóteses simplificadoras:

- A demanda pode ser considerada estável.
- Os custos envolvidos no pedido são fixos por pedido, independendo da quantidade pedida.
- O custo de manter estoque é diretamente proporcional a quantidade estocada. Esta relação de proporcionalidade é linear.
- O estoque médio ao longo do tempo pode ser aproximado estimado como sendo a metade do lote pedido.

Com estas hipóteses podemos formular o custo total.

$$C_T = C_e \cdot \frac{L}{2} + C_p \cdot \frac{D}{L}$$

Equação 14 - Custo total, lote econômico . Fonte: CORREA (2001).

Vamos analisar cada uma das parcelas:

C_e = Custo de manutenção de estoque por unidade de material.

L = Lote pedido.

$\frac{L}{2}$ = Estoque médio.

C_p = Custo fixo por pedido.

$\frac{D}{L}$ = Número médio de pedidos por período.

Derivando a equação do custo total e igualando a zero teremos o ponto de mínimo da curva de custo e, consequentemente, o lote econômico.

$$\frac{d}{dL} C_T = \frac{d}{dL} \left(C_e \cdot \frac{L}{2} + C_p \cdot \frac{D}{L} \right)$$

$$\frac{d}{dL} C_T = 0$$

$$\frac{C_e}{2} - 2 \cdot C_p \cdot \frac{D}{L^2} = 0$$

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_p}{C_e}}$$

Figura 9 - dedução da fórmula do lote econômico. Fonte: SLACK (1996)

Podemos perceber que esta abordagem tem também como pressuposto que estamos trabalhando com apenas um item, o que em grande parte das vezes não é uma realidade.

Como todo modelo, esta abordagem tem falhas. SLACK (1996) coloca que "embora nenhuma destas suposições seja estritamente verdadeira, a maioria delas pode se aproximar da realidade.". O autor destaca que, normalmente, na região onde se localiza o ponto de ótimo, a curva de custo total é bastante horizontal. Isto significa que pequenos erros não alteram significativamente o custo total, quando o custo de estoque não é muito alto.

Quando o custo de manutenção de estoque se torna mais alto, a curva de custo total é bastante influenciada. Podemos ver isto no gráfico a seguir.

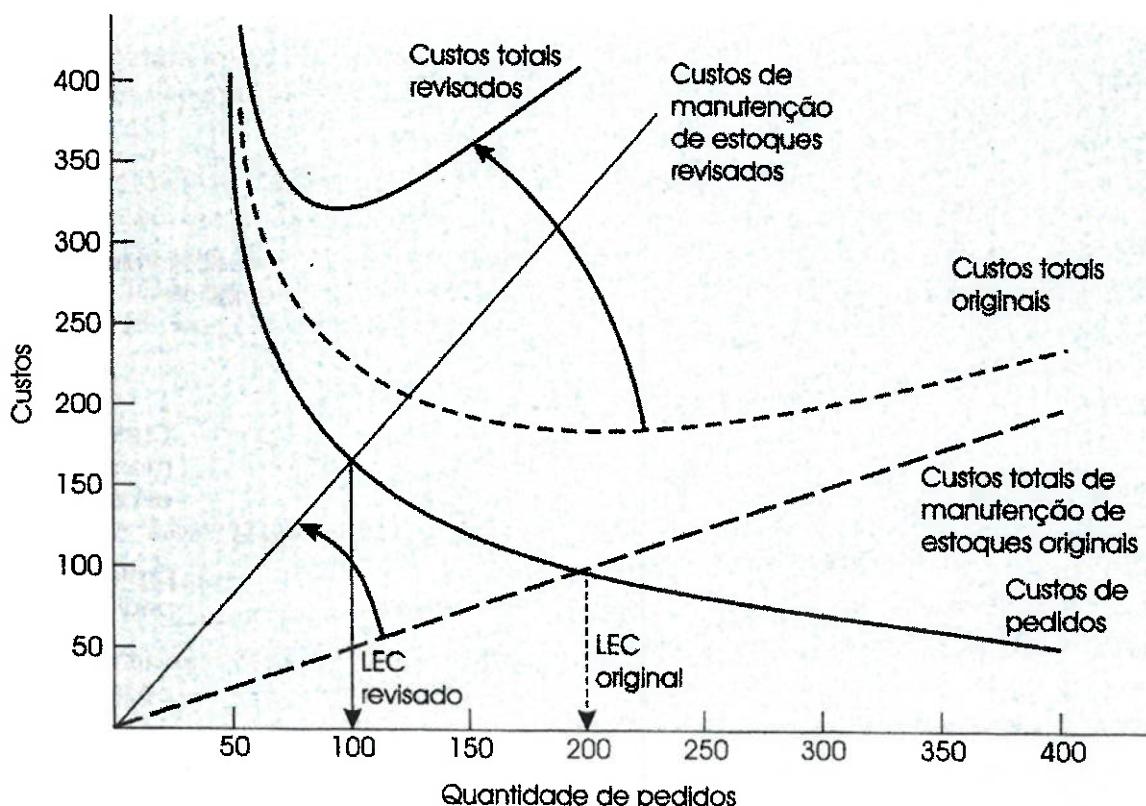


Figura 10 - Lote econômico, custo estoque revisado. Fonte: SLACK (1996)

Porém o modelo não leva em conta restrições importantes como, por exemplo, a capacidade de armazenagem. Através de modelos de programação linear é possível obter uma análise muito mais detalhada dos fatores e restrições que influenciam no armazenamento e na produção. Estes modelos também têm a grande vantagem de trabalhar com demandas variáveis ao longo do tempo.

5 O Modelo

Neste capítulo vamos utilizar as teorias apresentadas anteriormente para construir o modelo. Vamos mostrar como cada uma das partes é calculada e como estes se relacionam para a obtenção do resultado final.

Neste momento é importante relembrarmos que como mencionado no inicio do trabalho os objetivos básicos do projeto são:

- Garantir que os estabelecimentos tenham o material necessário para efetuar as transações;
- Minimizar o custo total de suprimentos;
- Planejar as entregas e controlar os estoques de todos os agentes que participam do processo de suprimentos.

De forma resumida o modelo receberá as transações feitas pelos milhares de estabelecimentos e os parâmetros do departamento de suprimentos e fará o planejamento de entregas.

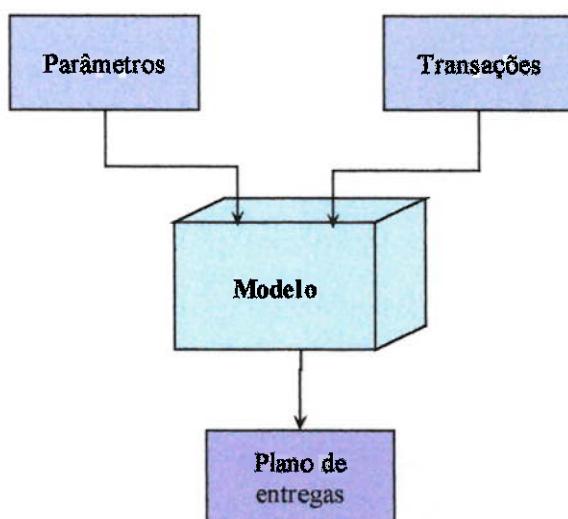


Figura 11 - Entrada e saída. Fonte: o autor

5.1 Visão geral

A lógica adotada para a construção do modelo é relativamente simples. Através das previsões de demanda mensais estimamos, para cada mês, um ponto de pedido. Este é a soma do estoque mínimo e do estoque de segurança.

No início do mês observamos se o estabelecimento necessitará de material para o mês seguinte. Ou seja, se o estoque atual menos a demanda estimada para o mês atual e para o próximo mês é menor que o ponto de pedido do próximo mês, uma entrega é solicitada para a distribuidora.

Se o nível de estoque ficar abaixo do ponto de pedido o modelo solicita uma entrega de emergência para o estabelecimento. A figura a seguir ilustra esta lógica.

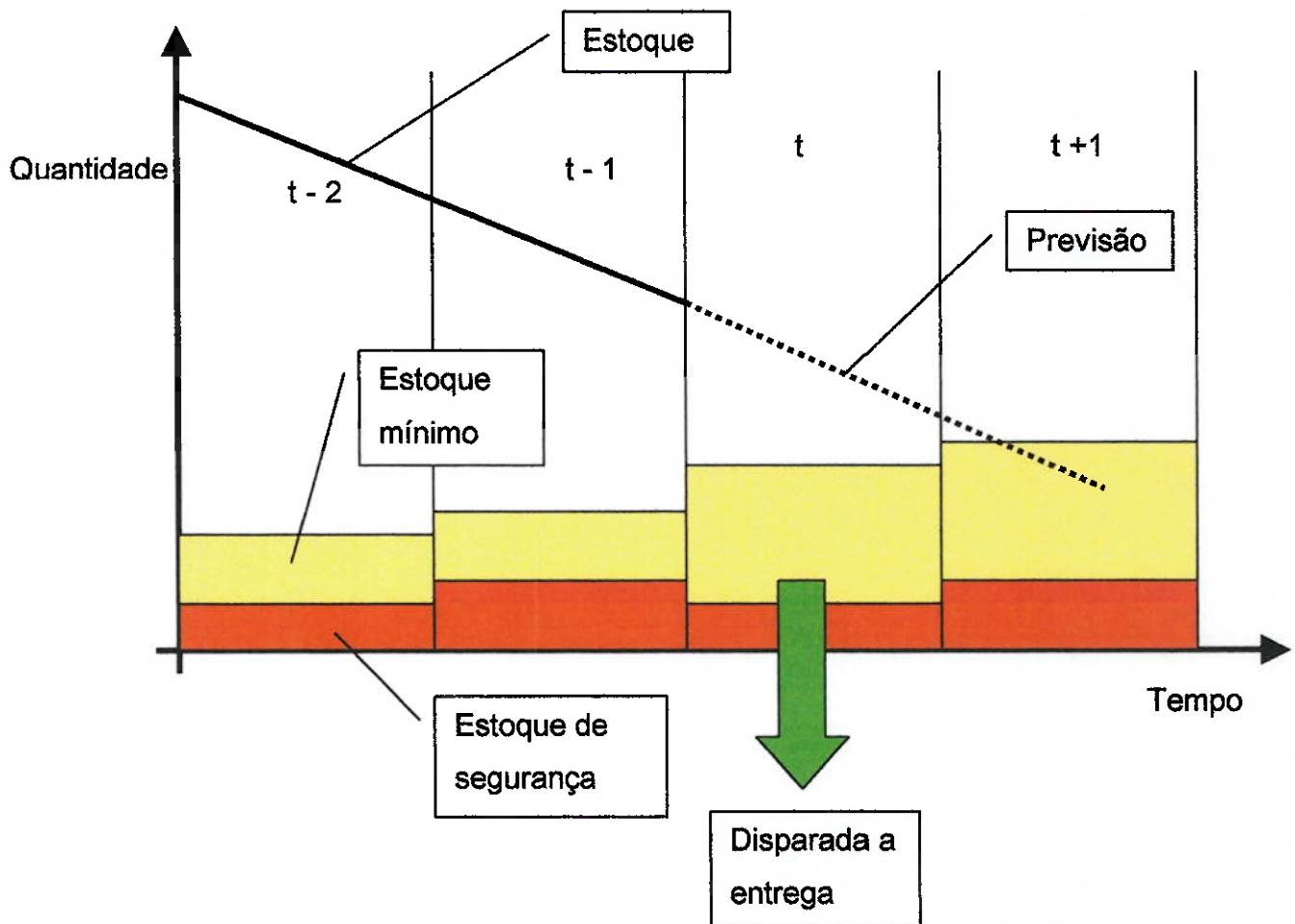


Figura 12 - Lógica do modelo

Vamos separar as partes independentes do modelo e verificar a forma que estas partes se relacionam:

- Coleta de dados da demanda;
- Cálculo da previsão;
- Cálculo do consumo;
- Controle do estoque;
- Cálculo do ponto de pedido;
- Cálculo da quantidade a ser entregue;
- Formação do plano de entregas.

