

**LUIZ OTAVIO ZAVALLONI PROTO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE  
PREVISÃO DE DEMANDA DE MÉDIO E LONGO  
PRAZO PARA EMPRESA DO SETOR  
CIMENTEIRO**

Trabalho de Formatura apresentado  
à Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do Diploma de  
Engenheiro de Produção – Área Mecânica

**São Paulo  
2002**

*X 2002  
946 d*

**LUIZ OTAVIO ZAVALLONI PROTO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE  
PREVISÃO DE DEMANDA DE MÉDIO E LONGO  
PRAZO PARA EMPRESA DO SETOR  
CIMENTEIRO**

Trabalho de Formatura apresentado  
à Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do Diploma de  
Engenheiro de Produção – Área Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

**São Paulo  
2002**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais pelo apoio e dedicação antes e durante este seis anos de Poli e pelos valores passados durante toda a minha vida.

Ao Professor Marco Mesquita pelos ensinamentos, incentivos e, principalmente, pela cobrança, que foram fundamentais na execução deste trabalho.

Aos meus chefes (atual e antigo) Maurício Bandeira e André Leitão, pelas orientações, oportunidades e pela formação oferecida, fundamentais no alcance da minha maior maturidade profissional.

Aos eternos amigos da Poli: Produteiros, Ratos Molhados, Atletiqueiros, Sungas e avulsos.

Aos meus irmãos e família por terem me aguentado durante vinte e três anos.

Aos funcionários e professores da Escola Politécnica e da USP que me auxiliaram no meu desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos antigos que em momento algum foram esquecidos.

Ao pessoal do forró que eu conheci nos últimos dois anos e aos amigos recentes do samba.

À todos na Holcim que contribuíram para o meu aprendizado e na realização deste trabalho.

Ao meu pai (de novo) por ter me ajudado ativamente na revisão ortográfica deste trabalho.

# SUMÁRIO

## RESUMO

## ABSTRACT

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA .....	2
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO E DO MERCADO .....	4
1.2.1 <i>Caracterização do produto.</i> .....	4
1.2.2 <i>Caracterização do mercado</i> .....	6
1.3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	8
1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO NAS EMPRESAS .....	15
2.2 PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE PARA LONGO PRAZO .....	18
2.2.1 <i>Estimativa da capacidade atual.</i> .....	18
2.2.2 <i>Previsão da demanda futura.</i> .....	20
2.2.3 <i>Avaliação das alternativas futuras de mudança de capacidade</i> .....	21
2.2.4 <i>Análise das alternativas</i> .....	23
2.3 PREVISÃO DE DEMANDA .....	23
2.3.1 <i>Notação Utilizada</i> .....	24
2.3.2 <i>Medidas de Precisão da Previsão de Demanda</i> .....	25
2.3.3 <i>Previsão Quantitativa</i> .....	28
2.3.3.1 <i>Processo de Previsão</i> .....	28
2.3.3.2 <i>Métodos de Projeção ou Séries Temporais</i> .....	33
2.3.3.3 <i>Métodos de Previsão Explicativos ou Causais</i> .....	44
2.3.4 <i>Previsão Qualitativa</i> .....	58
2.3.4.1 <i>Previsões de Vendedores</i> .....	60
2.3.4.2 <i>Opiniões de Executivos</i> .....	60
2.3.4.3 <i>Método Delphi</i> .....	61
<b>3. DESCRIÇÃO DO MODELO ATUAL .....</b>	<b>62</b>
3.1 METODOLOGIA .....	63
3.1.1 <i>Identificação das variáveis independentes de poder explicativo</i> .....	64
3.1.2 <i>Seleção das variáveis com maior correlação com a demanda</i> .....	65
3.1.3 <i>Identificação das variáveis independentes auto-correlacionadas</i> .....	65
3.1.4 <i>Escolha das variáveis relevantes</i> .....	66
3.1.5 <i>Desenvolvimento de Diferentes Modelos</i> .....	66
3.1.6 <i>Escolha do Melhor Modelo do Método Atual</i> .....	67
3.1.7 <i>Simulação de Resultados</i> .....	68
3.1.8 <i>Análise dos Resultados e Alterações</i> .....	68
3.2 CRÍTICAS E POSSÍVEIS MELHORIAS .....	70
<b>4. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PREVISÃO .....</b>	<b>72</b>

4.1 MODELOS DE PROJEÇÃO (SÉRIE TEMPORAL).....	73
4.1.1 <i>Métodos de Suavização Exponencial</i> .....	74
4.2 MODELOS CAUSAIS.....	78
4.2.1 <i>Coleta de Dados</i> .....	78
4.2.2 <i>Métodos utilizados</i> .....	80
4.2.3 <i>Aplicação do método</i> .....	82
4.2.4 <i>Projeção das variáveis explicativas</i> .....	91
<b>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DOS MELHORES MODELOS</b>	<b>94</b>
5.1 MODELOS TEMPORAIS.....	95
5.2 MODELOS CAUSAIS.....	96
5.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS.....	98
5.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	100
<b>6. CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **Resumo**

Este trabalho propõe um modelo de previsão de demanda de médio/longo prazo para o planejamento da capacidade de uma empresa produtora de cimento. Este tipo de estudo, previsão de demanda, é uma etapa fundamental no processo de elaboração do Plano de Negócios da empresa. Os principais métodos de previsão e projeção encontrados na literatura, tais como método de suavização exponencial e de regressão, foram considerados. Pretende-se, neste trabalho, desenvolver um modelo de previsão mais preciso do que os que são atualmente utilizados pela empresa. Espera-se, a partir da melhoria do processo de previsão de demanda, poder atuar diretamente no planejamento da utilização da capacidade instalada da empresa.

## **Abstract**

This essay proposes a medium/long range demand forecasting model for capacity planning of a cement producer enterprise. Such study, long range demand forecasting, is an important element of the Business Plan elaboration process. The main forecast methods, such as exponential smoothing and regression methods, were considered. The goal of this essay is to develop a forecasting model more accurate than the current used ones. By this forecasting process improvement, it is expected to be able to act in the capacity planning.

# 1. Introdução

---

### 1. Introdução

A empresa na qual foi realizado o trabalho é a Holcim (Brasil) S.A (doravante denominada EMPRESA), subsidiária da suíça Holcim (MATRIZ) que é atualmente a segunda maior produtora de cimento do mundo.

Neste capítulo será feita uma breve apresentação da empresa, da indústria cimenteira brasileira e do mercado de cimento. Em seguida serão apresentados o problema central tratado, os objetivos, justificativas e a relevância do tema.

#### **1.1 Apresentação da empresa**

O Grupo Holderbank iniciou suas atividades no Brasil em 1951 com a incorporação da primeira subsidiária brasileira, a Sociedade Extrativa de Calcário Ltda (Sacomex). Em 1953, o Grupo ingressou no mercado brasileiro de cimento com a aquisição da Fábrica Ipanema, em Sorocaba (SP).

Em setembro de 1973, foi concluída a construção de outra fábrica, em Pedro Leopoldo (MG), e colocada em funcionamento sob o nome de Cimento Nacional de Minas S/A (Ciminas).

Em 1994, após o lançamento do Plano Real e com as novas expectativas de crescimento da economia e da demanda de cimento, o Grupo Holderbank deu início a projetos de expansão no país. Em 1996, a Ciminas adquiriu o Grupo Cimento Paraíso; adquiriu também a empresa Concretex e a Pedreiras Cantareira. Neste ano, a Ciminas passou a se chamar “Holdercim” Brasil S.A..

Em de março de 2002, a “Holdercim” adota oficialmente a estratégia da MATRIZ de unificação dos nomes das empresas locais sob o nome mundial: Holcim. Assim, a Holcim no Brasil passa a ser reconhecida como uma empresa que faz parte de um grupo maior, com presença em mais de 70 países e mais de 47 mil funcionários.

## Capítulo 1 - Introdução

A EMPRESA fechou o ano de 2001 como 4<sup>a</sup> maior grupo cimenteiro no Brasil em volume de produção. Possui atuação destacada na região Sudeste, onde é a 2<sup>a</sup> maior produtora. Possui 3 fábricas de cimento, localizadas em Pedro Leopoldo (MG), Barroso (MG) e Cantagalo (RJ) além de uma estação de moagem localizada em Vitória (ES) (Figura 1.1). Até o final de 2001, a empresa contava com uma outra estação de moagem em Sorocaba (SP), recentemente desativada. Conta ainda com cinco terminais de cimento (dois em MG, dois em SP e um no RJ), seis depósitos e um Centro Tecnológico (em Santo André) onde se concentram as atividades de pesquisa, desenvolvimento e testes do grupo.

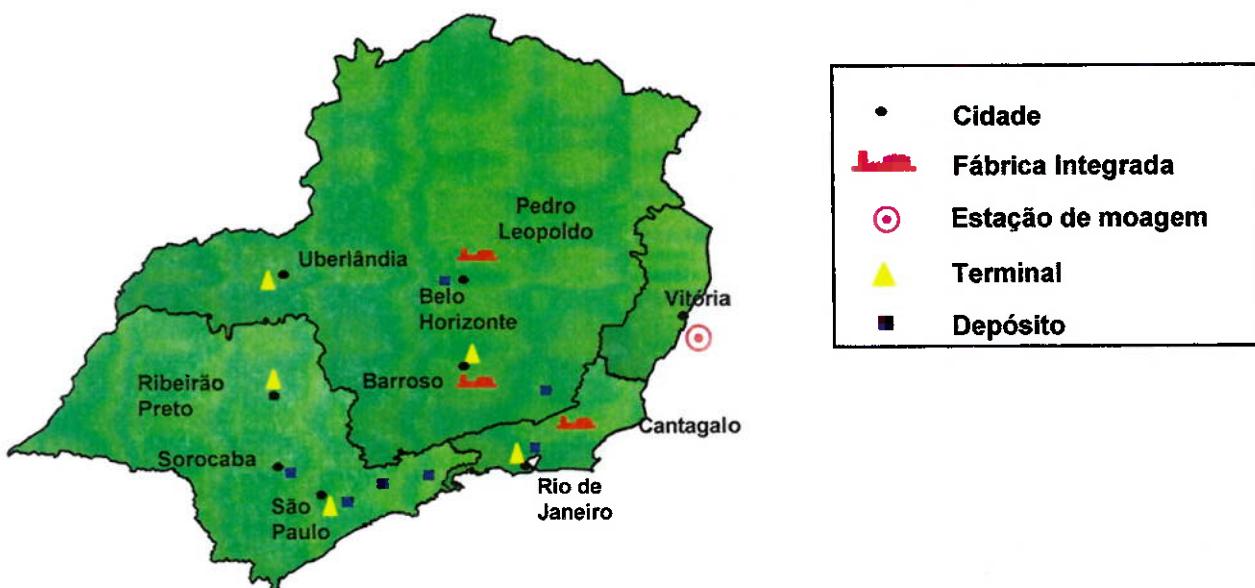


Figura 1.1 Localização das Unidades Holcim  
Fonte: EMPRESA

As marcas de cimento produzidas pela EMPRESA são: Alvorada, Ciminas, Barroso e Paraíso. Além de estar presente no segmento de negócios cimento, a empresa atua em segmentos correlacionados através de suas controladas (Concretex na divisão concreto, Pedreiras Cantareira na divisão agregados e Resotec na divisão de combustíveis alternativos) e coligadas (MBT e Valemassa na divisão argamassas).