Vejamos o diagrama a seguir:

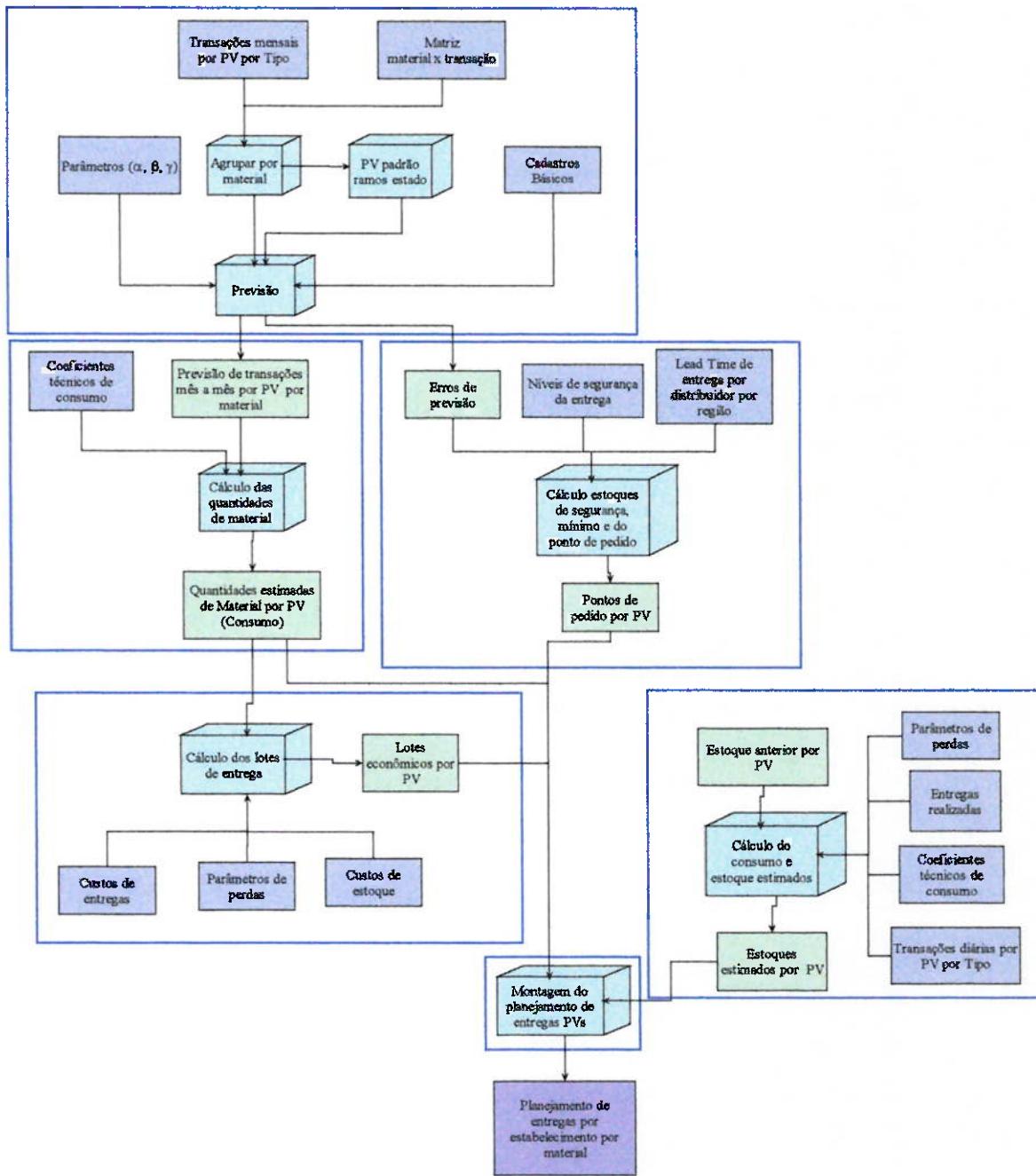


Figura 13 - Diagrama do modelo. Fonte: o autor.

5.2 Dados para estimar a demanda

Nosso primeiro desafio é achar o melhor dado que a empresa possui para estimar a demanda. Normalmente as empresas utilizam o volume de material vendido para estimar a demanda, porém no nosso caso o material não é vendido. O material é entregue sob pedido e a quantidade entregue é

determinada pela EMPRESA conforme comentamos no início deste trabalho. Chegamos a conclusão que a quantidade de material entregue não é uma boa medida para estimar a demanda.

Alguns dos equipamentos utilizados pela empresa registram as linhas impressas durante seu uso. Apesar de não registrar o avanço do papel, a medida de linha impressas seria uma estimativa muito boa do consumo de material. O grande problema é que nem todos os equipamentos possuem esta facilidade, o que acaba obrigando o uso de outras medidas para os outros equipamentos.

O número de transações é outra opção de medida do consumo de materiais. Apesar de existirem vários tipos com tamanhos razoavelmente diferentes, as transações podem ser consideradas em média com um tamanho constante. Isto se deve ao fato de que 80% das transações são de um tipo.

Para alguns materiais é fácil relacionar o consumo com a transação, como é o caso de alguns formulários. Para outros materiais temos que estimar uma média de transações possível por unidade dele.

Chegamos a conclusão de que as transações são a melhor medida de consumo disponível no momento. Portanto, vamos fazer as previsões de demanda em números de transações realizadas em um determinado material.

5.3 Previsão de demanda

5.3.1 Escolha do modelo de previsão.

A EMPRESA trabalha com centenas de milhares de estabelecimentos de vários ramos diferentes, espalhados por todo o país. As transações feitas pelos estabelecimentos possuem um comportamento muito variável ao longo do ano, apresentando, muito claramente, tendência de crescimento e sazonalidade anual, com picos nos meses de Dezembro, devido ao Natal.

No projeto, precisamos de um modelo para fazer a previsão da quantidade de transações feitas por cada um destes milhares de estabelecimentos.

A seguir podemos ver o padrão de transação diário dos estabelecimentos. Os dados foram mascarados para manter a confidencialidade.

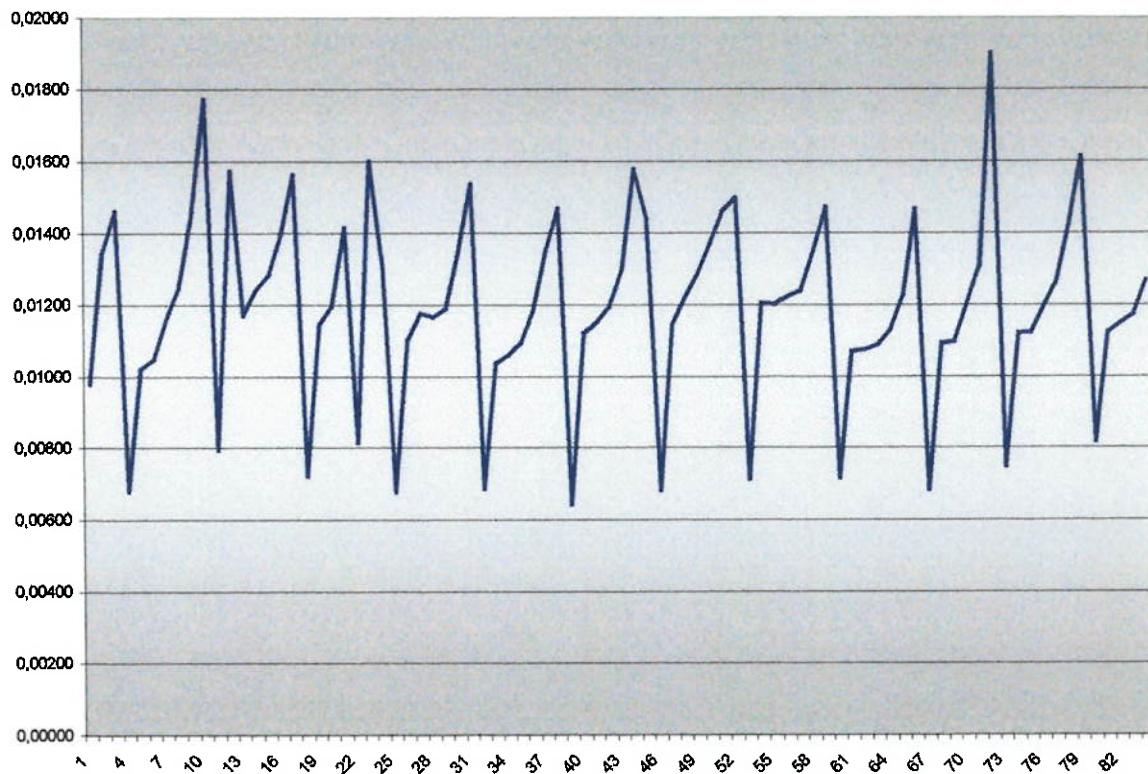


Figura 14 - Gráfico de padrão diário de transações. Fonte: EMPRESA.

A seguir podemos ver os padrões mensais por estado e por ramo de atividade.

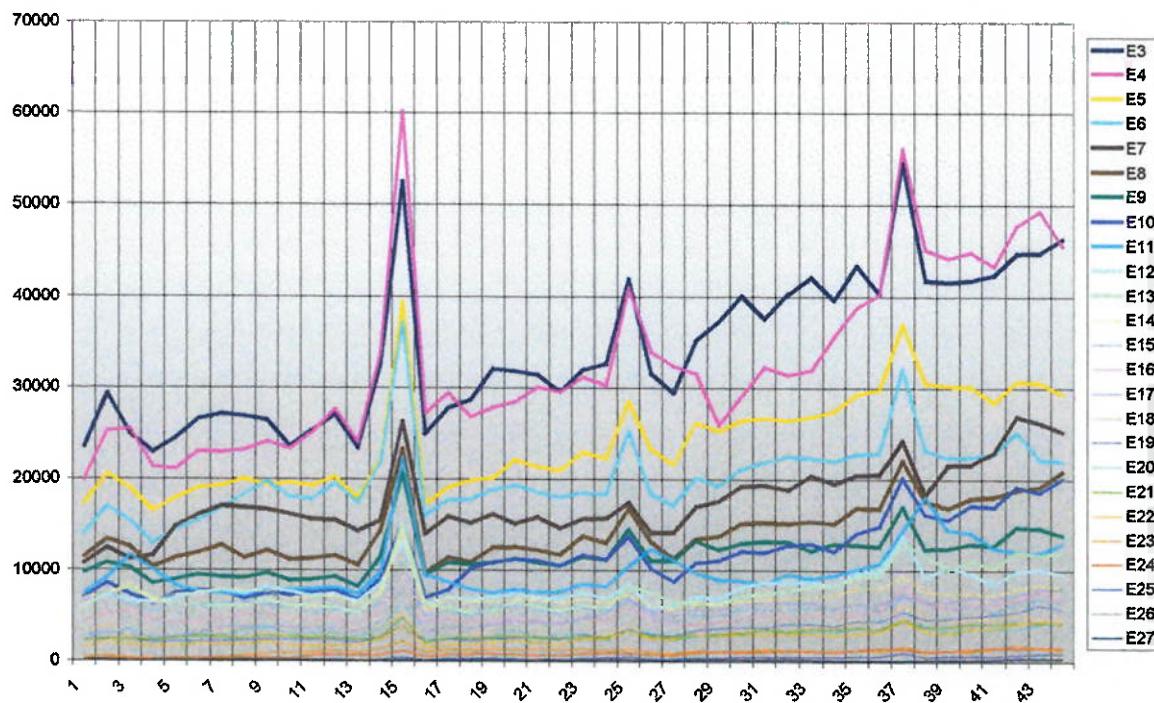


Figura 15 - Gráfico do padrão mensal de transações por estado. Fonte: EMPRESA.

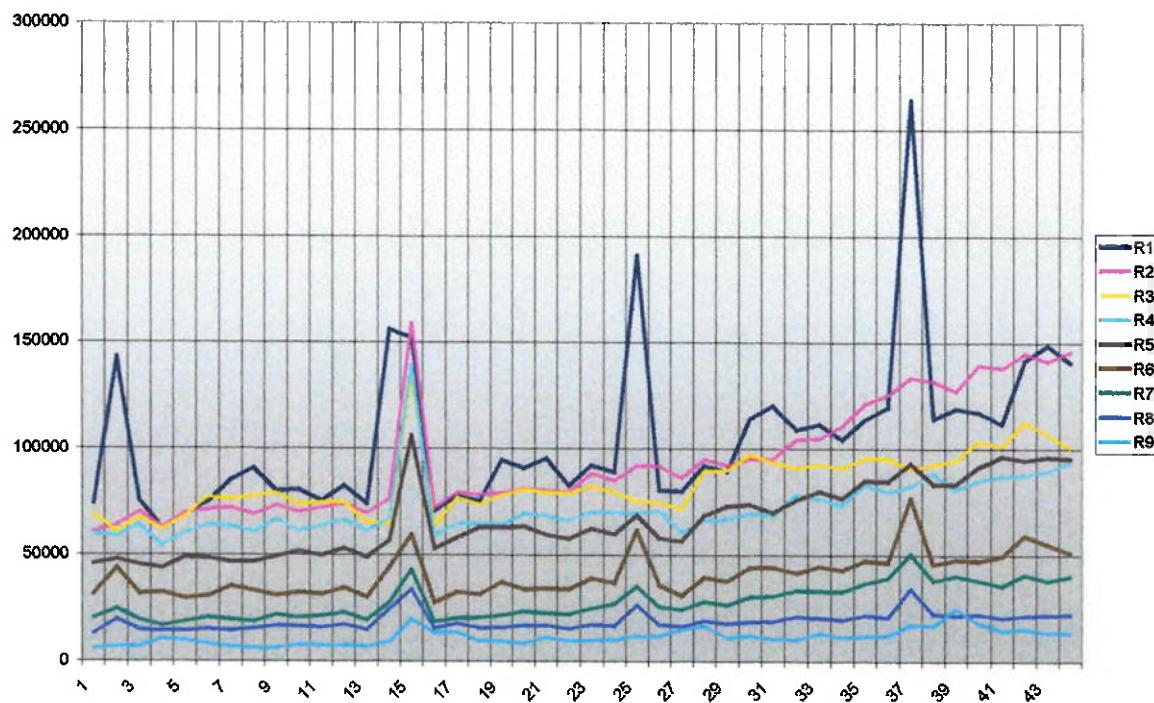


Figura 16 - Gráfico de padrão de mensal por ramo de atividade. Fonte: EMPRESA.