## Capítulo 1 - Introdução

### 1.2 Caracterização do produto e do mercado

#### 1.2.1 Caracterização do produto

O cimento é um produto com característica de “commodity”, ou seja, pouca diferenciação, competição por custos e grandes volumes de produção. Além disso é um produto de baixo valor agregado e de elevado peso, o que faz com que o mercado de atuação das empresas esteja limitado às regiões próximas às fábricas, em função dos elevados custos de frete. O transporte de cimento a longas distâncias só é economicamente viável se feito por via marítima/fluvial.

O fluxo de produção do cimento pode ser representado da seguinte forma:

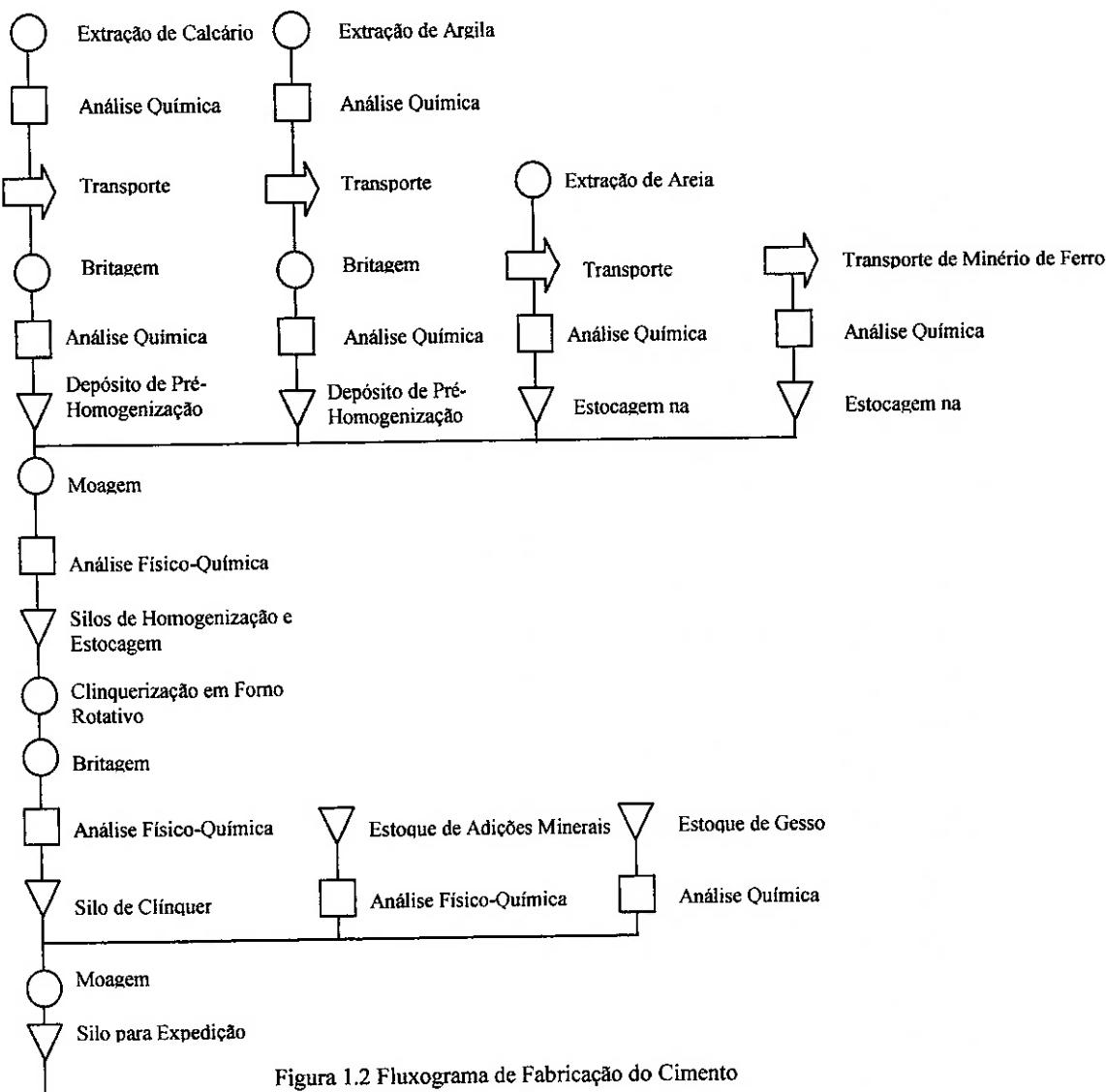


Figura 1.2 Fluxograma de Fabricação do Cimento  
Elaborado pelo Autor

## Capítulo 1 - Introdução

O cimento é fabricado com 75-80% de calcário e 20-25% de argila, ou por outros componentes que contenham os mesmos componentes químicos. A matéria prima é tirada das minas, britada e misturada. Esta mistura, adicionada de areia e minério de ferro, é colocada em um moinho de matéria prima e posteriormente cozidas em um forno rotativo (um cilindro de aço revestido, de até 7.5m de diâmetro e até 230m de comprimento, que gira em torno de um eixo ligeiramente inclinado em relação à horizontal), a temperatura de 1450°C. Esta mistura, durante o cozimento, sofre uma série de reações químicas e, terminado o processo, passa a se chamar clínquer. Adiciona-se gesso, que tem a função de retardar o endurecimento do clínquer, e, em geral, outros aditivos minerais (os mais comuns no Brasil são escórias de alto-forno de siderúrgica ou cinzas volantes, geradas a partir da queima do carvão mineral). Finalmente o clínquer é reduzido a pó em um moinho. O material resultante do processo já é cimento. Este é estocado em silos e estão prontos para a expedição a granel; no caso do cimento ensacado, é necessário mais o processo de ensacamento. Fábricas Integradas são as que possuem fornos e moinhos; Unidades de Moagem não possuem fornos, logo o clínquer provem sempre de outra unidade fabril.

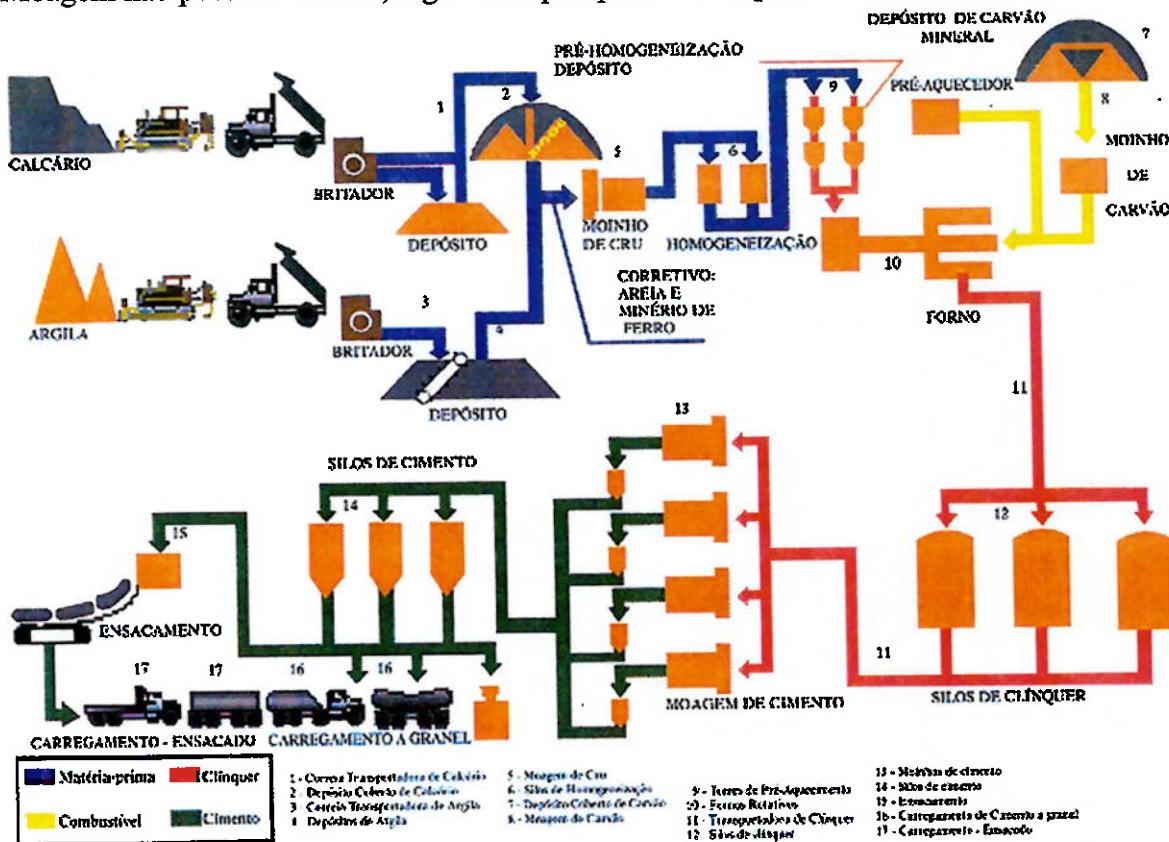


Figura 1.3 Processo de Fabricação do Cimento  
Fonte: EMPRESA

## Capítulo 1 - Introdução

---

### 1.2.2 Caracterização do mercado

O consumo de cimento é fortemente correlacionado com variáveis macroeconômicas. No Brasil, uma grande parcela do consumo é referente aos chamados Consumidores Particulares que são pessoas físicas ou pequenos empreiteiros (Tabela 1.1). Isso explica por que o consumo de cimento é fortemente atrelado à renda/poder de compra da população.

Tabela 1.1 Segmentação do Consumo de Cimento

<b>SEGMENTOS DE CONSUMO</b>	<b>%</b>
<b>CONSUMIDORES PARTICULARES</b>	<b>42,5%</b>
Pequeno Consumidor Individual	27,3%
Pedreiro/Pequeno Empreiteiro	15,2%
<b>CONSUMIDORES FINAIS</b>	<b>29,3%</b>
Construtoras/Empreiteiros	14,7%
Empresas Privadas	7,7%
Órgão Públicos	2,9%
Prefeituras	3,1%
Cooperativas/Mutirões	0,9%
<b>CONSUMIDORES INDUSTRIAIS</b>	<b>28,4%</b>
Concreteiras	13,3%
Artefatos	6,8%
Pré-Moldados	4,5%
Fibrocimento	2,4%
Argamassas Prontas	1,4%
<b>TOTAL</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Toledo & Associados. 2001

O mercado de cimento no Brasil cresceu a uma taxa anual média de aproximadamente 4 % ao ano na década de 90. Nos últimos dois anos, entretanto, verificou-se uma retração na demanda em nível nacional.

## Capítulo 1 - Introdução

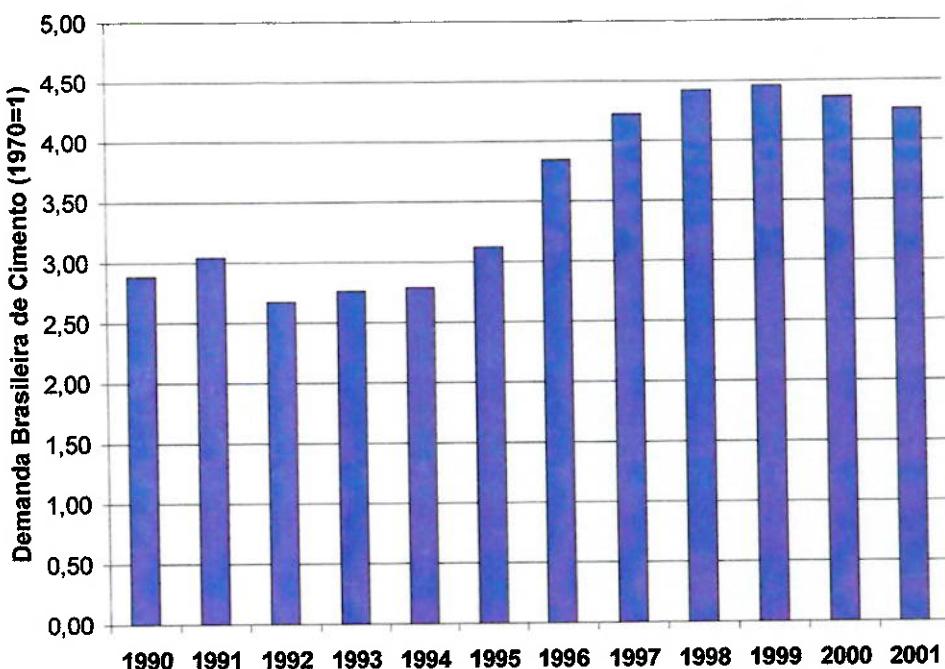


Figura 1.4 Mercado Brasileiro de Cimento

Fonte: SNIC

A produção é bastante concentrada, sendo que quase 90% está nas mãos de seis Grupos. A EMPRESA tem presença mais concentrada na região Sudeste, onde é a segunda maior produtora; no Brasil, a EMPRESA terminou o ano de 2001 como 4º maior grupo em volumes de produção/vendas.

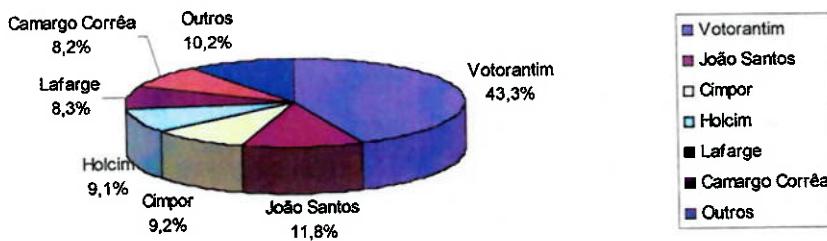


Figura 1.5 Participações de Mercado no Brasil

Fonte: SNIC, 2001

A Votorantim Cimentos é a empresa líder em volume de produção no Brasil. Sendo uma das subsidiárias do Grupo Votorantim, grupo de capital nacional que atua em vários outros segmentos de negócios (Agroindústria, Celulose & Papel e Energia, entre outros), a

## Capítulo 1 - Introdução

---

Votorantim Cimentos tem forte presença em todas as regiões do país e conta com 16 unidades fabris (fábricas integradas e estações de moagem) distribuídas em 12 estados que somam uma capacidade de produção de 25 milhões de toneladas por ano.

O grupo João Santos, também de capital nacional, tem presença mais destacada nas regiões Norte e Nordeste.

O Grupo Cimpor, de capital português, está mais presente nas regiões Nordeste e Sul; conta com 6 unidades fabris que somam uma capacidade de produção de aproximadamente 6 milhões de toneladas por ano.

O Grupo francês Lafarge, apesar de não ter uma presença muito forte no Brasil, é atualmente o maior produtor mundial de cimento. Tem capacidade instalada no país de 3 milhões de tonelada por ano.

### ***1.3 Apresentação do problema***

Anualmente é elaborado pela EMPRESA um Plano Estratégico com horizonte de 10 anos. Seguindo um padrão determinado pela MATRIZ, as análises feitas no Plano Estratégico podem ser divididas da seguinte forma:

- Ambiente Político Econômico: são feitas análises gerais da situação político-econômica do país e do setor em que a EMPRESA está inserida (Construção Civil), analisando qualitativamente as perspectivas para os próximos 10 anos;
- Análise do Mercado: neste capítulo do Plano Estratégico, analisa-se a evolução dos mercados de cada segmento de negócios em que a EMPRESA atua; o foco de análise é a demanda, ou seja, quem são os principais clientes, evolução da participação de cada tipo de cliente na demanda, qual a participação de cada região do país na demanda dos produtos, evolução de preços, etc;
- Análise da Indústria: neste capítulo, o foco da análise, ao contrário do anterior, é a oferta. São feitas análises dos concorrentes (participação de mercado no Brasil e nas

## Capítulo 1 - Introdução

---

- regiões, utilização das capacidades, forças e fraquezas) e do ambiente externo (riscos e oportunidades que a indústria apresenta);
- Análise Interna da Empresa: são identificados os aspectos competitivos mais importantes de caráter interno (forças e fraquezas da EMPRESA, ou seja, quais os principais recursos e competências existentes na mesma que representam uma vantagem ou desvantagem frente aos concorrentes); são caracterizados os principais clientes e produtos da EMPRESA; é feita uma análise econômico-financeira da EMPRESA;
  - Alinhamento Estratégico e Objetivos de Longo Prazo: com a consolidação das análises anteriores são traçados cenários prováveis para o desenvolvimento do ambiente de negócios para o prazo de 10 anos, determina-se qual a posição a empresa ocupar neste ambiente esperado. Esta posição desejada é definida a partir dos Objetivos de Longo Prazo definidos pela EMPRESA.

Todas as análises acima descritas, exceto a do ambiente político-econômico, são feitas para todos os segmentos de negócio em que a empresa atua (cimento, concreto, agregados, argamassa e combustíveis alternativos).

Determinados os Objetivos de Longo Prazo, são elaborados os Planos Funcionais para cada segmento de negócios e para as áreas administrativa, financeira e RH. No Plano Funcional, que é uma extensão do Plano Estratégico e tem horizonte de análise de 5 anos, identificam-se quais Objetivos de Longo Prazo têm implicação direta no segmento de negócio ou na área analisada. São determinados então os Indicadores de “Performance”, que serão as formas de mensuração dos Objetivos Estratégicos. Para cada Indicador é estabelecida uma Meta.

Nos Planos Funcionais, ao contrário do Plano Estratégico em que a análise era predominantemente qualitativa, são feitas projeções de evolução dos mercados e das vendas, do mix de produtos da EMPRESA, etc.

Uma das tarefas presente nos Planos Funcionais é o planejamento da capacidade produtiva da EMPRESA isto é, dada a capacidade atual e a evolução do volume de vendas projetada

## Capítulo 1 - Introdução

---

para os próximos 5 anos, avalia-se a necessidade de manutenção, expansão ou redução de capacidade. Nesta etapa do processo a previsão de demanda se faz necessária.

A etapa seguinte é a elaboração do Plano Financeiro para cada segmento de negócios. Como o próprio nome diz, nesta etapa são feitas as projeções financeiras: receitas, custos (de distribuição e de produção), despesas, depreciação, etc.

Pela forma que o processo de planejamento é realizado na EMPRESA, pode-se comprovar que a previsão de demanda é necessária basicamente em dois momentos: no planejamento da capacidade produtiva e nas projeções financeiras (Figura 1.6).

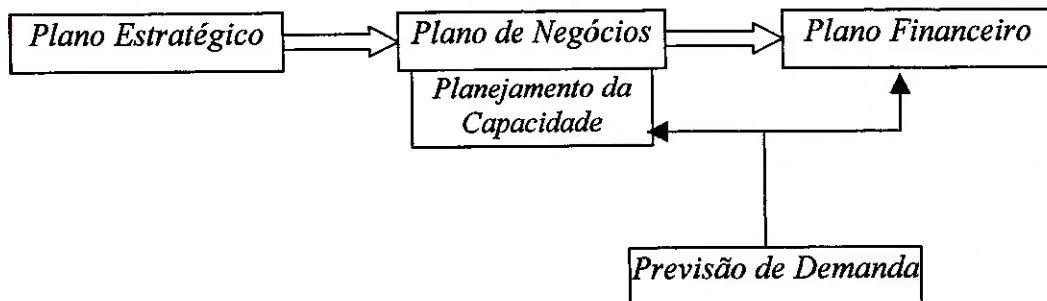


Figura 1.6 Inserção da Previsão de Demanda no processo de Planejamento  
Elaborado pelo Autor

A elaboração tanto do Plano Estratégico quanto do Plano de Negócios tem como principais objetivos assegurar um entendimento claro e comum da situação atual da EMPRESA e explorar o futuro de médio e longo prazo para que se gerem ações coordenadas com a estratégia do Grupo, mobilizando toda a EMPRESA para se atingir um objetivo comum.

A atividade de previsão da evolução anual do mercado brasileiro de cimento para os prazos do referido Plano (5 anos) é responsabilidade da área de Planejamento Estratégico da EMPRESA. Na indústria cimenteira, decisões de expansão ou redução de capacidade tem grande impacto no desempenho econômico, o que acaba por refletir no posicionamento de mercado de uma determinada empresa. Um bom planejamento da capacidade no médio/longo prazo é extremamente necessário uma vez que uma das dimensões competitivas mais importantes na indústria é a dimensão custo. Além disso, a previsão de

## Capítulo 1 - Introdução

---

demandas é um dado de entrada para praticamente todas as áreas da empresa, sendo necessário às mesmas para que elas elaborarem seus Plano Funcionais e Financeiros. Nota-se então a grande importância que esta informação tem dentro do contexto da elaboração dos Planos de Negócios.