Podemos observar que no gráfico existem padrões de sazonalidade em várias das curvas apresentadas. O primeiro padrão, mostrado no gráfico de transações diárias, tem um ciclo claramente semanal com pico nos fins de semana. O segundo é mensal com ciclo anual.

Podemos ver que os padrões se alteram dependendo do estado e do ramo de atividade. Já poderíamos esperar isto intuitivamente já que os diversos ramos de atividade da economia diferem nos seus padrões de demanda.

Vamos pegar dois exemplos: uma loja de brinquedos e uma loja de autopeças. A loja de brinquedos deve possuir picos de transações de venda em datas como dia das crianças e natal. Mas as lojas de autopeças não possuem estes picos, já que os carros necessitam de manutenção de forma uniforme ao longo do ano.

Como estamos querendo fazer a previsão de transações de curto prazo onde existem padrões que se repetem ao longo do tempo escolhemos o Modelo de Winter. Trata-se de um modelo de suavização exponencial que considera variações relacionadas à tendência e a sazonalidade.

Além de ser fácil de entender e de usar, o Modelo de Winter necessita do armazenamento de apenas dois dados históricos de demanda, facilitando bastante sua implementação computacional. Devemos ter em mente que vamos utilizar este modelo para calcular a previsão de milhares de estabelecimentos, o que pode levar um bom tempo de processamento.

Outra vantagem muito importante do modelo é que este permite facilmente sua adaptação através de mudanças em seus parâmetros. Alterando estes parâmetros pode-se retirar algumas parcelas como sazonalidade ou tendência. Veremos mais adiante que este procedimento é necessário para os casos de estabelecimentos com poucas transações.

Através de testes realizados em planilhas eletrônicas chegamos, em consenso com a EMPRESA, a conclusão que as previsões serão para períodos mensais

e serão revistas mensalmente para cada material utilizado por cada estabelecimento.

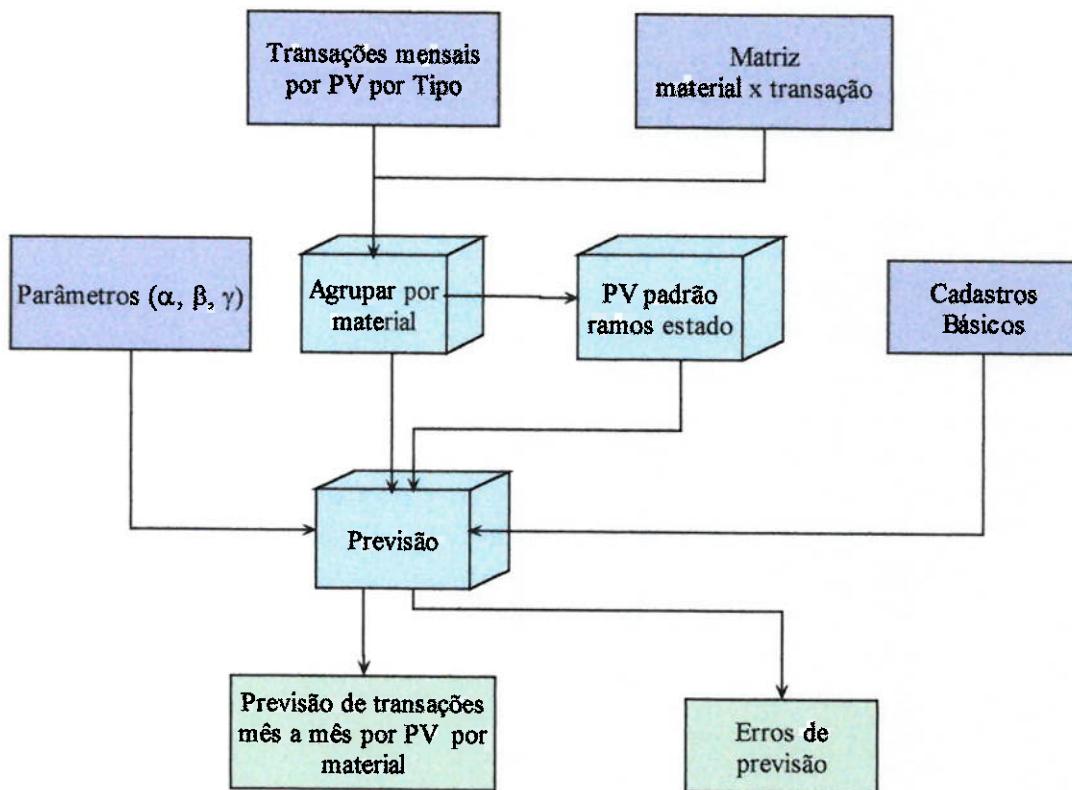


Figura 17 - Previsão. Fonte: o autor.

Escolhido o modelo temos que determinar como fazer a sua inicialização, mostrado no próximo item.

5.3.2 Inicialização da previsão

O primeiro passo em todos os procedimentos é agrupar as diversas transações realizadas pelos estabelecimentos por cada um dos materiais. Depois de obtidos os dados, estamos prontos para começar a inicialização.

Vamos separar os estabelecimentos conforme a quantidade de dados que este possui.

1. Estabelecimentos que possuem mais de 12 meses de transações.
2. Estabelecimentos que possuem menos de 12 meses de transações.

3. Novos estabelecimentos sem dados históricos.

No primeiro caso o estabelecimento possui dados históricos de pelo menos um ciclo de sazonalidade. Para inicializarmos estes estabelecimentos é bastante simples, bastando achar a média de transações anuais e os índices de sazonalidade.

Nos outros casos não possuímos dados suficientes para estimar as sazonalidades. Para resolver este problema criamos o conceito de estabelecimento padrão ou PV padrão.

O PV padrão é a média das transações de um ramo em um estado. Ou seja, utilizaremos o padrão médio do ramo no estado para inicializar os estabelecimentos que não possuem histórico suficiente ou não possuem histórico nenhum. Vejamos a tabela abaixo como exemplo.

Mês	Pv			Total Global	Média
	1	2	3		
1			1	1	1,00
2	2	2	0	4	1,33
3	0	1	0	1	0,33
4	1	0	0	1	0,33
5	3	2	1	6	2,00
6	1	0	1	2	0,67
7	3	0	7	10	3,33
8	0	0	2	2	0,67
9	1	1	2	4	1,33
10	2	0	7	9	3,00
11	5	1	13	19	6,33
12	3	1	8	12	4,00

Figura 18 - o PV Padrão. Fonte: o autor.

O ideal, na realidade, seria que os analistas de suprimentos fizessem levantamentos dos padrões de vendas junto aos novos clientes, mas isto é totalmente inviável. Este trabalho de análise fica restrito a novos ramos de atividades.

Na entrada de um novo ramos de atividade os analistas de suprimentos devem estabelecer manualmente os índices de sazonalidade e de transações médias para este novo PV padrão. Para auxílio neste trabalho os analistas devem se basear nos PVs padrão já existentes que se assemelhem a este novo PV padrão.

5.3.2.1 Cálculo dos parâmetros iniciais para os PVs padrão

Para calcularmos a inicialização da previsão para os PVs padrão necessitamos das transações mensais (12 primeiros meses disponíveis) de todos os PVs ativos, agrupadas de acordo com o material que eles utilizaram (bobina, formulário, etc.). Necessitamos também do estado e o ramo de atividade ao qual pertence cada estabelecimento e a relação de PVs ativos a cada mês, durante esses 12 primeiros meses.

Como descrito anteriormente, cada PV padrão representa um ramo de atividade em um estado. Assim, as transações de um PV padrão serão as médias das transações efetuadas pelos estabelecimentos que pertencem a esse ramo e estão nesse estado.

A fim de calcular a inicialização para o PV padrão devemos seguir os seguintes passos:

1. O primeiro passo é calcular as transações do PV padrão a cada mês, somando as transações por mês dos estabelecimentos desse estado e ramo e dividindo pelo número de estabelecimentos ativos nesse mês, nesse estado e ramo.

$$D_{pad}t = \frac{\sum_{t=1}^{PV} D_t}{No.PVst}$$

Equação 15 - Transações do PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, D_{padt} são as transações do PV padrão no mês t , D_t são as transações de cada um dos PVs no mês t e $No.PVs$ é o número de PVs ativos no mês t , nesse estado e nesse ramo.

2. Calcular as médias de transações dos PVs padrão no período de 12 meses

$$M_{pad} = \frac{\sum_{t=1}^{12} D_{padt}}{12}$$

Equação 16 - Média de transações do PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, M_{pad} é a média dos 12 meses de transações do PV padrão.

3. Calcular os I_{0t} (índices iniciais de sazonalidade) para cada mês do ano, dividindo-se as transações dos PVs padrão a cada mês pela média dos 12 meses.

$$I_{0 padt} = \frac{D_{padt}}{M_{pad}}$$

Equação 17 - Índices de sazonalidade do PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, $I_{0 padt}$ é o índice inicial de sazonalidade do PV padrão no mês t .

Para evitar que nos cálculos das previsões exista divisão por zero nos meses em que as transações do PV padrão forem zero ($D_{padt} = 0$), os índices iniciais de sazonalidade nesses meses serão iguais a 1 ($I_{0 padt} = 1$) e não serão calculados pela conta acima.

Através de testes em planilhas eletrônica concluímos que o comportamento do modelo fica instável quando a quantidade de transações é muito baixa. Para evitar que isto aconteça adotamos como política que os PVs padrão que tiveram uma média de menos de uma certa quantidade de transações por mês nos últimos doze meses terão seus índices iniciais de sazonalidade como 1

($I_{0padt} = 1$) para os doze meses de inicialização. A princípio adotamos, empiricamente, como sendo baixos os PVs com menos de 10 transações mensais em média.

Agora podemos passar os parâmetros calculados para o modelo de previsão.

1. Definir:

$$B_{0pad} = M_{pad}$$

Onde, B_{0pad} é a base inicial do PV padrão.

$$T_{0pad} = \text{zero}$$

Onde, T_{0pad} é a tendência inicial do PV padrão.

$$I_{pad(t-12)} = I_{0padt} \quad \text{com } t \text{ variando de 1 a 12}$$

Onde, $I_{pad(t-12)}$ são os 12 índices de sazonalidade iniciais do PV padrão.

Podemos ver o resultado de uma inicialização na tabela a seguir.

Ramo	Estado	Material		
R	E1	0		
t	Dt	Bt	Tt	It
1				2,425476
2				0,985197
3				1,142437
4				1,026838
5				0,966596
6				0,616173
7				0,957298
8				0,820022
9				0,817309
10				0,721907
11				0,776114
12		33,52989	0	0,744634
13	81,32593			
14	33,03356			
15	38,30579			
16	34,42977			
17	32,40985			
18	20,6602			
19	32,09809			
20	27,49526			
21	27,40427			
22	24,20546			
23	26,02302			
24	24,96748			

Tabela 1- Inicialização PV padrão. Fonte: o autor.

5.3.2.2 Cálculo dos parâmetros e das previsões para os PVs padrão até o mês atual

Inicializado o PV padrão podemos calcular suas previsões da mesma forma que faremos com as previsões para cada estabelecimento, seguindo os seguintes passos:

1. A variável $D_{pad}t$ continua sendo calculada de acordo com a fórmula abaixo, para todos os meses até o mês atual.

$$D_{padt} = \frac{\sum_{PV}^{PV} Dt}{No.PVst}$$

Equação 18 - Transações do PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, D_{padt} são as transações do PV padrão no mês t, Dt são as transações de cada um dos PVs no mês t e $No.PVst$ é o número de PVs ativos no mês t, nesse estado e nesse ramo.

2. Já os parâmetros B_{padt} , T_{padt} , I_{padt} , P_{padt} e e_{padt} passam a ser calculados de acordo com as fórmulas abaixo para todos os meses até o mês atual

$$B_{padt} = \alpha * \left(\frac{D_{padt}}{I_{pad(t-12)}} \right) + (1 - \alpha) * (B_{pad(t-1)} + T_{pad(t-1)})$$

$$T_{padt} = \beta * (B_{padt} - B_{pad(t-1)}) + (1 - \beta) * T_{pad(t-1)}$$

$$I_{padt} = \gamma * \left(\frac{D_{padt}}{B_{padt}} \right) + (1 - \gamma) * I_{pad(t-12)}$$

$$P_{padt} = (B_{padt} + T_{padt}) * I_{pad(t-12)}$$

$$e_{padt} = D_{padt} - P_{padt}$$

Equação 19 - Cálculo das previsões para o PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, B_{padt} é o valor da base do PV padrão no mês t, α é a constante de suavizado, β é a constante de suavizado da tendência, γ é a constante de suavizado da sazonalidade, I_{padt} é o índice de sazonalidade do PV padrão no mês t, T_{padt} é o índice da tendência do PV padrão no mês t, P_{padt} é a

quantidade de transações previstas para o PV padrão no mês t e e_{padt} é o erro de previsão do PV padrão no mês t .