Até recentemente, as estimativas de mercado eram feitas por uma consultoria contratada pela EMPRESA. No ano de 2001 a área de Planejamento Estratégico desenvolveu um modelo estatístico de previsão que foi utilizado no Plano de Negócios 2001-2005. No ano presente, o autor já desenvolveu alguns modelos de previsão para o Plano de Negócios 2002-2006. Estes modelos (desenvolvidos na EMPRESA e fornecido da consultoria) apresentam algumas deficiências:

- Sabe-se que o modelo de previsão usado pela consultoria é um modelo econométrico; entretanto a EMPRESA só tem acesso aos resultados que o modelo fornece, e não ao modelo em si, descaracterizando-o, portanto, como ferramenta de análise da demanda. Além disso o modelo foi desenvolvido por uma pessoa que não trabalha mais na consultoria, sendo assim uma “caixa preta” até mesmo para o próprio fornecedor do sistema;
- O modelo explicativo de regressão múltipla desenvolvido em 2001 na EMPRESA, apesar de apresentar bons resultados, não foi construído com um rigor estatístico muito grande o que pode vir a comprometer a validade dos resultados do mesmo;
- O modelo desenvolvido pelo autor em 2002 apresentou resultados satisfatórios mas também peca pela falta de rigor estatístico e o processo de desenvolvimento do modelo foi falho em alguns aspectos (estes tópicos serão melhor explorados no Capítulo 3, quando este modelo será apresentado).

É de grande interesse da área de Planejamento que os modelos sejam refinados, não apenas para preencher as lacunas existentes nos modelos atualmente disponíveis, mas também para que se desenvolvam competências internas para a previsão de demanda e planejamento da produção/capacidade.

### **1.4 Objetivos do Trabalho**

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo estatístico de previsão de demanda para se estimar a evolução do mercado brasileiro de cimento para um prazo de 5 anos, que forneça subsídios para o planejamento de capacidade da EMPRESA. Este modelo deve superar os modelos atualmente utilizados.

Não se pretende, neste trabalho, abordar o planejamento de capacidade em si, que faz parte do processo de planejamento estratégico dentro da EMPRESA em função do prazo de realização do trabalho e da extensa abrangência do assunto.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

Como delineamento do trabalho, são agora apresentados os conteúdos dos próximos capítulos:

- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: serão apresentados os principais métodos de previsão de demanda, tópicos relacionados ao planejamento estratégico empresarial e à análise de capacidade dentro do contexto do planejamento estratégico;
- Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual: será feita uma descrição do modelos de previsão de demanda desenvolvido pelo autor para uso no Plano de Negócios 2002-2006. Será descrito o processo de desenvolvimento do modelo, abordando-se cada etapa do processo. Os resultados do modelo serão apresentados e, no final, serão feitas críticas ao modelo e ao processo de desenvolvimento do mesmo, levantando seus pontos fortes e fracos (possíveis focos de melhoria);
- Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão: serão confrontadas alternativas de métodos de previsão e, com base nos critérios que serão apresentados, definir-se-á o método mais adequado. Nesta etapa serão feitas a coleta de dados e a calibração do modelo escolhido;

## Capítulo 1 - Introdução

---

- Capítulo 5 – Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos: definidos e implementados os métodos utilizados para a solução do problema, confrontaremos os resultados do modelo desenvolvido com os objetivos previamente estabelecidos. Será feita também uma comparação entre os resultados do modelo desenvolvido com o modelo atualmente utilizado pela EMPRESA;
- Capítulo 6 – Conclusões e Possíveis Desdobramentos: neste capítulo é feita uma síntese do trabalho, uma avaliação geral dos resultados, destacando seus pontos forte e fracos, e sugestões de possíveis melhorias e desenvolvimentos Futuros;

## **2. Revisão Bibliográfica**

---

## 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, serão revistos tópicos relacionados ao planejamento estratégico dentro das empresas e, em particular, o planejamento da capacidade para médio/longo prazo. Estes dois itens não serão abordados com um grande nível de detalhe em função de sua vasta extensão e por não ser o foco principal deste trabalho.

Serão, então, apresentados os modelos de previsão de demanda mais conhecidos. Serão feitas breves descrições dos métodos qualitativos; uma descrição mais aprofundada dos métodos quantitativos de projeção (também chamados de modelos de séries temporais) e de previsão (modelos explicativos ou causais) será feita.

### 2.1 O Planejamento Estratégico nas Empresas

Segundo ANSOFF et al. (1987) o Planejamento Estratégico compreende a análise racional das oportunidades oferecidas pelo meio, dos pontos fortes e fracos das empresas e da escolha de um modo de compatibilizar a estratégica entre dois extremos, para que se possa satisfazer do melhor modo possível os objetivos da empresa.

Numa corporação, podemos elencar como principais atividades do Planejamento Estratégico:

- Definir o rumo dos negócios da organização.
- Preconizar o tipo de arranjo econômico e humano necessário, e a natureza das contribuições não-econômicas pretendidas para os seus proprietários e demais grupos de interesse.
- Definir os segmentos de negócios em que a empresa vai atuar (consequentemente define-se com os quais segmentos a companhia irá rivalizar), preferentemente na

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

direção que focalize os recursos para conduzir competências distintas nas vantagens competitivas.

O sistema de Planejamento Estratégico, segundo HAX & MAJLUF (1984), representa uma postura cuja essência é organizar, de maneira disciplinada, as maiores tarefas da empresa e encaminhá-las para manter uma eficiência operacional nos seus negócios e guiar a organização para um futuro melhor e inovador. Dentro do sistema de Planejamento Estratégico podem ser identificados três níveis conceituais de hierarquia:

- Nível Corporativo - descrito como uma necessidade de direcionar o modo de compartilhar recursos e incumbências, respectivamente fortalecedores e constrangedores da formulação das estratégias de mercado.
- Nível de Negócios - aqui são tratadas, pelos administradores, as questões mais detalhadas pertinentes às opções estratégicas de segmentação de mercado dos produtos.
- Nível Funcional - estas estratégias não são sempre consolidadas pelas exigências da demanda surgida pela implantação dos negócios da empresa, mas igualmente pela imposição de direções estratégicas legítimas que delimitam suas características nesse negócio singular, equacionando os problemas específicos de cada uma das áreas funcionais: Marketing, Produção, Finanças, Pesquisa e Desenvolvimento, Recursos Humanos, etc.

De acordo com o método proposto por HAX & MAJLUF (1984), o processo formal de Planejamento Estratégico apresenta 12 passos distintos:

- (1) Diagnóstico da Corporação – filosofia empresarial, missão corporativa e identificação das Unidades Estratégicas de Negócios (UEN's).
- (2) Postura Estratégica e Guias para o Planejamento: pressões estratégicas, objetivos de performance e planejamento de desafios.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

(3) Diagnóstico do Negócio: o escopo e identificação dos segmentos produto/mercado, e dos relacionamentos para a efetividade das propostas, destacando a análise da missão de cada um dos empreendimentos.

(4) Formulação da Estratégia de Negócios e Programas Amplos de Ação: considerando as variáveis não-controladas e as competências internas na administração do processo de planejamento empreendedor.

(5) Formulação da Estratégia Funcional: participação no planejamento de negócios, concorrência ou não-concorrência para os propósitos estratégicos de negócios e programas amplos de ação.

(6) Consolidação das Estratégias de Negócios e Funcionais - procura atender determinados itens:

- resolução das questões existentes entre os níveis funcionais e de negócios;
- equilíbrio no portfólio da empresa, atendendo aos negócios de rendimento de curto, médio e longo prazos, as tendências de risco e retorno dos investimentos;
- definição da viabilidade dos fundos estratégicos para o máximo crescimento sustentável;
- avaliação preliminar dos propósitos dos programas de ação e definição das prioridades de alocação de recursos.

(7) Definição e Avaliação de Programas: as ações específicas para o nível de negócios.

(8) Definição e Avaliação de Programas: as ações específicas para o nível funcional.

(9) Alocação de Recursos e Definições de Medidas de Performance: voltado para o controle administrativo, mediante os seguintes procedimentos:

- coleta e classificação das informações provenientes das UEN's, e das unidades funcionais;
- análise da coerência entre o papel estratégico assumido pelas UEN's e as unidades funcionais, e as requisições de fundos;

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

- análise dos indicadores econômicos para avaliar o potencial dos programas propostos;
- alocação final de recursos no início do exercício do plano estratégico;
- desenvolvimento de medidas de desempenho para controlar e monitorar as programações amplas e específicas referentes às estratégias de negócios e funcionais, no curto e longo prazos.

(10) Orçamento no Nível de Negócios

(11) Orçamento no Nível Funcional.

(12) Orçamentos Consolidados: pela aprovação dos fundos estratégicos e operacionais.

A Figura 2.1 mostra as inter-relações entre os passos acima descritos e os identifica quanto ao nível hierárquico de planejamento a que pertencem.

Níveis Hierárquicos do Planejamento	Revisões Periódicas		Revisão Anual		
	Condicionadores Estruturais	Formulação da Estratégia	Programação Estratégica	Orçamento Estratégico e Operacional	
<b>Corporativo</b>	1 →	→ 2 ↗ 6	→ ↘ 9	→ ↘ ↗ 12	
		↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑	
<b>Negócio</b>	3 →	→→ 4 ↗	↘ 7 ↗	↘ 10 ↗	
		↑	↑	↑	
<b>Funcional</b>		↓	↓	↓	
		5	8	11	

Figura 2.1 Processo Formal de Planejamento Estratégico  
Adaptado de HAX & MAJLUF (1984)

Acompanhando a descrição dos passos na Figura 2.1, têm-se as responsabilidades pelas decisões estratégicas distribuídas pelos níveis hierárquicos, não ficando sob a responsabilidade de apenas um executivo, característica esta encontrada nas empresas de

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

menor porte que, além de concentrarem os dados estratégicos, agrupam outras tarefas, especialmente as do nível funcional.

### **2.2 Planejamento de Capacidade para Longo Prazo**

O Planejamento da utilização de capacidade é de extrema importância nas empresas, em especial as de capital intensivo, pois envolvem decisões estratégicas de longo prazo que devem levar em consideração tanto aspectos operacionais (logística, PPCP, etc.) quanto aspectos financeiros (Retorno sobre o Capital Investido) além de aspectos pouco quantificáveis mas de extrema relevância quando estamos tratando de grandes indústrias (impacto na sociedade e no mercado de trabalho, relacionamento com os concorrentes e com o governo, etc). Decisões de expansão de capacidade, em geral, são bastante significativas no que diz respeito à quantidade de capital envolvido e, se forem tomadas em momentos inadequados, podem colocar em risco a saúde econômico-financeira ou até mesmo a sobrevivência da empresa. Decisões de desinvestimento em capacidade (fechamento ou venda de unidades) podem produzir um impacto social bastante elevado além poderem representar a perda de posicionamento frente à concorrência.