Ramo	Estado	Material						
R	E1	0	t	Dt	Bt	Tt	It	Pt
1							2,425476	
2							0,985197	
3							1,142437	
4							1,026838	
5							0,966596	
6							0,616173	
7							0,957298	
8							0,820022	
9							0,817309	
10							0,721907	
11							0,776114	
12				33,52989			0	0,744634
13	81,32593	33,52989					0	2,425476
14	33,03356	33,52989					0	0,985197
15	38,30579	33,52989					0	1,142437
16	34,42977	33,52989					0	1,026838
17	32,40985	33,52989					0	0,966596
18	20,6602	33,52989					0	0,616173
19	32,09809	33,52989					0	0,957298
20	27,49526	33,52989					0	0,820022
21	27,40427	33,52989					0	0,817309
22	24,20546	33,52989					0	0,721907
23	26,02302	33,52989					0	0,776114
24	24,96748	33,52989					0	0,744634
25	23,21766	28,7384	-0,958299				1,940202	81,32593
26	20,59023	26,404	-1,233519				0,923583	27,36888
27	23,47053	24,24523	-1,418567				1,09012	28,75569
28	23,38049	22,81522	-1,420858				1,02622	23,43929
29	22,63033	21,79797	-1,340136				0,988073	20,6797
30	23,81133	24,09505	-0,612692				0,727788	12,60555
31	22,94075	23,5787	-0,593424				0,961992	22,47961
32	29,57169	25,60063	-0,070353				0,92055	18,84844
33	25,05271	26,55476	1,35E-01				0,855147	20,86612
34	23,41894	27,83952	3,65E-01				0,757698	19,26719
35	23,86258	28,71253	0,466272				0,792606	21,8896
36	21,33194	29,07256	0,445022				0,741368	21,72752
37	21,72883	25,85392	-0,28771				1,610275	57,27007
38	21,14841	25,03261	-0,394429				0,899958	23,6125
39	22,97248	23,92521	-0,537023				1,051138	26,85858
40	19,83852	22,57688	-0,699284				0,981967	24,00142
41	22,42341	22,0409	-0,666625				0,996857	21,61666
42	20,61284	22,76393	-0,388693				0,781103	15,55594
43	19,54148	21,9629	-0,47116				0,940319	21,52479
44	23,28798	22,25297	-0,318914				0,958339	19,78423
45	19,43259	22,0921	-0,287305				0,862488	18,75684
46	19,06488	22,47615	-0,153034				0,784857	16,52146
47	20,62315	23,06238	-5,18E-03				0,823094	17,69343
48	19,17123	23,61761	0,106901				0,762478	17,09387

Tabela 2 - Previsão PV padrão. Fonte: o autor.

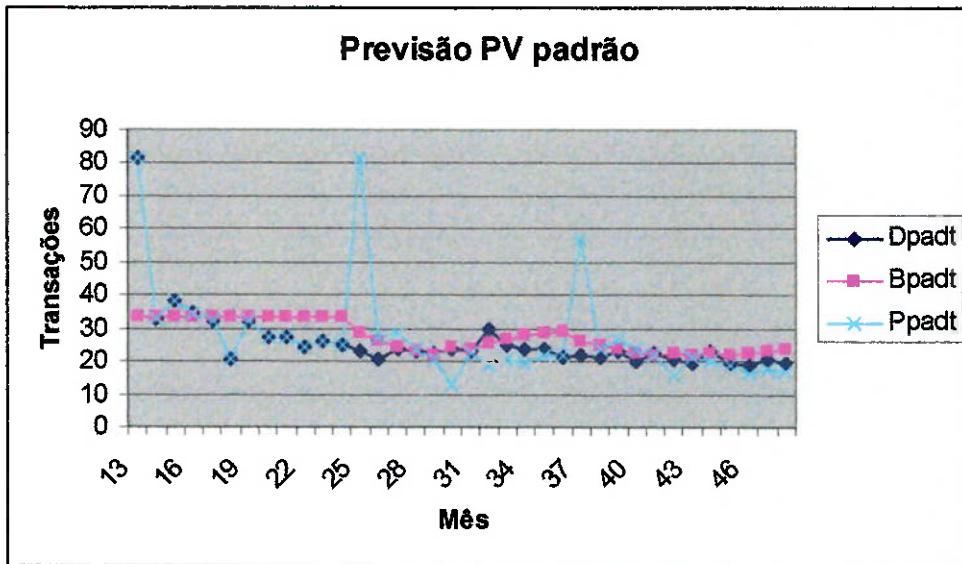


Figura 19 - Gráfico da previsão do PV padrão. Fonte: o autor.

5.3.2.3 Cálculo das medidas de precisão das previsões dos PVs padrão

Apesar de não utilizarmos as previsões do PV padrão é importante que os erros do PV padrão sejam controlados, da mesma forma que nos estabelecimentos.

Calculados os parâmetros anteriores podemos calcular o erro médio, o erro absoluto e o erro absoluto médio porcentual através do seguinte procedimento:

1. Calcular o erro médio de previsão dos doze últimos meses para o PV padrão.

$$EM_{padt} = \frac{\sum_{t=12}^{t-1} e_{padt}}{n}$$

Equação 20 - Erro médio PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, EM_{padt} é o erro médio do PV padrão no mês t , e_{padt} é o erro de previsão do PV padrão no mês t e n é o número de erros de previsão do PV padrão.

2. Calcular o erro absoluto médio dos doze últimos meses para o PV padrão.

$$EAM_{pad}t = \frac{\sum_{t=12}^{t-1} |e_{pad}t|}{n}$$

Equação 21 - Erro absoluto médio PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, $EAM_{pad}t$ é o erro absoluto médio do PV padrão no mês t, $e_{pad}t$ é o erro de previsão do PV padrão no mês t e n é o número de erros de previsão do PV padrão.

3. Calcular o erro absoluto médio percentual dos doze últimos meses para o PV padrão.

$$EAMP_{pad}t = \frac{EAM_{pad}t}{\sum_{t=12}^{t-1} D_{pad}t} \times 100$$

Equação 22 - Erro absoluto médio percentual do PV padrão. Fonte: o autor.

Onde, $EAMP_{pad}t$ é o erro absoluto médio percentual do PV padrão no mês t, $D_{pad}t$ são as transações do PV padrão no mês t e n é o número de erros de previsão do PV padrão.

Para os PVs padrão que possuem menos de doze erros de previsão, as medidas de precisão devem ser calculadas utilizando os n erros que ele possui.

Com isto finalizamos os parâmetros necessários à inicialização de todos os estabelecimentos, mesmo que não tenham dados suficientes para a inicialização. Veremos como fazer isto nos próximos itens.

5.3.2.4 Inclusão dos parâmetros iniciais na base para novos PVs

Os novos estabelecimentos não possuem dados. Todos os dados de inicialização serão proveniente do PV padrão correspondente ao ramo e ao Estado ao qual estabelecimento pertence. Para isto precisamos do cálculo dos parâmetros para os PVs padrão; Estado e o ramo de atividade ao qual pertence o estabelecimento.

Portanto, inicializamos estes através do seguinte procedimento:

1. Definir:

$$B_{0PV} = B_{pad}t$$

Equação 23 - Base para novos PVs. Fonte: o autor.

Onde, B_{0PV} é a base inicial do PV e $B_{pad}t$ é a base do PV padrão no último mês calculado.

$$T_{0PV} = T_{pad}t$$

Equação 24 - Tendência para novos PVs. Fonte: o autor.

Onde, T_{0PV} é a tendência inicial do PV e $T_{pad}t$ é a tendência do PV padrão no último mês calculado.

$$I_{0PVt} = I_{pad(t-12)} \text{ com } t \text{ variando de 1 a 12}$$

Equação 25 - Sazonalidade novos PVs. Fonte: o autor.

Onde, I_{0PVt} são os 12 índices de sazonalidade iniciais do PV e $I_{pad(t-12)}$ são os 12 últimos índices de sazonalidade do PV padrão.

5.3.2.5 Cálculo dos parâmetros iniciais os estabelecimentos com menos de doze meses de dados

Os estabelecimentos com menos de doze meses de transações utilizaram o padrão de sazonalidade do PV padrão correspondente. Portanto, para calcular esta inicialização necessitamos: os parâmetros para os PVs padrão; estado e o ramo de atividade ao qual pertence esse estabelecimento; transações mensais do estabelecimento, agrupadas de acordo com o material que elas utilizaram.

Esses estabelecimentos devem seguir o seguinte procedimento de inicialização:

1. A base inicial é a média das transações disponíveis do PV, depois de retirada a sazonalidade do PV padrão, a cada mês:

$$B_{0PV} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{D_{PVT}}{I_{padt}}}{n}$$

Equação 26 - Base inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.

Onde, B_{0PV} é a base inicial do PV, D_{PVT} são as transações feitas pelo PV no mês t , I_{padt} são os índices de sazonalidade do PV padrão no mês t e n é o número de meses em que esse estabelecimento possui dados de transações.

Se houver meses em que esse PV não fez transações, apesar de estar ativo, esses meses também devem ser considerados no cálculo, com o valor zero.

$$T_{0PV} = T_{pad} ant$$

Equação 27 - tendência inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.

Onde, T_{0PV} é a tendência inicial do PV e $T_{pad} ant$ é a tendência do PV padrão no mês anterior ao mês em que o PV se tornou ativo.

Desse modo, se o PV se tornou ativo em agosto de 2000, a sua tendência inicial será a tendência do PV padrão em julho de 2000.

$$I_{0_{PV}t} = I_{pad(t-12)} \text{ com } t \text{ variando de 1 a 12}$$

Equação 28 - Sazonalidade inicial para PVs com menos de 12 meses de dados. Fonte: o autor.

Onde, $I_{0_{PV}t}$ são os 12 índices de sazonalidade iniciais do PV e $I_{pad(t-12)}$ são os 12 últimos índices de sazonalidade do PV padrão.

5.3.2.6 Cálculo dos parâmetros iniciais para os estabelecimentos que possuem pelo menos doze meses de dados

A forma de inicialização destes estabelecimentos é bastante semelhante à inicialização do PV padrão. A diferença que achamos adequado aproveitar a tendência calculada para o PV padrão na inicialização destes estabelecimentos.

Os dados necessários para os cálculos são: as transações mensais dos 12 primeiros meses disponíveis do estabelecimento, agrupadas de acordo com o material que elas utilizaram e a tendência calculada para o PV padrão.

A inicialização é feita utilizando-se o seguinte cálculo.

1. Calcular a média de transações do PV no ano

$$M_{PV} = \frac{\sum_{t=1}^{12} D_{PVt}}{12}$$

Equação 29 - Média dos primeiros 12 meses de transações. Fonte: o autor.

Onde, M_{PV} é a média anual de transações do estabelecimento.

2. Calcular os I_{0t} , índices iniciais de sazonalidade, para cada mês do ano, dividindo-se as transações do PV a cada mês pela média do ano.

$$I_{0PVt} = \frac{D_{PVt}}{M_{PV}}$$

Equação 30 - Índice de sazonalidade dos para PVs com pelo menos 12 meses de dados.

Fonte: o autor.

Onde, I_{0PVt} é o índice inicial de sazonalidade do estabelecimento no mês t.

Da mesma forma que foi feito no PV padrão, nos meses em que as transações do estabelecimento forem zero ($D_{PVt} = 0$), os índices iniciais de sazonalidade nesses meses serão iguais a 1 ($I_{0PVt} = 1$).

Também para evitar que o modelo tenha um comportamento instável vamos fazer o seguinte: os PVs que tiveram uma média de menos uma certa quantidade média de transações por mês nos últimos doze meses, dez a princípio, terão seus índices iniciais de sazonalidade iniciados com $I_{0PVt} = 1$, para os doze meses de inicialização.

3. Definir:

$$B_{0PV} = M_{PV}$$

Equação 31 - Base inicial do PV com pelo menos 12 meses de dados. Fonte: o autor.

Onde, B_{0PV} é a base inicial do PV. Definir, também:

$$T_{0PV} = T_{padant}$$

Equação 32 - Tendência do PV com pelo meno 12 meses. Fonte: o autor.

Onde, T_{0PV} é a tendência inicial do PV e T_{padant} é a tendência do PV padrão no mês anterior ao mês em que o PV se tornou ativo.

Desse modo, se o PV se tornou ativo em agosto de 2000, a sua tendência inicial será a tendência do PV padrão em julho de 2000.

5.3.2.7 Cálculo dos parâmetros e das previsões para os PVs até o mês atual

O último passo da inicialização é o cálculo das previsões do mês de inicialização de cada PV até o mês atual. Para tanto utilizaremos: o cálculo dos parâmetros iniciais para os PVs; transações mensais, até o mês atual, de todos os PVs ativos agrupados de acordo com o material utilizado.

Segue-se o seguinte procedimento:

1. Utilizando as fórmulas abaixo, calcular os parâmetros B_{PVt} , T_{PVt} , I_{PVt} , P_{PVt} e e_{PVt} para todos os meses até o mês atual

$$B_{PVt} = \alpha * \left(\frac{D_{PVt}}{I_{PV(t-12)}} \right) + (1 - \alpha) * (B_{PV(t-1)} + T_{PV(t-1)})$$

$$T_{PVt} = \beta * (B_{PVt} - B_{PV(t-1)}) + (1 - \beta) * T_{PV(t-1)}$$

$$I_{PVt} = \gamma * \left(\frac{D_{PVt}}{B_{PVt}} \right) + (1 - \gamma) * I_{PV(t-12)}$$

$$P_{PVt} = (B_{PV(t-1)} + T_{PV(t-1)}) * I_{PV(t-12)}$$

$$e_{PVt} = D_{PVt} - P_{PVt}$$

Equação 33 - Equações para cálculo dos parâmetros de previsão até o mês atual. Fonte: o autor.

Onde, B_{PVt} é o valor da base do PV no mês t , α é a constante de suavizamento, β é a constante de suavizamento da tendência, γ é a constante de suavizamento da sazonalidade, I_{PVt} é o índice de sazonalidade do PV no mês t , T_{PVt} é o índice da tendência do PV no mês t , D_{PVt} são as transações feitas pelo PV no mês t , P_{PVt} é a quantidade de transações previstas para o PV no mês t e e_{PVt} é o erro de previsão do PV no mês t .

5.3.3 Cálculo das previsões dos PVs para os próximos doze meses

Uma vez finalizada a inicialização dos dados podemos fazer as previsões para os próximos 12 meses. Vamos precisar do cálculos dos parâmetros até o mês atual.

A cada início de mês, o modelo deve calcular as previsões de transações dos próximos 12 meses com base nos parâmetros calculados até o mês atual, através da seguinte fórmula:

$$P_{t+m} = (B_{PVt} + T_{PVt} * m) * I_{PV(t+12+m)}$$

Equação 34 - Previsão para os próximos meses. Fonte: o autor.

Onde, P_{t+m} é a previsão para o mês $t+m$, B_{PVt} é o valor da base do PV no mês t , T_{PVt} é o índice da tendência do PV no mês t , I_{PVt} é o índice de sazonalidade do PV no mês t e m são os meses de previsão.

Para termos uma visão do ciclo completo, faremos previsões para os próximos 12 meses, portanto m irá variar de 1 a 12.

5.3.4 Cálculo das medidas de precisão das previsões dos PVs

As medidas de precisão são fundamentais para avaliarmos os resultados obtidos pelo modelo. Desta forma, poderemos rever os parâmetros utilizados e localizar possíveis distorções causadas por grandes oscilações nos dados. Utilizaremos para este fim o cálculo dos parâmetros e das previsões para os estabelecimentos até o mês atual.

1. Calcular o erro médio de previsão dos doze últimos meses para o PV.

$$EM_{PVt} = \frac{\sum_{t=1}^{t-1} e_{PVt}}{n}$$

Equação 35 - Erro médio para previsão dos PVs. Fonte: o autor.

Onde, EM_{PVt} é o erro médio do PV no mês t , e_{PVt} é o erro de previsão do PV no mês t e n é o número de erros de previsão do PV.

2. Calcular o erro absoluto médio dos doze últimos meses para o PV.

$$EAM_{PVt} = \frac{\sum_{t=1}^{t-1} |e_{PVt}|}{n}$$

Equação 36 - Erro absoluto médio das previsões dos PVs. Fonte.: o autor.

Onde, EAM_{PVt} é o erro absoluto médio do PV no mês t , e_{PVt} é o erro de previsão do PV no mês t e n é o número de erros de previsão do PV.

3. Calcular o erro absoluto médio percentual dos doze últimos meses para o PV.

$$EAMP_{PVt} = \frac{EAM_{PVt}}{\sum_{t=1}^{t-1} D_{PVt}} \times 100$$

Equação 37 - Erro absoluto médio percentual da previsão do PV. Fonte: o autor.

Onde, $EAMP_{PVt}$ é o erro absoluto médio percentual do PV no mês t , D_{PVt} são as transações do PV no mês t e n é o número de erros de previsão do PV.

Para os estabelecimentos que possuem menos de doze erros de previsão, as medidas de precisão devem ser calculadas utilizando os n erros que ele possui.

A seguir podemos observar o gráfico resultante da implementação dos procedimentos de cálculos propostos.

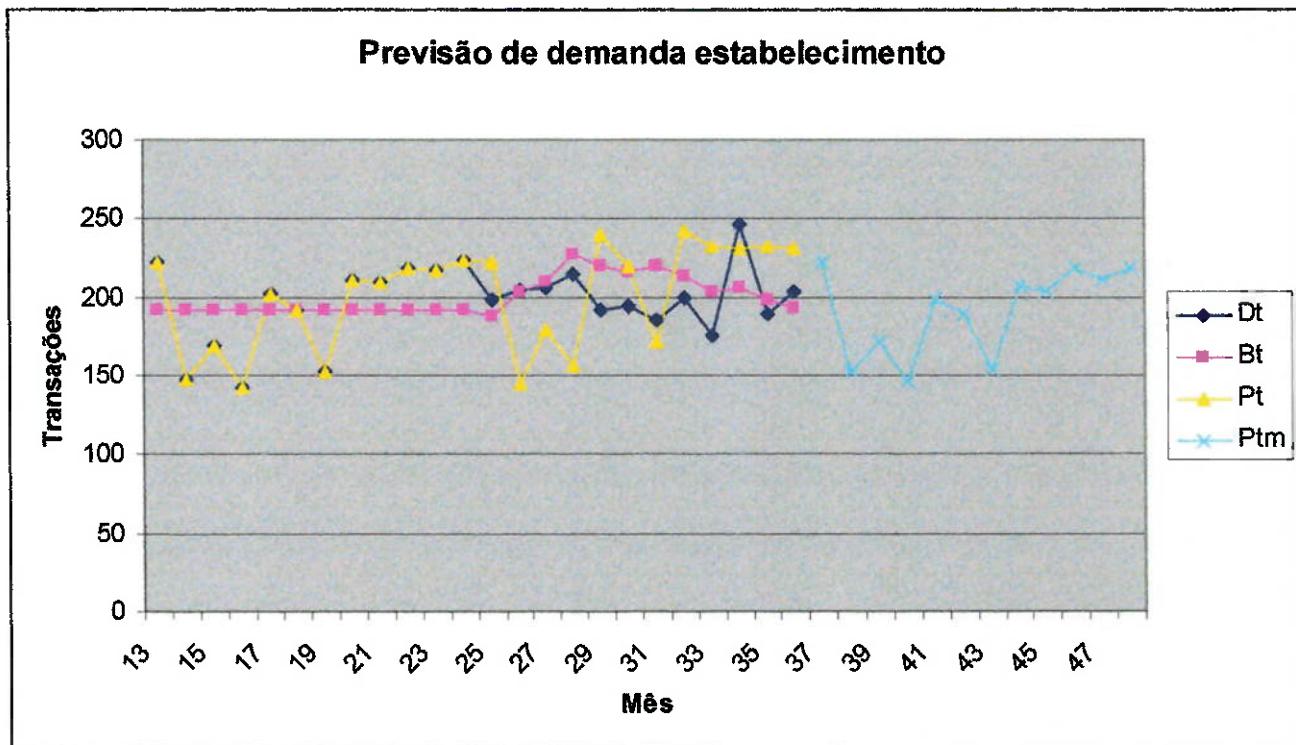


Figura 20 - Gráfico da previsão para os estabelecimentos. Fonte: o autor.

5.4 Estimativa das quantidades consumidas e previstas

As transações, tanto previstas, quanto realizadas, devem ser convertidas em quantidades de materiais. Aqui abordaremos como é feita esta conversão que é utilizada nas duas seguintes partes do modelo:

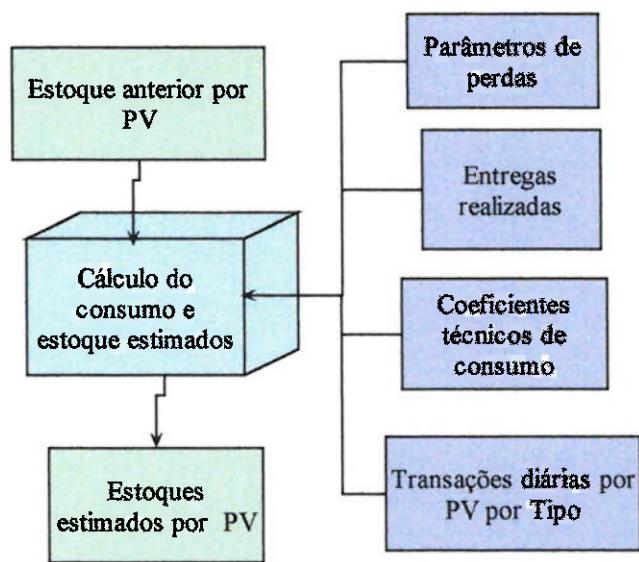


Figura 21 - Cálculo dos estoques estimados. Fonte: o autor.

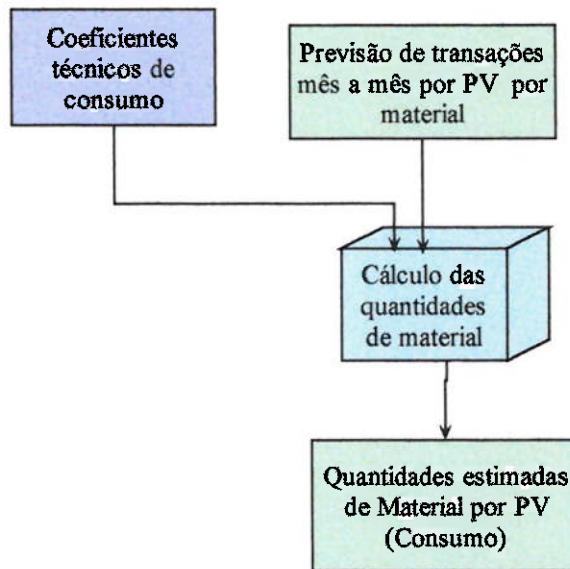


Figura 22 - Cálculo das quantidade previstas de material. Fonte: o autor.

5.4.1 Os coeficientes técnicos de consumo

Os coeficientes técnicos de consumo mostram quantas transações podem ser feitas com uma unidade de material.

Sendo assim, ele pode ser calculado pela fórmula:

$$\text{coef} = \frac{\text{trans. possíveis}}{\text{unid. material}}$$

Equação 38 - Coeficiente técnico de transações por unidade de material. Fonte: o autor.

Onde, *coef* ou *coef.padão* é o número de transações possíveis por unidade de material.

Este coeficiente varia dependendo do tipo de material. Por exemplo, em um formulário é possível fazer uma transação, já em uma bobina é possível realizar mais de uma centena de transações.

Os coeficientes são utilizados para calcular a quantidade de material utilizado.

Para tanto basta dividir o número de transações pelo coeficiente específico do material (transações por unidade de material). A seguir apresentamos o cálculo.

$$Q_t = \frac{P_t}{\text{coef}} \quad W(t-1) = \frac{D(t-1)}{\text{coef}}$$

Equação 39 - Quantidade de material calculada a partir da previsão e das transações realizadas. Fonte: o autor.

Onde, *Qt* é a quantidade prevista de material utilizado no mês *t*, *Pt* é o número previsto de transações no mês *t*, *W(t-1)* é a quantidade de material utilizado no mês *t-1* e *D(t-1)* é a quantidade de transações efetuadas no mês *t-1*.

A empresa já possui uma quantidade de transações possíveis padrão por material. Estes índices foram revisados durante o projeto.

5.4.2 Fator de perda de material

Os fatores de perda de material mostram a relação entre o número de transações que deixam de ser feitas, devido à perda de material, e o número de transações que podem ser feitas.

Sendo assim, ele pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$J = \frac{\text{coef.padrão} - \text{coef.real.}}{\text{coef.padrão}}$$

Equação 40 - Perda de material. Fonte: o autor.

J é o fator de perda de material, coef.padrão é o número de transações possíveis por unidade de material e coef.real. é o número de transações realizadas por unidade de material.