As atividades necessárias ao planejamento da capacidade de longo prazo são:

- Estimar a capacidade atual
- Prever a demanda futura de produtos e serviços e avaliar seu impacto na demanda por capacidade
- Avaliar as alternativas futuras de mudança de capacidade
- Análise das alternativas

#### **2.2.1 Estimativa da capacidade atual**

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Quando tratamos de empresas que produzem um único produto ou produtos homogêneos, a medição de capacidade é mais simples. Quando tratamos de empresas com um mix não constante de produtos a medição fica mais difícil, portanto é adequado se adotar uma unidade agregada de capacidade que converta para a mesma base os índices de produção de diferentes produtos (esta base pode ser \$, ou peso, p.e.).

No caso de medições de capacidade para serviços, o mais adequado é a utilização de capacidades de entrada.

### 2.2.2 Previsão da demanda futura

Previsões de demanda de longo prazo como orientadores de investimento em capacidade devem cobrir um período longo (de 5 a 20 anos ou mais, dependendo do segmento onde a empresa atua). A grande dificuldade de se fazer este tipo de previsão é que mudanças conjunturais e eventos político-econômicos e demográficos, só para citar alguns exemplos, podem afetar fortemente estas previsões e invalidar as análises feitas com base nas mesmas.

Uma questão que deve ser considerada no planejamento da capacidade é o ciclo de vida do produto. Conforme o produto passa por suas diferentes fases do ciclo de vida (introdução, crescimento, maturidade e declínio) as capacidades de produção também devem mudar.

Existem basicamente quatro passos para a previsão da necessidade de capacidade de produção:

- Previsão do tamanho do mercado (demanda total do produto/serviço) para o prazo desejado
- Estimativa da fatia de mercado futura da empresa
- Demanda estimada para a empresa (mercado X fatia de mercado da empresa)
- Conversão da demanda estimada em necessidade de capacidade

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

A capacidade a ser fornecida no futuro, por uma série de motivos, dentre eles disponibilidade de capital, incerteza nas previsões e necessidade de priorização de algumas dimensões competitivas, não será necessariamente igual à demanda estimada. Por estes mesmos motivos, em alguns casos é necessário se estabelecer uma capacidade contingencial (adicional) de produção para permitir: atendimento à demanda caso ela seja maior que o esperado ou caso haja picos de demanda, redução de custos de produção, flexibilidade de produtos e volumes, manutenção da qualidade do produto.

Outro ponto importante que deve ser considerado em relação à expansão de capacidade é a expectativa de acréscimo de capacidade dos concorrentes. PORTER (1991) defende que uma das alternativas neste caso são as estratégias preemptivas que significam apossar-se rapidamente da maior parte do mercado, expandindo a capacidade antes dos concorrentes, a fim de desencoraja-los a expandir a capacidade. Um das restrições desta estratégia é que a demanda futura deve ser conhecida com um alto grau de certeza, pois se a demanda prevista não se concretizar a empresa enfrentará um problema de excesso de capacidade.

### 2.2.3 Avaliação das alternativas futuras de mudança de capacidade

Tendo-se uma estimativa da demanda futura, pode-se tomar uma decisão quanto ao planejamento da capacidade. Além da opção de manutenção da capacidade, a empresa pode vislumbrar duas situações futuras: excesso ou falta de capacidade sendo as decisões de mudança de capacidade, redução e expansão respectivamente. Para cada caso existem uma série de alternativas, listadas na tabela abaixo.

Tabela 2.1 Alternativas de mudança de capacidade

Expansão	Redução
Subcontratação	Venda de Unidades
Aquisição	Desativação de Unidades
Construção de Unidades	Desenvolvimento de novos produtos
Expansão de Unidades existentes	
Reativação de Unidades desativadas	

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

A terceira alternativa de redução de capacidade não é exatamente uma opção de redução de capacidade, mas sim uma alternativa de ocupar a capacidade ociosa existente (gerada a partir da queda na demanda de um produto existente) com a produção de um novo produto. Esta é normalmente a forma preferida pelos gerentes de operações, pois concatena a fase de declínio de um determinado produto com as fases de introdução e desenvolvimento de outro, mantendo a utilização da capacidade instalada sempre acima de um determinado nível.

Outro fator que deve ser levado em conta no planejamento da capacidade de longo prazo são as economias de escala. Economias de escala são aquelas geradas por reduções em custos fixos, de mão-de-obra, de tempos de set-up e de refugos, só para citar alguns exemplos, devido ao aumento no volume de produção. Economias de escala levam a empresa a atingir o melhor nível operacional que é o volume de produção que permite menor custo unitário médio de produção. Um aumento de volume produzido a partir deste ponto implicaria em deseconomias de escala, ocasionadas por aumento do congestionamento na fábrica, aumento do número de produtos defeituosos, aumento dos custos de manutenção, entre outros fatores. A curva conceitual de volume X custo unitário médio tem uma forma semelhante a uma parábola (Figura 2.2).

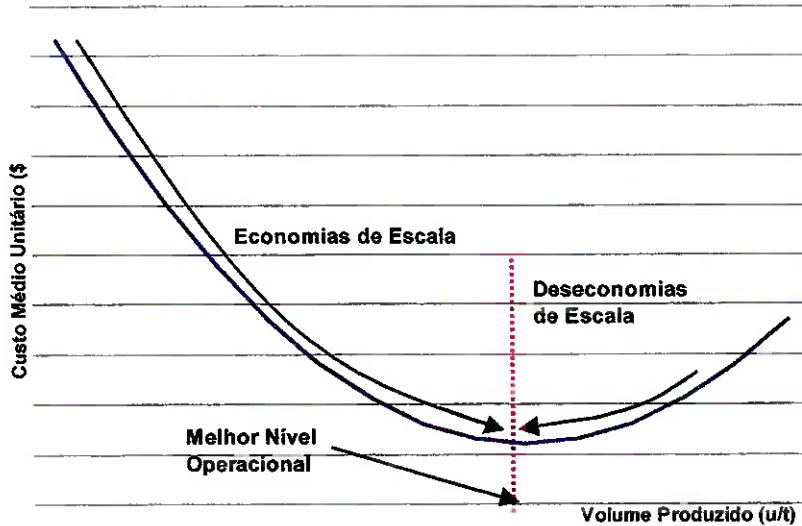


Figura 2.2 Curva Conceitual de Custo Unitário versus Volume Produzido

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Considerando o melhor nível operacional de cada instalação e diante da opção de se expandir a capacidade de uma instalação, existem duas formas para se conduzir esta expansão: investimento em uma grande instalação implicando em maiores montantes iniciais e um melhor nível operacional mais elevado ou investimentos incrementais implicando em menores montantes de capital investido, menores níveis operacionais mas menores “ganhos de escala de investimento”. Em geral a primeira alternativa é mais adequada para produtos maduros com demanda já conhecida e a segunda alternativa é mais adequada para produtos novos, que não tem padrão de demanda conhecido. Além disso, optando-se pela primeira alternativa é possível se desenvolver redes de subcontratados pois assim fica diluído o impacto de uma possível variação de demanda.

### 2.2.4 Análise das alternativas

Diferentes ferramentas de decisão podem ser usadas na decisão de mudança de capacidade. Dentre elas, podemos citar:

- Ferramentas de análise econômico-financeira do investimento: análise do ponto de equilíbrio (break-even analysis), análise de Valor Presente Líquido, etc.
- Ferramentas de análise do desempenho operacional do sistema produtivo: simulação por computador, teoria de filas, Programação Linear etc.

### 2.3 Previsão de Demanda

Previsões de demanda nas empresas são utilizadas na determinação da quantidade e do momento em que esta irá ocorrer. São uma importante ferramenta para a elaboração de um bom planejamento.

Previsões de demanda são utilizadas em diversas situações que variam de acordo com o horizonte de previsão, tipos de padrões de demanda, dentre outros fatores. Para tratar destas diferentes situações, vários métodos foram desenvolvidos. Eles podem ser classificados da seguinte forma:

- Métodos quantitativos:
  - Temporais (modelos de projeção): assumem que o futuro será uma reprodução do passado. Os modelos presumem que os dados históricos se ajustam a uma curva matemática estimada e a utilizam como base para as previsões. Não existe preocupação em se conhecer as causas da demanda, mesmo sabendo da existência delas. Exemplos de métodos: média móvel, suavização exponencial, autocorrelação.
  - Causais (modelos de regressão): baseiam-se na premissa de que a mesma lei de dependência do passado prevalecerá no futuro. Buscam explicar a demanda como função de uma série de variáveis e utilizam esta função para gerar previsões. Exemplos de métodos: regressão (simples e múltipla), modelos econométricos.
- Métodos qualitativos (predição): assumem que o futuro não tem relação clara com o passado. As previsões são baseadas em julgamento de especialistas. Diferentemente dos modelos quantitativos, a demanda não é explicitada matematicamente. Exemplos de métodos: Delphi, composto de forças de vendas.

### 2.3.1 Notação Utilizada

A notação utilizada nos próximos itens é baseada em MAKRIDAKIS et al. (1998):

$Y_t$  = Valor de demanda para o período t;

$F_t$  = Previsão de demanda para o período t;

$e_t$  = Erro de previsão para o período t;

$Pe_t$  = Erro percentual de previsão para o período t;

$hp$  = Horizonte de previsão;

$k$  = Ajuste do horizonte de previsão;

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

$L_t$  = Coeficiente relativo ao padrão de estabilidade para o período t;

$b_t$  = Coeficiente relativo ao padrão de tendência para o período t;

$S_t$  = Coeficiente relativo ao padrão de sazonalidade para o período t;

$\alpha$  = Parâmetro de suavização associada ao padrão de estabilidade;

$\beta$  = Parâmetro de suavização associada ao padrão de tendência;

$\gamma$  = Parâmetro de suavização associada ao padrão de sazonalidade;

$s$  = Comprimento da sazonalidade.

### 2.3.2 Medidas de Precisão da Previsão de Demanda

Tão importante quanto saber os valores das previsões é saber a precisão das mesmas. Como será visto adiante, a precisão das previsões é um dos critérios que decidirá o método a ser utilizado. A precisão de um método está relacionada com a capacidade que ele tem de reproduzir dados passados. Para medir esta capacidade utilizam-se medidas de erros destas previsões em relação aos dados conhecidos de demanda de um certo período. Quanto menores os erros, maior será sua precisão.

Para ilustrar esse procedimento, observe a série de demanda histórica semanal de um produto hipotético:

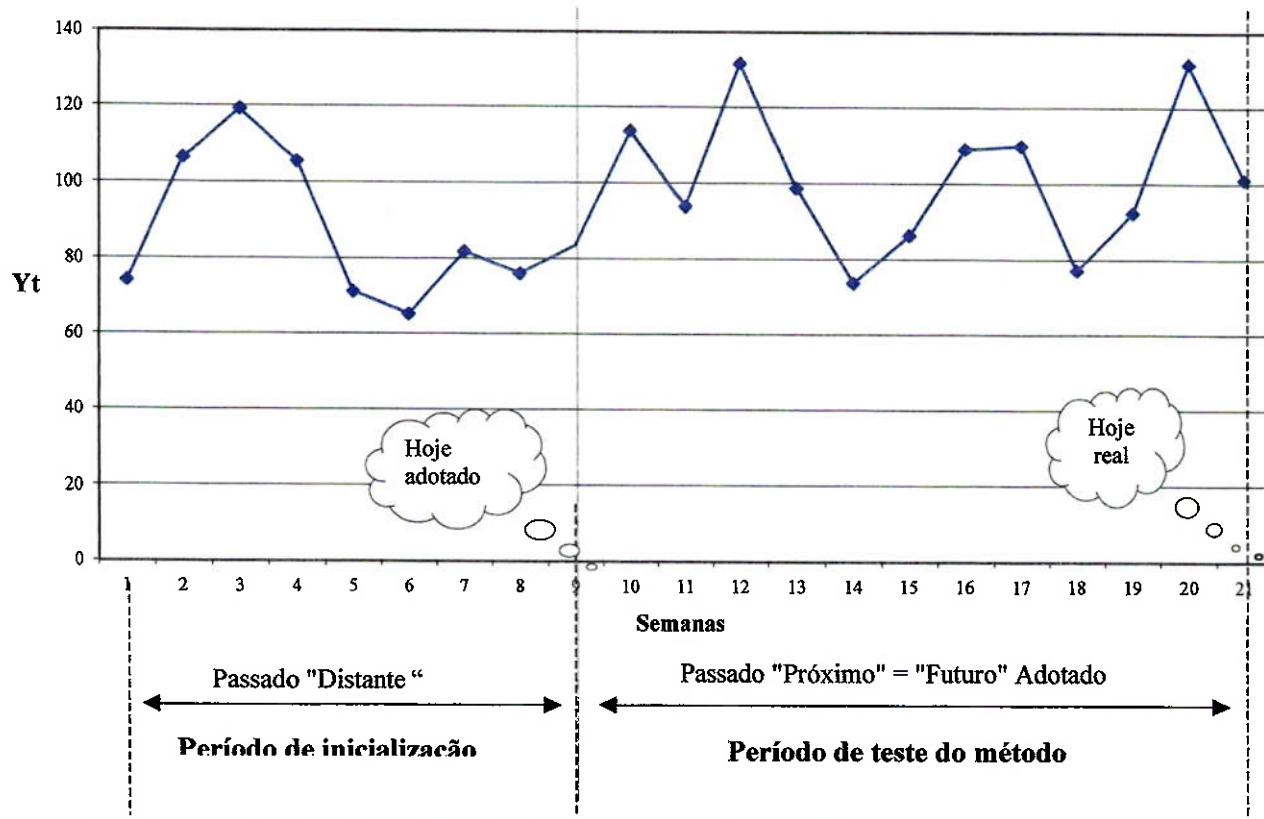


Figura 2.3 Exemplo de Período utilizado para verificação de erros de previsão  
Adaptado de SANTORO (2000)

Considerando que se está na semana 21, adota-se um período de teste para o método escolhido em um passado “próximo”, no caso, a partir da semana 9. Então, calcula-se, neste período, as previsões do método escolhido. Basta então calcular os erros de acordo com as fórmulas a seguir.

Vale comentar que métodos de suavização exponencial utilizam fórmulas recursivas que necessitam de um valor inicial. Utiliza-se, então, o período, que na Figura 2.3 é denominado como “período de inicialização”, para cálculo dos valores iniciais. Este procedimento é chamado de inicialização do método e será comentado mais adiante, quando estes métodos forem detalhados.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

O Erro de Previsão é definido por MAKRIDAKIS et al. (1998), HANKE; REITSCH (1998) e outros autores, como sendo:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (2.1)$$

Deve-se, porém, atentar ao fato de que esta fórmula só é adequada a uma situação particular, onde o horizonte de previsão é igual ao período em que os dados históricos são coletados. Na prática, esta situação não é comum. Por exemplo, tomando o exemplo da Figura 2.3, onde  $t$  equivale a uma semana. Pode existir a necessidade de, a cada semana, se realizar previsões para três semanas ( $F_t + F_{t+1} + F_{t+2}$ ). Neste caso, é necessária uma definição de erro mais genérica que será utilizada neste trabalho é:

$$e_t = \begin{cases} Y_t - F_t, & \text{para } k = 0 \\ \sum_{h=0}^k Y_{t+h} - \sum_{h=0}^k F_{t+h}, & \text{para } k > 0 \end{cases} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.2)$$

Onde  $k = hp(1)-1$ .

Da mesma forma, será definido erro percentual, que será utilizado adiante:

$$Pe_t = \begin{cases} \frac{Y_t - F_t}{Y_t}, & \text{para } k = 0 \\ \frac{\sum_{h=0}^k Y_{t+h} - \sum_{h=0}^k F_{t+h}}{\sum_{h=0}^k Y_{t+h}}, & \text{para } k > 0 \end{cases} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3)$$

A seguir serão apresentadas as medidas de erro mais utilizadas para medir a precisão de um método de previsão.

Considerando que no período de teste foram realizadas  $n$  previsões, têm-se as seguintes medidas de erro:

---

<sup>1</sup> O horizonte de previsão ( $hp$ ) deve ter a mesma unidade da freqüência de coleta dos dados históricos. Exemplo, para dados coletados mensalmente,  $hp$  deve ser dado em meses: 1 mês, 2 meses etc.

ME (Mean Error) – Erro Médio

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t \quad (2.4)$$

É a média aritmética dos erros. Como os erros podem ser positivos ou negativos ele geralmente terá valores pequenos. Sua única utilidade é indicar se há erros sistemáticos (viés): previsões subestimadas ou superestimadas.

MAE (Mean Absolute Error) – Erro Médio Absoluto

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (2.5)$$

Indica a magnitude (valor absoluto) dos erros de previsão.

MSE (Mean Square Error) – Erro Quadrático Médio

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (2.6)$$

O MSE, por elevar ao quadrado os erros, penaliza os erros muito grandes. Ele é indicado para ser utilizado quando se deseja métodos que produzam erros moderados, ao invés de modelos que normalmente produzem erros pequenos, mas que ocasionalmente produzem erros muito grandes.

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – Erro Percentual Absoluto Médio

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Pe_t| \quad (2.7)$$

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Facilita a comparação entre diferentes séries históricas e diferentes intervalos de tempo ao colocar os erros numa escala percentual. Porém, não pode ser utilizado sempre. Por exemplo, se a série histórica contiver muitos valores zerados o erro percentual não poderá ser calculado.

### Estatística Durbin-Watson – D-W

$$D - W = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.8)$$

Varia entre 0 e 4 e testa a hipótese de haver ou não viés, positivo ou negativo, nos erros. Na prática, valores próximos de 2 indicam não haver viés nos erros; valores menores que 2 indicam viés positivo nos erros e valores maiores que 2 indicam viés negativo nos erros.

### 2.3.3 Previsão Quantitativa

Antes de apresentar os métodos quantitativos, é importante saber quais as circunstâncias sob as quais eles podem ser aplicados e, quando aplicados, como deve ser administrado o processo de previsão. Poucos autores abordam este tema, que é fundamental para o sucesso da implantação de modelos de previsão.

#### 2.3.3.1 Processo de Previsão

Segundo MAKRIDRAKIS et al. (1998), previsões quantitativas podem ser aplicadas quando existirem 3 condições:

- Apresentar informações disponíveis sobre o passado;
- Ser possível quantificar tais informações sob forma numérica;

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

- Poder assumir que alguns aspectos de padrões do passado continuarão a ocorrer no futuro.

A última condição é a hipótese de continuidade, na qual se baseiam os métodos quantitativos, independente de sua sofisticação. Pessoas menos familiarizadas com estes métodos geralmente pensam que o passado não pode descrever o futuro de forma precisa, pois tudo se apresenta em constante mudança. Após um melhor entendimento destas técnicas e dos dados coletados, torna-se mais claro que apesar de nada permanecer exatamente igual, alguns aspectos históricos se repetem em muitos casos.

Quanto ao processo de previsão, há alguns passos básicos a serem seguidos para que seja implantado com êxito. Os passos enumerados a seguir são propostos por MAKRIDAKIS et al.(1998), com algumas adaptações propostas por outros autores:

- Definição do Problema: Consiste na definição do propósito da previsão na empresa, (isto é, envolve o entendimento de porque previsões são necessárias) e na identificação das características chaves da previsão: que particularidades do negócio podem influenciar a previsão<sup>2</sup>; como e por quem as previsões serão usadas; como é estruturada a coleta de dados e a manutenção do banco de dados da empresa; qual o nível de detalhe necessário e a freqüência com que devem ser realizadas as previsões; etc. O perfeito entendimento e uma análise crítica destes fatores são essenciais para poder prosseguir a implantação do processo de previsão com sucesso.
- Coleta de informações: Segundo HANKE; REITSCH (1998), esta é, provavelmente, uma das fases mais demoradas e difíceis de todo o processo. Está relacionada com a importância de coletar dados adequados e estar certo que eles são corretos. A expressão “garbage in, garbage out” se aplica diretamente à previsão. Qualquer esforço em implantar métodos quantitativos será inútil se os dados não forem confiáveis.

---

<sup>2</sup> Deve-se buscar identificar as forças internas e externas que influenciam a demanda. Em geral, as forças internas são mais fáceis de identificar: como mudanças na planta da fábrica, aquisições de empresas, lançamento de novos produtos etc. Já forças externas como ações governamentais, ações de competidores, mudanças tecnológicas, apesar de serem mais difíceis de se obter, podem ser valiosas fontes de informação à previsão.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

É importante lembrar que esta etapa tornar-se-á um processo que deverá ser realizado enquanto forem utilizadas previsões, e por isso, é importante que ele seja muito bem estruturado.

- Ajuste dos dados<sup>3</sup>: Uma vez que os dados tiverem sido coletados, deve-se verificar se estes são suficientes para a implantação de métodos quantitativos, ou demasiados, podendo comprometer a precisão das previsões. Dependendo do tipo de negócio, a utilização de muitos dados pode não ser interessante, pois pode haver mudanças significativas dos padrões de demanda.

Deve-se também procurar e analisar erros de digitação e algumas demandas circunstanciais, como as citadas no item anterior. Por exemplo, a causa de uma demanda excepcionalmente alta em determinado mês, pode ser um recall ou simplesmente erro de digitação de um pedido. Esta demanda atípica deve ser desconsiderada do histórico de dados para que não haja viés nas previsões. FORGATY et al. (1991) propõem a utilização de filtros, que facilitem o ajuste periódico dos dados. Por exemplo, se em vários meses a demanda encontra-se entre 100 e 200, estes podem ser adotados como limites. Assim, qualquer pedido inferior a 100 ou superior a 200 deve ser bloqueado pelo sistema de informação que se está utilizando, e disponibilizado para análise.