Os fatores de perda de material são utilizados para calcular a quantidade de material gasto a cada mês, dividindo-se as quantidades de material utilizado por (1-Fator de Perda).

$$V_t = \frac{Q_t}{1-J} \quad Y(t-1) = \frac{W(t-1)}{1-J}$$

Equação 41 - Cálculo material gasto. Fonte: o autor.

V_t é a quantidade prevista de material gasto no mês t e $Y(t-1)$ é a quantidade de material gasto no mês $t-1$.

Veremos com mais detalhes a perda juntamente com a formulação do lote econômico.

5.5 Lote econômico

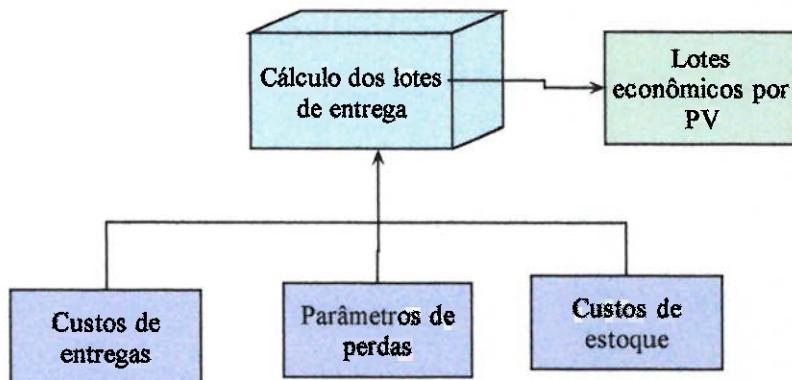


Figura 23 - Cálculo do lote econômico. Fonte: o autor.

O lote econômico é bastante influenciado se existe perda de material. Como o custo de perder uma unidade de material é muito maior que o custo de mantê-la em estoque temos que considerá-lo no momento de calcular o lote econômico a ser enviado ao estabelecimento.

A seguir vemos o gráfico de custos para um estabelecimento que tem as seguintes características:

- Demanda média de 2 bobinas por mês;
- Custo de entrega 3,00 mais 0,28 adicionais por kilo;
- Custo de cada bobina é 1,00;
- Não existe perda.

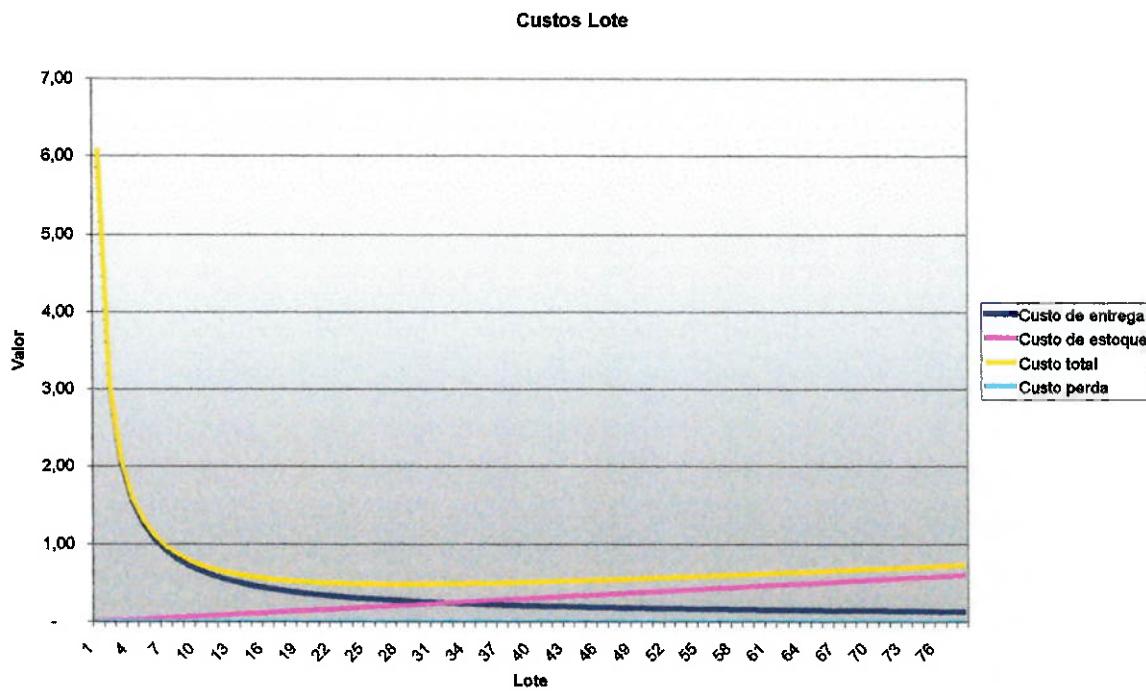


Figura 24 - Lote econômico sem perda. Fonte: o autor.

No gráfico podemos observar que o ponto de mínimo custo na curva de custo total está no lote de 28 bobinas, com um custo resultante de 0,58. Isto significa que o estoque dura 14 meses, o que é um grande período comparado com a média atual de 3 meses.

Suponhamos que este estabelecimento tenha perdido uma bobina. Como cada bobina tem um custo de 1,00, o custo passa de 0,58 para 1,58. Isto significa um aumento de 172% em relação ao custo sem perdas.

Agora, observemos o que ocorre com os custos quando acrescentamos uma perda fixa. A seguir vemos o gráfico de custos para um estabelecimento que tem as seguintes características:

- Demanda média de 2 bobinas por mês;
- Custo de entrega 3,00 mais 0,28 adicionais por kilo;
- Custo de cada bobina é 1,00;

- Perda fixa de 10% do lote.

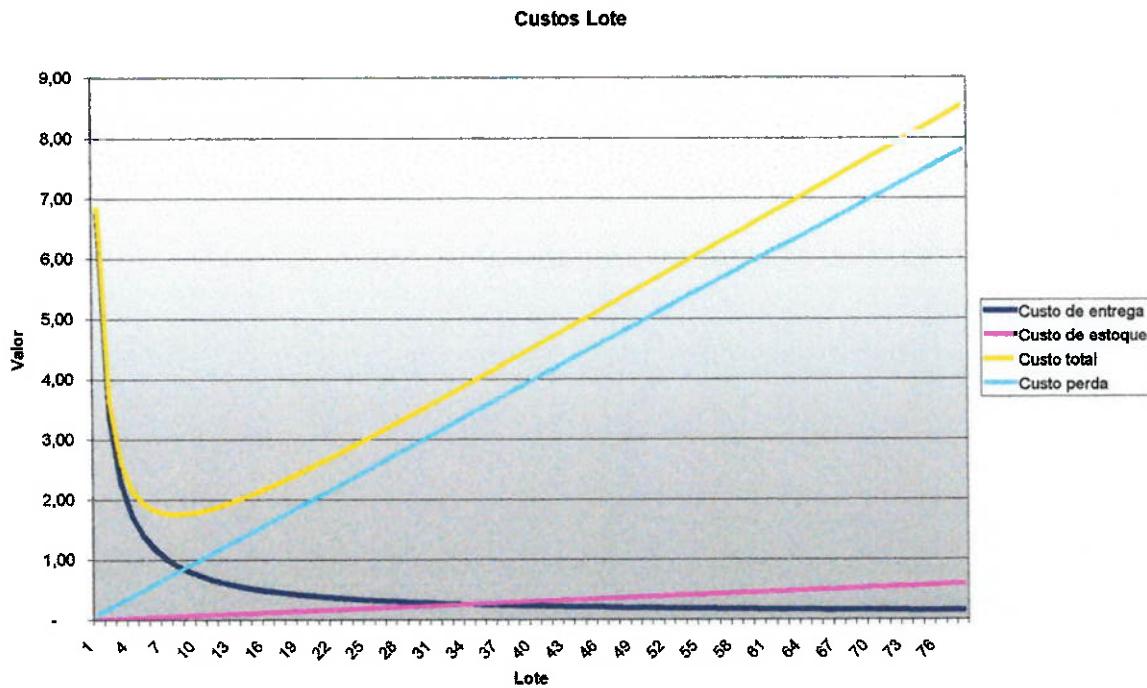


Figura 25 - Lote econômico com perdas. Fonte: o autor.

Vemos que a curva de perda tem grande influência na curva do custo total reduzindo consideravelmente o lote econômico. Este passa de 28 bobinas para apenas 8 bobinas, ou seja, o período médio de entrega passa de 14 meses para 3 meses. Portanto, temos que mensurar as perdas e analisar sua influência no lote a ser entregue aos estabelecimentos.

5.5.1 Modelo de perdas

Temos por hipótese que a taxa de perdas de materiais de venda é função do tamanho do lote entregue. Estamos buscando meios para estimar esta função e testar sua influência sobre a programação de entregas aos estabelecimentos. Para tanto, devemos construir um gráfico relacionando tamanho do lote e perdas.

$$\%Perda = f(Lote)$$

Vamos utilizar primeiramente os dados disponíveis na empresa visando a redução do custo do estudo. Utilizando como base do estudo o ano de 2000, necessitamos de uma tabela com as seguintes informações:

- Número do estabelecimento
- Tecnologia utilizada
- Transações realizadas
- Quantidade de Material enviado
- Lote médio enviado
- Desvio do lote enviado
- Quantidade de transações por unidade de material

Com estas informações podemos estimar a curva de perdas em função do tamanho do lote.

5.5.1.1 Escolha da amostra

Recebemos dois bancos de dados distintos:

- Entregas 2000;
- Transações realizadas em 1999 e 2000 separadas por tipo;
- Planilha com as mudanças de tecnologia no ano de 2000.

Destes bancos de dados estaremos selecionando os estabelecimentos conforme os seguintes critérios:

- Não mudaram de tecnologia POS em 2000. Ou seja, aqueles que em 2000 receberam material apenas para uma tecnologia.
- Transacionaram todos os meses do ano de 2000. Isto se deve ao fato de não termos os estoque iniciais e nem finais em cada estabelecimento.

Selecionando a amostra dentre 311.107 PVs na tabela de transações temos:

- 149.381 transacionaram em todos os meses de 2000;
- 14.750 trocaram de tecnologia;
- 113.635 transacionaram e receberam materiais;
- 101.087 transacionaram, receberam materiais e não trocaram de tecnologia.

A seguir vemos os materiais analisados e os seus respectivos tamanhos de amostra.

Material	Descrição Material	Universo	Amostra	% Amostra
4	Material 4	8.012	4.896	61%
5	Material 5	271.518	50.980	19%
10	Material 10	78.514	40.853	52%
14	Material 14	8.012	3.945	49%
17	Material 17	11.367	5.659	50%
18	Material 18	34.503	8.043	23%

Todas as amostras são bastante grandes em relação aos universos. A menor amostra é a do material 5. Este material representa apenas 6,23% das transações dos anos de 1999 e 2000, sendo que em grande parte dos estabelecimentos ele é utilizado apenas como contingência.

Entre os tipos que não estão dentro das informações recebidas, os mais freqüentes são resumo de venda e finalização. Será importante, em um futuro próximo, que estes sejam contabilizados para que um estudo detalhado possa ser realizado. Só assim pode-se saber o real impacto destas nos parâmetros estimados aqui.

5.5.1.2 Hipóteses adotadas

Para construirmos os gráficos temos que assumir a seguinte hipótese devido a falta da informação.

- A diferença entre o estoque no início do ano e do estoque no fim do ano para aqueles estabelecimentos que transacionaram em todos os meses do ano e não mudaram de tecnologia é desprezível.

5.5.1.3 Distribuição dos coeficientes de consumo

Montamos uma tabela com os seguintes campos, somando para o ano de 2000 e seguindo os critérios mencionados:

- PV
- Material
- Quantidade entregue
- Transações

5.5.1.4 Relação coeficientes e perdas

Utilizando os dados, calculamos os coeficientes dividindo-se o número de transações pela quantidade de material entregue para cada PV. A seguir vemos as médias, desvios, os coeficientes padrão e a perda média estimada de cada material.

Material	Descrição Material	Padrão	Media	Perda Média
4	Material 4	1	0,95	4,7%
18	Material 18	78	72,93	6,5%
10	Material 10	184	150,71	18,1%
17	Material 17	104	74,44	28,4%
14	Material 14	1000	713,51	28,6%
5	Material 5	1	0,53	46,8%

Para calcular a perda média estimada utilizamos a relação a seguir.

$$\% \text{PerdaMédia} = \frac{(\text{CoeficientePadrão} - \text{CoeficienteMédio})}{\text{CoeficientePadrão}}$$

Equação 42 - Cálculo da perda média. Fonte: o autor.

Podemos observar que os materiais podem ser divididos em três grupos conforme suas perdas médias. O gráfico a seguir ajuda-os a visualizar estes três grupos.