- Análise exploratória dos dados: Nesta etapa, deve-se buscar entender o que os dados exprimem. Existem padrões consistentes ou tendências significativas? Há sazonalidade importante? Há evidência da presença de um ciclo de negócio? Algumas ferramentas simples como inspeções visuais dos dados ou aplicações de estatísticas básicas (média, desvio padrão, máximo e mínimo), já ajudam a responder estas questões para muitos casos. Para as restantes, pode-se utilizar ferramentas estatísticas mais complexas como regressão linear, auto-correlação, entre outras.

Tais análises ajudarão a selecionar um grupo de métodos quantitativos mais adequados para cada situação.

---

<sup>3</sup> Não é proposto por MAKRIDAKIS et al. (1998).

- Escolha do método mais adequado. Esta fase envolve a escolha do método mais adequado entre os vários métodos quantitativos pré-selecionados na etapa anterior. HANKE; REITSCH (1998) consideram importante analisar os seguintes fatores: horizonte de previsão, disponibilidade de dados, custo da técnica, complexidade da técnica, e precisão da técnica. Para cada empresa, cada um destes fatores terá um peso diferente, conduzindo à seleção de diferentes métodos.
- Horizonte de previsão: existem métodos mais indicados para cada um dos horizontes de previsão: curto, médio e longo prazo. Em geral, métodos de séries temporais são mais indicados para curto prazo, por serem mais simples, menos trabalhosos, e isolarem melhor da aleatoriedade, mais presente no curto prazo. Já em horizontes de mais longo prazo, deve haver maior ênfase no entendimento da demanda e nos fatores que a influencia. Tal entendimento pode ser substancialmente auxiliado por métodos causais. Vale ressaltar que, na escolha de um método quantitativo, este fator deve ser visto mais como uma sugestão de possíveis métodos mais adequados, do que uma restrição à utilização de certos métodos.
- Disponibilidade de dados: alguns tipos de métodos necessitam de muitos dados para poderem ser implantados (Ex.: Box-Jenkins). Desta forma este fator tem caráter restritivo.
- Custo: alguns custos que podem ser considerados nesta análise são: custo de coleta e armazenamento de dados (obtenção de informações externas, principalmente para métodos causais), custo de desenvolvimento e monitoramento de modelo de previsão (Softwares de previsão que apresentam um pacote de métodos mais completos, e simplificam o trabalho relacionado com estas etapas, não são tão baratos ainda).
- Complexidade: talvez este seja um dos aspectos mais importantes a ser considerado. Se um método for barato e de extrema precisão, porém complexo para o tomador de decisão terá pouca ou nenhuma utilidade. HANKE; REITSCH (1998) enfatizam que não é essencial que o método quantitativo apresente elaborado processo matemático ou o mais novo e sofisticado método, mas que seja oportuno, preciso e entendido pelo gestor. Os métodos quantitativos são uma ferramenta de auxílio para que ele

tome melhores decisões e não para tomar decisões por ele. Previsões quantitativas devem ser encaradas como um ponto de início para se efetivar uma previsão importante para a organização, onde julgamentos, bom senso e experiência do negócio são balizadores finais.

- Precisão: se ainda existirem métodos aprovados nos fatores acima citados, o método escolhido deve ser aquele que apresentar a maior precisão.

Após a escolha do método mais apropriado, ele será utilizado para realizar previsões e deverá ser avaliado periodicamente. O processo não termina nesta etapa. Erros de previsão devem ser calculados, e caso haja sinais que eles estão se intensificando, os parâmetros do método devem ser revistos e alterados ou um novo método deve ser utilizado em seu lugar. É importante relembrar que a hipótese de continuidade, anteriormente mencionada, na qual estes métodos nem sempre se mantém. Os padrões da demanda podem variar com o tempo, sendo prudente a mudança de método.

A seguir serão apresentados os métodos quantitativos mais comuns.

### **2.3.3.2 Métodos de Projeção ou Séries Temporais**

O princípio das previsões destes métodos está baseado na extração ou projeção de padrões como estabilidade, tendência, sazonalidade e ciclicidade da série temporal<sup>4</sup> de uma dada variável, no caso a demanda.

Uma vez identificados um ou mais destes padrões na série em questão (conforme análise exploratória dos dados, item 2.1.3.1), os métodos supõem que eles irão se repetir no futuro. Assim, pode-se dizer que eles tratam a demanda como uma caixa preta, na medida em que perpetuam o comportamento de seus dados históricos, sem tentar descobrir os fatores que o influenciam. O comportamento não inteligível da demanda ou a grande dificuldade de entendimento das relações que a governam são os principais motivos para tratar os dados desta forma.

---

<sup>4</sup> Série temporal é uma seqüência de observações cronologicamente arranjada de uma variável particular.

Neste item serão apresentados alguns métodos da classe de séries temporais.

### Introdução dos Métodos de Média e Suavização Exponencial

Os métodos de previsão de média e de suavização exponencial são procedimentos de cálculos dos coeficientes de modelos (curvas) matemáticos que representam cada um dos padrões de comportamento de demanda acima citados.

A Tabela 2.2 relaciona os modelos matemáticos utilizados para descrever estes padrões com os métodos de média e suavização exponencial mais adequados de estimadores dos seus coeficientes:

Tabela 2.2 Relação entre modelos matemáticos mais utilizados para padrões de demanda e métodos de média e suavização exponencial.

Padrões de demanda	Exemplo de série temporal	Modelos Matemáticos de previsão	Métodos de cálculo de parâmetros	Parâmetros a serem calculados
Estabilidade		$F_{t+h} = L_t$	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Média Simples</li> <li>•Média Móvel</li> <li>•Suavização exponencial simples</li> </ul>	$L_t$
Tendência		$F_{t+h} = L_t + b_t \cdot h$	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Suavização Exponencial Dupla (Brown)</li> <li>•Suavizado exponencial com tendência (Holt)</li> </ul>	$L_t$ e $b_t$
Tendência com Sazonalidade		$F_{t+h} = (L_t + b_t \cdot h) \cdot S_{t-s+h}$	•Suavização exponencial sazonal (Winter)	$L_t$ e $b_t$ e $S_{t-s+h}$

Elaborado por SALAMONI (2001)

### Métodos de Média

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Se a demanda é gerada por um processo sujeito a aleatoriedade, mas tem um padrão de estabilidade, estes métodos são úteis para a realização de previsões futuras, pois suavizam os dados de demanda

### Média Simples

Baseia-se na hipótese de que os dados de demanda apresentam somente um padrão de estabilidade, isto é, possuem um equilíbrio em torno de um valor constante e a variância em torno de sua média não se altera com o tempo. Se outros padrões como tendência ou sazonalidade estiverem presentes nos dados de demanda, este método não será adequado.

O modelo matemático adotado para a previsão é a equação de uma reta,

$$F_{t+h} = L_t \quad h = 1, 2, 3, \dots \quad (2.9)$$

cujo valor constante é calculado a partir da média aritmética de todos valores do histórico.

$$L_t = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i. \quad (2.10)$$

### Média Móvel

Utiliza a mesma hipótese da existência somente do padrão de estabilidade nos dados de demanda, sendo, portanto, o modelo matemático de previsão idêntico ao utilizado para média simples. Porém, o valor do coeficiente de estabilidade é calculado utilizando a média dos  $k$  dados recentes:

$$L_t = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i. \quad (2.11)$$

Note que quanto menor o valor atribuído a  $k$ , maior é a influência de dados mais recentes na previsão. Os casos extremos de  $k=t$  ou  $k=1$  tornam este método equivalente, respectivamente, à média simples e ao naïve método (ou método intuitivo), no qual o dado do histórico mais recente é utilizado como previsão dos dados futuros.

Algumas vantagens em relação à média simples são:

- Se o analista estiver mais preocupado com os dados mais recentes de demanda, a média móvel é mais indicada que média simples.
- Apesar de não conseguir lidar bem com tendência e sazonalidade, ele tem um melhor desempenho que a média simples.

Os métodos de média móvel simples atribuem pesos iguais a todos os  $k$  dados, entretanto, como geralmente os dados mais recentes irão prover um melhor direcionamento para previsões futuras, pode ser interessante colocar pesos maiores em dados mais recentes. Assim, métodos de média móvel ponderada são uma extensão de métodos de média móvel simples, que diferem destes justamente por atribuir pesos para cada um dos  $k$  dados históricos<sup>5</sup>.

### Métodos de Suavização Exponencial

Os modelos de suavização exponencial apresentam uma particularidade que é atribuição de pesos para os dados históricos que decrescem exponencialmente do mais recente para o mais antigo. Todos os métodos de suavização exponencial requerem que certos parâmetros sejam definidos, cujos valores podem variar entre 0 e 1. Tais parâmetros determinarão quais os pesos que serão atribuídos aos dados passados. Dentre as diversas variações destes métodos, serão abordados somente quatro.

---

<sup>5</sup> A literatura pesquisada não sugere pesos que devam ser utilizados nos métodos de média móvel ponderada. FOGARTY et al.(1991) afirma que os pesos são função da subjetividade do analista.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

### Suavização Exponencial Simples

Da mesma forma que os métodos citados anteriormente, este método é mais adequado para dados com presença marcante de padrões de estabilidade. Portanto, o modelo de previsão é a mesma reta constante da equação (2.9).

Porém, o cálculo do índice de estabilidade é dado pela fórmula:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot L_{t-1} \quad (2.12)$$

Observe que o Índice de estabilidade é baseado na ponderação dos dados de demanda mais recentes ( $Y_t$ ) com  $\alpha$ .

Ao expandir esta fórmula ao substituir  $L_{t-1}$  por seus componentes tem-se:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot [\alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot L_{t-2}]$$

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot Y_{t-1} + (1 - \alpha)^2 L_{t-2}$$

Repetindo este processo, substituindo  $L_{t-2}$  por seus componentes,  $L_{t-3}$  por seus componentes, e assim por diante tem-se:

$$\begin{aligned} L_t &= \alpha \cdot Y_t + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot Y_{t-1} + \alpha \cdot (1 - \alpha)^2 \cdot Y_{t-2} + \alpha \cdot (1 - \alpha)^3 \cdot Y_{t-3} + \dots \\ &+ \alpha \cdot (1 - \alpha)^{t-1} \cdot Y_1 - (1 - \alpha)^t \cdot L_0 \end{aligned}$$

Percebe-se, então, que  $L_t$  é uma média ponderada exponencialmente de todos os dados passados de demanda, daí o nome suavização exponencial. Note também que a velocidade com que eles perdem sua importância depende do valor de  $\alpha$ :

Valores baixos para  $\alpha \Rightarrow$  dados passados perdem importância vagarosamente;

Valores elevados para  $\alpha \Rightarrow$  dados passados perdem importância rapidamente;

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Tabela 2.3 Comparação entre valores do parâmetro de suavização  $\alpha$

Período	$\alpha=0.1$		$\alpha=0.6$	
	Cálculo	Ponderação de Y	Cálculo	Ponderação de Y
t-1		0.100		0.600
t-2	.9 x 1	0.090	.4 x .6	0.240
t-3	.9 x .9 x 1	0.081	.4 x .4 x .6	0.096
t-4	.9 x .9 x .9 x 1	0.073	.4 x .4 x .4 x .6	0.038
t-5	.9 x .9 x .9 x .9 x 1	0.066	.4 x .4 x .4 x .4 x .6	0.015

Outra forma de interpretar este método é reescrevendo a equação (2.12):

$$L_t = L_{t-1} + \alpha \cdot (Y_t - L_{t-1}) \quad (2.13)$$

Desta forma como a equação (2.13) é escrita, fica claro que este método utiliza o princípio de *feedback* negativo.