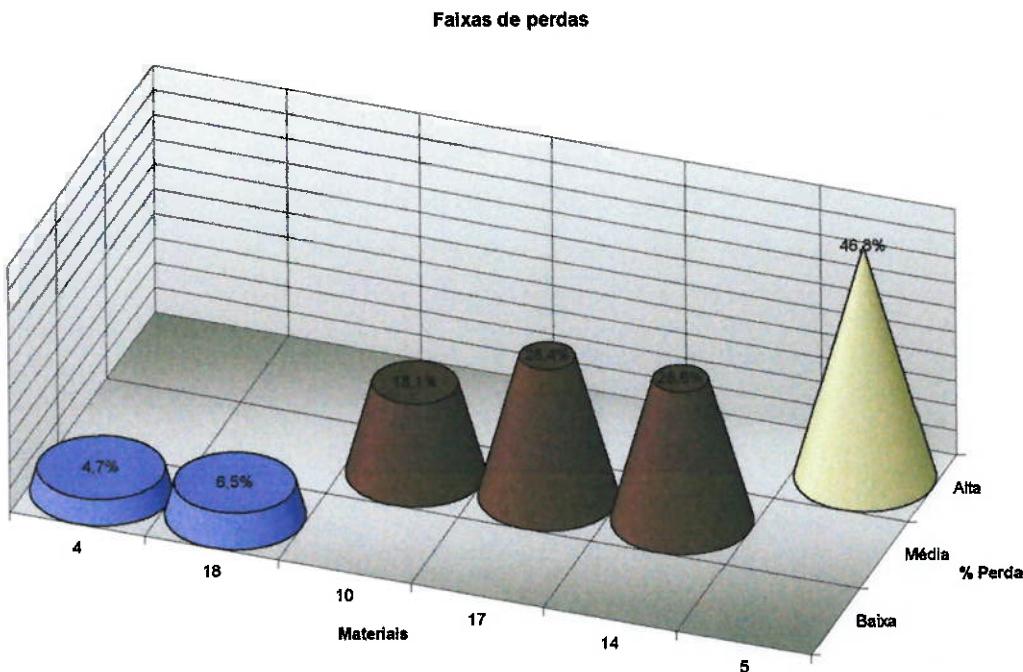


Figura 26 - Gráfico dos níveis de perda. Fonte: o autor

5.5.1.5 O modelo de perda adotado

A escolha do modelo de perda a ser utilizado para o cálculo do lote econômico deve seguir os seguintes princípios básicos:

- Simples para implementação computacional.
- Baixo tempo de processamento devido ao grande volume de dados a serem processados.
- Simples para compreensão e monitoramento por parte dos analistas de suprimentos.

A implementação computacional do lote pode ser feita de vários modos, porém sugerimos a criação de uma fórmula simples que não necessite de um algoritmo de otimização para calculá-la. Com isto estaremos contemplando os dois primeiros princípios apresentados.

O lote econômico é formado achando-se o ponto de mínimo na função de custo total adotada. Uma das parcelas desta função é a perda. Para chegarmos a uma fórmula para o lote a função de custos deve:

- Ser diferenciável, com função derivada definida e que possa ser igualada a zero.
- Possuir solução analítica através de funções implementáveis em *software* e que não necessite de algoritmos de cálculo numérico para encontrar a solução.

Testamos várias funções em relação aos princípios e critérios acima e chegamos a conclusão de que a que melhor representa os princípios acima e as análises é:

$$\%P = \text{Constante} = J$$

Equação 43 - Modelo de perda adotado. Fonte: o autor.

A função acima é uma aproximação simplificadora dos padrões de perda observados. Porém, se o novo sistema conseguir suprir os estabelecimentos de forma aproximadamente uniforme, os padrões observados tendem a se aproximar desta função.

A função de custo de perda resultante é uma reta crescente com origem no ponto zero. A seguir vemos a função custo de perda resultante.

$$C_p = L \cdot J \cdot C$$

Equação 44 - Custo de perda. Fonte: o autor.

Onde,

C_p = Custo da perda

L = Lote entregue

C = custo unitário do material

Esta função custo de perda resulta em uma função custo total que segue todos os princípios descritos anteriormente, inclusive o de facilidade de compreensão e controle. Os analistas de suprimentos podem facilmente simular diferentes cenários para estabelecimentos através de planilhas eletrônicas.

5.5.2 Lote Econômico de Entrega com Perdas e com Custo de Entrega Variável

Adotando os mesmos princípios demonstrados na teoria, vamos adaptar a fórmula do lote econômico a realidade da empresa. A primeira parcela que vamos acrescentar é a perda. A segunda parcela é o custo variável de entrega.

Suposições

1. A demanda mensal, o custo de oportunidade mensal da empresa, o custo unitário do material e o fator de perda podem ser estimados.
2. O nível médio de estoque para determinado material é a quantidade entregue dividida por 2. Isso supõe implicitamente que os materiais são usados a uma taxa uniforme dentro do mês.
3. O custo de entrega varia de acordo com uma função linear do tipo $F = a * L + b$

Definições de variáveis

M = demanda mensal para determinado produto (unidades por mês)

L_t = lote de material entregue (unidades por entrega)

H = custo financeiro para manter uma unidade em estoque durante um mês (R\$ por unidade por mês)

i = custo de oportunidade mensal da empresa (%a.m.)

C = custo unitário do material (R\$ por unidade)

F = custo de entrega do material (R\$ por entrega)

J = fator de perda (%)

CT = custo total mensal (R\$ por mês)

a = preço adicional de entrega por material (R\$ por unidade) = massa do material (kg por unidade) * preço adicional de entrega por kg (R\$ por kg)

b = custo fixo de entrega (R\$ por entrega)

Fórmulas de Custo

Custo de manutenção em estoque = Custo de oportunidade mensal * Custo de cada material = i * C

Custo mensal de manutenção em estoque = Nível médio de estoque (descontada a perda) * Custo de manutenção em estoque = $[Lt^*(1-J)/2]*i*C$

Custo mensal com perdas = Lote de material entregue * Fator de perda * Custo de cada material = Lt^*J*C

Custo mensal de entregas de materiais = Entregas por mês * Custo para fazer uma entrega = $[Mt/Lt^*(1-J)]*(a*Lt + b)$

Custo total mensal (CT) = Custo mensal de manutenção em estoque + Custo mensal de entregas de materiais + Custo mensal com perdas =

$$\frac{Lt}{2} * (1-J) * i * C + \frac{Mt}{Lt^*(1-J)} (a * Lt + b) + Lt * J * C$$

Derivação da Fórmula do Lote Econômico de Entrega

A quantidade ótima de entrega é encontrada definindo-se a derivada de CT em relação a L como igual a zero e resolvendo-se L:

1. A fórmula para CT é:

$$CT = \frac{Lt}{2} * (1-J) * i * C + \frac{Mt}{Lt^*(1-J)} (a * Lt + b) + Lt * J * C$$

2. A derivada de CT em relação a Lt é:

$$\frac{d(CT)}{d(Lt)} = \frac{(1-J)*i*C}{2} + \left[\frac{-Mt(a*Lt + b)}{Lt^2(1-J)} + \frac{Mt*a}{Lt(1-J)} \right] + J*C$$

3. Definindo a derivada de CT como igual a zero e resolvendo Lt, temos:

$$\frac{(1-J)*i*C}{2} + \left[\frac{-Mt*Lt*a + Mt*Lt*a - Mt*b}{Lt^2(1-J)} \right] + J*C = 0$$

$$\frac{Mt*b}{Lt^2(1-J)} = \frac{(1-J)*i*C}{2} + J*C$$

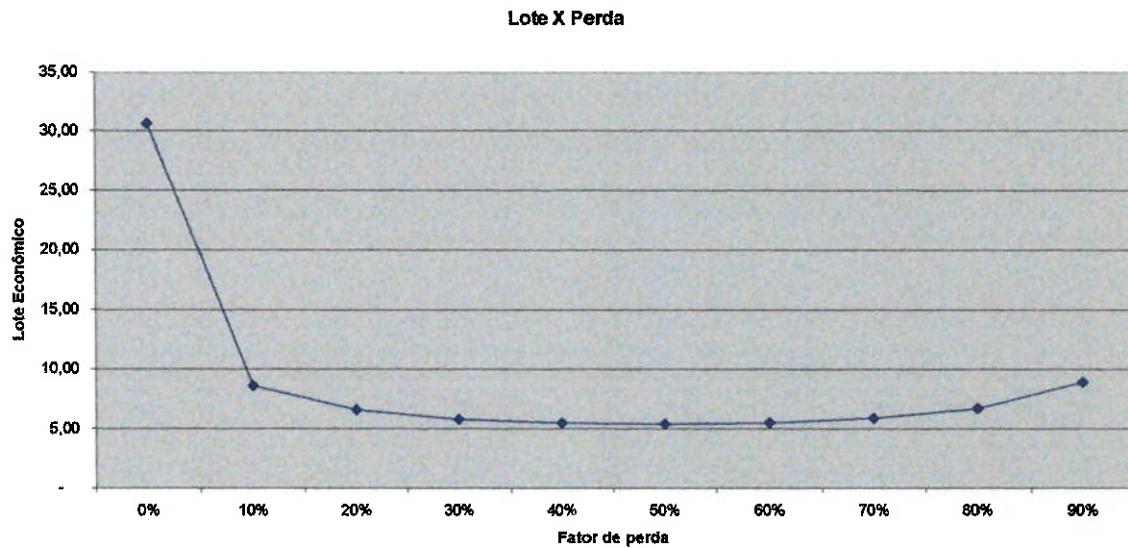
$$Lt^2 = \frac{2Mt*b}{(1-J)*[(1-J)*i*C + 2*C]}$$

$$Lt = \sqrt{\frac{2Mt*b}{(1-J)*[(1-J)*i*C + 2*C]}}$$

Assim, mostramos que o lote econômico não depende da variável a (preço adicional de entrega por material).

5.5.2.1 Efeito do fator de perda no tamanho do lote

No gráfico a seguir, vemos o efeito do fator de perda no tamanho do lote. Como se pode ver, de 0 a 10% de perda, o tamanho do lote tem uma queda vertiginosa. De 10 a 50%, uma queda suave e de 50 a 90%, um crescimento também suave.



5.6 Determinação da quantidade a ser entregue

A EMPRESA possui kits compostos por quantidades padrão de materiais, as quais devemos respeitar.

A quantidade de material a ser entregue será calculada pelo lote econômico. Se esse lote for múltiplo da quantidade de material que compõem o kit, essa deve ser a quantidade a ser entregue.

Se o lote econômico não for múltiplo da quantidade de material que compõem o kit, o sistema deve aproximar a quantidade a ser entregue para cima até o próximo múltiplo inteiro.

Além disso, essa quantidade a ser entregue deve ser sempre maior ou igual à quantidade prevista de material gasto nesse mês para garantir que a distribuidora não tenha que fazer mais de uma entrega para um mesmo PV dentro de um mês. Esta lógica foi adotada como política para aumentar o tempo disponível para planejamento das entregas.

5.7 Ponto de pedido

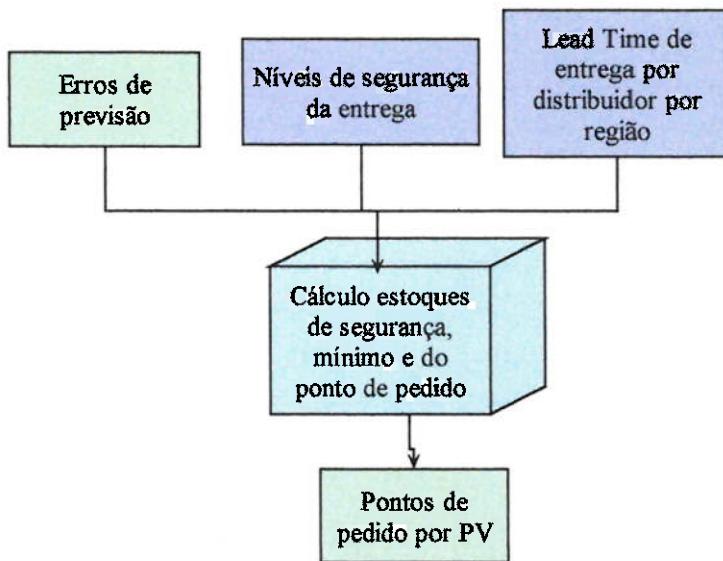


Figura 27 - Cálculo dos pontos de pedido. Fonte: o autor.

5.7.1 Cálculo do estoque de segurança dos PVs

Como mostrado na teoria utilizamos os erros das previsões para calcular o estoque de segurança, conforme o seguinte procedimento.

1. Calcular o desvio padrão dos erros mensais de previsão dos últimos doze meses.

$$\sigma_{pPVt} = \sqrt{\frac{\sum_{t=12}^{t-1} (et - \bar{et})^2}{11}}$$

Equação 45 - Desvio dos erros de previsão. Fonte: o autor.

Onde, σ_{pPVt} é o desvio padrão do mês t para cada PV, et é o erro calculado no mês t e \bar{et} é a média dos erros dos últimos doze meses. O denominador 11 é o número de graus de liberdade dos dados do último ano.

2. Calcular o estoque de segurança, multiplicando o desvio calculado pelo nível de serviço do PV e dividindo pelo coeficiente (transações por unidade de material)

$$E_{SPVt} = \frac{NS_{PV} * \sigma_{pPVt}}{coef \cdot (1 - J)}$$

Equação 46 - Estojo de segurança. Fonte: o autor.

Onde, E_{SPVt} é o estoque de segurança do mês t para cada PV, J é o fator de perda de material e NS_{PV} é o nível de serviço do PV.

5.7.2 Cálculo do estoque mínimo dos estabelecimentos.

O estoque mínimo é função do tempo de ressuprimento. Como a EMPRESA possui um contrato com multas em casos de atrasos e o modelo irá antecipar-se no mínimo 20 dias à necessidade de ressuprimento, vamos assumir que o tempo de ressuprimento é fixo para cada par região material.

1. Calcular as previsões de material utilizado a cada mês, dividindo-se a previsão de transações de cada material pelo seu coeficiente (transações por unidade de material)

$$Qt = \frac{Pt}{coef}$$

Equação 47 - Quantidade prevista de material utilizado. Fonte: o autor.

Onde, Qt é a quantidade prevista de material utilizado no mês t.

2. Calcular as previsões de material gasto (incluindo a perda) a cada mês, dividindo-se a previsão de material utilizado a cada mês por $(1 - \text{Fator de Perda})$

$$V_t = \frac{Qt}{1-J}$$

Equação 48 - Material gasto. Fonte: o autor.

Onde, V_t é o quantidade prevista de material gasto no mês t e J é o fator de perda de material.

3. Calcular o estoque mínimo, demanda durante o tempo de ressuprimento, dividindo-se a previsão de material gasto no mês seguinte pelo número de dias do mês e multiplicando pelo tempo de ressuprimento.

$$E(\min)_{PVt} = \frac{V_{(t+1)} * LT_{PV}}{n^{\circ} \text{ dias}}$$

Equação 49 - Estoque mínimo. Fonte: o autor.

Onde, LT_{PV} é o tempo de ressuprimento (número de dias que a distribuidora leva para entregar material nesse PV) e n° dias é o número de dias do mês t

5.7.3 Cálculo do ponto de pedido dos PVs

O ponto de pedido do mês é calculado somando o estoque mínimo com o estoque de segurança desse mês

$$PP_{PVt} = E(\min)_{PVt} + Es_{PVt}$$

Equação 50 - Ponto de pedido. Fonte: o autor.

Onde, PP_{PVt} é o ponto de pedido do mês t .

5.8 Controle dos estoques dos estabelecimentos

O planejamento de entrega depende do controle de estoque que é feito em cada um dos estabelecimentos. A figura a seguir ilustra o controle de estoque.

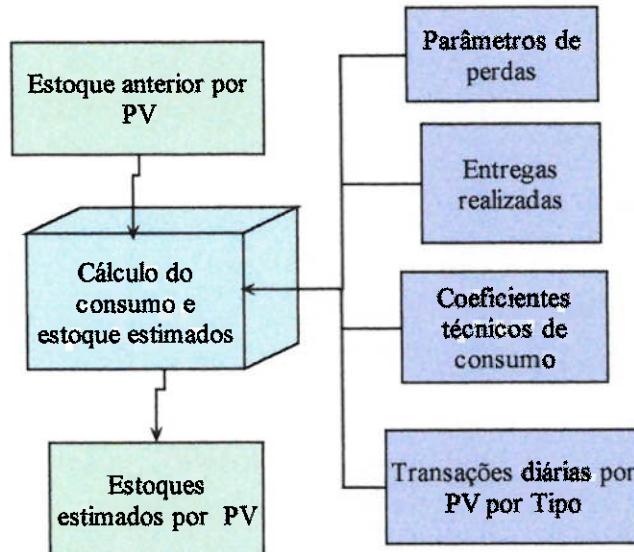


Figura 28 - Controle do estoque dos estabelecimentos. Fonte: o autor.

Este controle de estoque será feito em duas fases: diariamente e mensalmente. Vejamos o procedimento de cálculo para cada uma das dois controles.

5.8.1 Controle diário de estoque

Esse controle deve ser atualizado no início de cada dia, com os dados das transações efetuadas no dia anterior.

1. Calcular a quantidade de material utilizado no dia anterior, dividindo-se a quantidade de transações efetuadas pelo seu coeficiente (transações por unidade de material)

$$W(t-1) = \frac{D(t-1)}{\text{coef}}$$

Equação 51 - Cálculo do material utilizado. Fonte: o autor.

Onde, $W(t-1)$ é a quantidade de material utilizado no dia $t-1$ e $D(t-1)$ é a quantidade de transações efetuadas no dia $t-1$.

2. Calcular a quantidade de material gasto (incluindo a perda) no dia anterior, dividindo-se a quantidade de material utilizado no dia anterior por $(1 - \text{Fator de Perda})$

$$Y(t-1) = \frac{W(t-1)}{1-J}$$

Equação 52 - Cálculo do material gasto. Fonte: o autor.

Onde, $Y(t-1)$ é a quantidade de material gasto no dia $t-1$ e J é o fator de perda de material.

3. O estoque final do dia anterior é igual ao estoque inicial menos a quantidade gasta mais a quantidade entregue

$$E_{PVf}(t-1) = E_{PVi}(t-1) - Y(t-1) + R(t-1)$$

Equação 53 - Estoque final do dia anterior. Fonte: o autor.

Onde, $R(t-1)$ é a quantidade de material entregue no dia $t-1$.

4. O estoque inicial do dia atual é igual ao estoque final do dia anterior

$$E_{PVit} = E_{PVf}(t-1)$$

Equação 54 - Estoque inicial do dia. Fonte: o autor.

5. Se o estoque resultante no final do dia for menor que o ponto de pedido (se $E_{PVft} < PP_{PV} t$), um pedido de entrega emergencial deve ser disparado e o departamento de suprimentos deve ser notificado.

5.8.2 Controle mensal de estoque

Esse controle deve ser atualizado no início de cada mês, com os dados das transações efetuadas no mês anterior, utilizando-se as transações efetuadas no mês anterior, o estoque inicial no primeiro mês de previsão, e o fator de perda de material (%).

1. Calcular a quantidade de material utilizado no mês anterior, dividindo-se a quantidade de transações efetuadas pelo seu coeficiente (transações por unidade de material)

$$W(t-1) = \frac{D(t-1)}{\text{coef}}$$

Equação 55 - Material utilizado no mês. Fonte: o autor.

Onde, $W(t-1)$ é a quantidade de material utilizado no mês $t-1$ e $D(t-1)$ é a quantidade de transações efetuadas no mês $t-1$

2. Calcular a quantidade de material gasto (incluindo a perda) no mês anterior, dividindo-se a quantidade de material utilizado no mês anterior por $(1 - \text{Fator de Perda})$

$$Y(t-1) = \frac{W(t-1)}{1 - J}$$

Equação 56 - Material gasto no mês. Fonte: o autor.

Onde, $Y(t-1)$ é a quantidade de material gasto no mês $t-1$ e J é o fator de perda de material

3. O estoque final do mês anterior é igual ao estoque inicial menos a quantidade gasta mais a quantidade entregue

$$E_{PVf}(t-1) = E_{PVi}(t-1) - Y(t-1) + R(t-1)$$

Equação 57 - Cálculo do estoque final mensal. Fonte: o autor.

Onde, $R(t-1)$ é a quantidade de material entregue no mês $t-1$.

4. O estoque inicial do mês atual é igual ao estoque final do mês anterior

$$E_{PVi}(t) = E_{PVf}(t-1)$$

Equação 58 - Estoque inicial do próximo mês. Fonte: o autor.

5.9 Planejamento de entregas

No início de cada mês, verificar se a diferença entre o estoque inicial e as quantidades previstas de material gasto para os próximos dois meses é maior que o ponto de pedido daquele mês (se $[E_{PVi}(t) - Vt - V(t+1)] > PP_{Pvt}$). Se for maior, não é necessário fazer entregas nesse mês. Se for menor, deve haver entrega até o final deste mês.

A quantidade de material a ser entregue será calculada pelo lote econômico. Se esse lote for múltiplo da quantidade de material que compõem o kit (atualmente 6 ou 10, dependendo do material), essa deve ser a quantidade a ser entregue. Se o lote econômico não for múltiplo da quantidade de material que compõem o kit, o sistema deve aproximar a quantidade a ser entregue para cima até o próximo múltiplo inteiro. Além disso, essa quantidade a ser entregue deve ser sempre maior ou igual à quantidade prevista de material gasto nesse mês ($X_{Pvt} \geq Vt$) para garantir que a distribuidora não tenha que fazer mais de uma entrega para um mesmo PV dentro de um mês.

É importante observar que não deve ser disparada nova entrega para o mesmo material se já houver algum em aberto. Assim que a entrega for confirmada, o sistema deverá recalcular as entregas subsequentes.

6 Conclusão

A curto prazo o modelo deve ser implementado na empresa através da criação de um sistema de informações contemplando todos os requisitos apresentados neste trabalho.

Quando o sistema for implementado, existirão vários casos de previsões instáveis, negativas ou com erros muito altos. Pelo que foi simulado até o momento estes casos são aproximadamente 2% dos pares estabelecimento x material. O sistema deve possuir mecanismos que permitam o controle e análise adequados do modelo, tornando-o mais estável.

Esta será uma fase difícil onde os analistas de suprimentos deverão se adaptar a uma nova forma de trabalhar. Os problemas vão acontecer, mas o modelo possibilita antecipá-los de forma a solucioná-los antes que aconteçam. Hoje acontece exatamente o contrário.

Um vez que o modelo esteja estabilizado, a atenção dos analistas de suprimentos deve se voltar para o lado de fora da empresa. Os grandes benefícios estarão nas distribuidoras, onde hoje se localiza grande parte dos problemas.

Se as ditribuidoras utilizarem as informação antecipadas que receberão do modelo, muitos problemas poderão ser resolvidos em pouco tempo e com pouco investimento.

A EMPRESA deve atualizar seus equipamentos para registro das linhas impressas, já que estas são um estimador da demanda muito mais preciso. Isto diminuirá os níveis de incerteza, diminuindo os investimentos em estoques.

A longo prazo a EMPRESA deve avaliar os resultados obtidos e planejar a implementação de metodologias mais elaboradas. Vimos que a perda tem grande influência no lote econômico a ser entregue para cada estabelecimento e, portanto, deve ser estudada continuamente pelo departamento de

suprimentos. Também vimos que a política atual de entregas esta abastecendo os estabelecimentos de forma bastante desigual, causando grandes distorções nos padrões de perdas e grande variabilidade nos coeficientes técnicos de consumo.

A fim de simplificar os padrões encontrados, a função de perda foi adotada como uma constante. Esta função é mais prática para ser implementada computacionalmente e pode ser facilmente compreendida e monitorada pelos analistas de suprimentos.

O trabalho sobre as perdas não pode parar. Com a implantação do sistema estes padrões devem ser revisados continuamente garantindo que os estabelecimentos estejam sempre abastecidos para transacionar ao mínimo custo.

Devemos lembrar que não abordamos no trabalho a questão do custo de falta de material. Este é considerado empiricamente pela empresa um dos maiores custos envolvidos no processo de suprimentos. Porém, a mensuração deste custo não é tão simples quanto outros que fazem parte do fluxo de caixa da empresa.

Este é um típico custo de oportunidade: a empresa deixa de faturar se existe falta de material. Vemos que a administração da empresa coloca empiricamente que este custo é bastante alto no momento que foi estabelecido como objetivo do projeto manter o estabelecimento sempre abastecido.

7 Bibliografia

BUFFA, ELWOOD SPENCER; **Modern production/operations management**; Edição 7th ed. New York : Wiley, 1983.

BALLOU, RONALD H.; **Logística empresarial: transaportes, administração de materiais e distribuição física**; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo, Atlas, 1993.

BOWERSOX, DONALD J.; **Logistical management: The integrated supply chain process**. US, The McGraw-Hill Companies, Inc. 1996.

CORREA, HENRIQUE L.; **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação**. 4 ed. São Paulo: Ganesi Corêa & Associados: Atlas, 2001.

COSTA, REINALDO PACHECO DA; **Proposta de modelo e implementação de um sistema de apoio à decisão em pequenas indústrias.**; São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) apresentada a EPUSP.

HAX, ARNOLDO C.; **Production and inventory management**. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall, 1984.

MANKIW, N. GREGORY; **Principles of economics**; International Thomson Publishing, 1998.

SANTORO, MIGUEL; **Apostila do curso. PRO-177 - Planejamento, Programação e Controle da Produção**. EPUSP; 1995.

SLACK, NIGEL; **Administração da produção**. Revisão técnica Henrique Correa, Irineu Ganesi. São Paulo, Atlas, 1996.

VOLLMANN, THOMAS E.; **Operations management,a systems model-building approach**; Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co., 1973

WEATHERFORD, LAWRENCE R. **Introductory Management Science: decision modeling with spreadsheets**. – 5th edition. Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, 1998