Pode-se perceber que o índice atual ( $L_t$ ) é igual ao índice antigo mais o ajuste deste índice em relação ao dado ocorrido no instante atual. O peso do ajuste é dado pelo parâmetro  $\alpha$ .

Para que este método possa ser utilizado é necessário escolher não somente o valor para  $\alpha$ , mas também um valor inicial para  $L_{t-1}$ , pois a equação (2.13) é recursiva.

A escolha do  $\alpha$  mais adequado é geralmente feita através de procedimentos que minimizam os erros de previsão, que serão abordados adiante. Note que se o  $\alpha$  calculado por estes procedimentos for próximo de zero, as variações entre  $L_{t-1}$  e  $Y_t$  terão pouco impacto no cálculo de  $L_t$ , o que sugere que são de caráter aleatório. Porém, se o  $\alpha$  calculado for de valor elevado (maior que 0,3), a hipótese de haver padrões de tendência nos dados de

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

demandas é alta. Nestes casos, SILVER et al. (1998) sugerem que a utilização de métodos mais apropriados para lidar com tendência seja mais adequada.

Já a escolha do índice L inicial pode ser feita por meio de inúmeros procedimentos chamados de inicialização. Alguns deles serão abordados mais adiante.

### Suavização Exponencial Dupla (Brown)

Também conhecido como método de Brown, é utilizado para séries temporais que apresentem uma tendência linear. Desta forma o modelo matemático a ser adotado para previsão será a de uma reta inclinada:

$$F_{t+h} = L_t + b_t \cdot h \quad h=1,2,3,\dots \quad (2.14)$$

O coeficiente de estabilidade é dado por:

$$L_t = 2 \cdot A_t - A'_t \quad (2.15)$$

E o coeficiente de tendência é dado por:

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot (A_t - A'_t) \quad (2.16)$$

Em que,

$$A_t = \alpha \cdot Y_t + (1-\alpha) \cdot A_{t-1} \quad (2.17)$$

$$A'_t = \alpha \cdot A_t + (1-\alpha) \cdot A'_{t-1} \quad (2.18)$$

As equações (2.17) e (2.18) explicam o porquê do nome suavização exponencial “dupla”.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Como nos métodos anteriores só há um parâmetro de suavização ( $\alpha$ ) a ser definido, mas dois índices para serem inicializados ( $A$  e  $A'$ ).

Note que o parâmetro  $\alpha$  é utilizado para o cálculo do índice de estabilidade e também para o cálculo do índice tendência. Apesar de simplificar sua utilização, (sendo talvez este o motivo pelo qual SILVER et al. (1998) o defendem) isto torna o índice de tendência muito sensível à influência da aleatoriedade, fazendo com que o método, em certos casos, demore a perceber a mudança nos padrões dos dados.

### Suavização Exponencial Ajustada para Tendência (Holt)

Holt, em 1957, propôs este método que também é adequado para a previsão de dados com padrões de tendências. É uma extensão do método de suavização exponencial simples. O modelo de previsão é o mesmo utilizada por Brown. A diferença está no fato de que Holt utiliza parâmetros diferentes para calcular o índice de estabilidade ( $\alpha$ ) e o de tendência ( $\beta$ ). Isto confere ao método de Holt uma maior flexibilidade para o rastreamento do índice de tendência. Vale lembrar que MAKRIDAKIS et al. (1998) consideram o método de Brown um caso particular do método de Holt para  $\alpha=\beta$ .

O coeficiente de estabilidade Holt é dado por:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.19)$$

E o coeficiente de tendência é dado por:

$$b_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1} \quad (2.20)$$

Vale lembrar que  $L_t$  e  $b_t$  precisam ser inicializados.

### Suavização Exponencial Ajustada para Tendência e Sazonalidade (Winters)

Este método é uma extensão, realizada por Winters em 1960, do método de Holt. Diferentemente dos outros modelos até então apresentados este é apropriado para lidar com séries temporais que possuem sazonalidade.

O modelo matemático de previsão adotado é:

$$F_{t+h} = (L_t + b_t \cdot h) \cdot S_{t-s+h} \quad h = 1, 2, 3, \dots \quad (2.21)$$

$S$  é o coeficiente responsável pelo ajuste dos dados de acordo com a sazonalidade.

As equações para os cálculos dos coeficientes são similares às de Holt, com uma equação adicional para o índice de sazonalidade :

$$L_t = \alpha \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.22)$$

$$b_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1} \quad (2.23)$$

$$S_t = \gamma \cdot \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma) \cdot S_{t-s} \quad (2.24)$$

A pequena diferença na equação (2.22) que a distingue da equação (2.14) é o coeficiente  $S_{t-s}$  que divide  $Y_t$ , removendo deste o possível efeito sazonal que possa existir, para o cálculo correto do índice de estabilidade.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Existem outros vários métodos de suavização exponencial que tratam diversas combinações de tendência e sazonalidade, porém não serão abordados neste trabalho, pois foge ao seu objetivo<sup>6</sup>.

### Inicialização dos Métodos de Suavização Exponencial

Esta é uma etapa importante para os métodos de suavização exponencial, pois como suas fórmulas são recursivas há a necessidade de se escolher um valor inicial para os coeficientes  $L_{t-1}$ ,  $b_{t-1}$  e  $S_{t-s}$ . Valores iniciais impróprios podem distorcer as previsões por algum período de tempo. Existem inúmeras maneiras de inicializar os métodos. As formas listadas a seguir são simples e, portanto, fáceis de implementar:

Para métodos de suavização exponencial simples, de Holt e de Brown

$$L_0 = Y_0$$

$$b_0 = Y_1 - Y_0$$

(no caso de Brown)

$$A_0 = a_0 - \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot b_0$$

$$A'_0 = a_0 - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot b_0$$

Para método de Winters (é necessário um ciclo sazonal completo, no mínimo)

$$L_0 = L_s = \frac{1}{s} [Y_0 + Y_1 + \dots + Y_s]$$

---

<sup>6</sup> Para maior aprofundamento, procurar classificação de Pegel em MAKRIDAKIS et al. (1998).

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

$$b_0 = b_s = \frac{1}{s} \left[ \frac{Y_s - Y_0}{s} + \frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right]$$

$$S_0 = \frac{Y_0}{L_s}, \quad S_1 = \frac{Y_1}{L_s}, \quad \dots \quad S_s = \frac{Y_s}{L_s}$$

Vale também ressaltar que quanto maior for a quantidade de dados disponíveis para a inicialização, o sistema de auto-ajuste dos métodos (*feedback* negativo) tem efeito e elimina o impacto causado pelo valor inicial escolhido.

### “Otimização” dos Métodos de Suavização Exponencial

A escolha dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  mais adequados para métodos de suavização exponencial é feita por meio da busca dos valores destes parâmetros que minimizem alguma medida de erros de previsão (MSE, MAPE, MAE etc) durante o período de teste do método.

A busca dos valores mínimos poderá ser feita do seguinte modo:

Ex: Suavização Exponencial Simples minimizando MAE:

1. Escolhe-se uma série de valores para  $\alpha$  (ex.: 0,1;0,2;...;0,9);
2. Calcula-se o MAE para cada  $\alpha$  escolhido;
3. Utiliza-se o  $\alpha$  que gerou o menor MAE.

Este modo fica mais complicado de ser utilizado para métodos de Holt, onde é necessária a avaliação de combinações de  $\alpha$  e  $\beta$ , e de Winters, que necessita a avaliação de combinações de  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Mas ainda assim são factíveis. Outra alternativa, que torna esta tarefa muito mais simples do que a busca empírica ou o teste de valores, é utilizar algoritmos de otimização não linear (o próprio Excel possui um Solver, bastante simples de ser utilizado).

### Métodos de Decomposição

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

O Princípio dos Métodos de Decomposição, como o próprio nome sugere, é o de separar os padrões de comportamento (tendência, sazonalidade, e ciclicidade) da série temporal e projetá-los separadamente.

Métodos de decomposição são compostos de:

$$\begin{aligned}\text{Dados} &= \text{padrões} + \text{aleatoriedade (ruídos)} \\ &= f(\text{tendência, sazonalidade, ciclicidade, aleatoriedade})\end{aligned}$$

A metodologia utilizada é o isolamento por etapas de cada um destes componentes para que possam ser analisados, e projetados, compondo a previsão final.

MAKRIDAKIS et al. (1998) afirmam que já foram feitas muitas tentativas para desenvolver previsões baseadas diretamente em decomposição. Os componentes individuais são projetados no futuro e recombinação para formar a previsão da série temporal. Embora pareça uma abordagem razoável, raramente funciona bem na prática. Eles preferem utilizar métodos de decomposição mais como uma ferramenta para entender as séries temporais do que como método de previsão.

### 2.3.3.3 Métodos de Previsão Explicativos ou Causais

Nestes métodos existe a preocupação em se explorar as causas da demanda, que é expressa como função de uma ou mais variáveis a partir da qual se geram previsões. A vantagem destes métodos é que eles podem servir como ferramenta para o entendimento mais amplo da demanda, pois eles tentam identificar e quantificar os principais fatores que a influenciam. A premissa de continuidade é válida para estes métodos, mas, ao contrário dos métodos temporais, não se assume que a variável de interesse apresentará o mesmo comportamento ao longo do tempo, mas que a relação de dependência entre a variável que se quer prevendo (também chamada de variável dependente e, no caso que será tratado, a demanda) e a(s) variável(is) causal(is) (também chamada(s) de variável(is)

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

independente(s)) não mudará ao longo do tempo. Para previsões de médio/longo prazo estes são os métodos mais recomendados.

Os métodos causais podem variar quanto à sua complexidade e abrangência. Neste tópico serão abordados 3 deles, listados abaixo do mais simples ao mais complexo:

- Método de regressão simples: a variável dependente é expressa como função de uma única variável independente. Exemplo: as vendas de um determinado produto variam apenas em função do preço do produto;
- Método de regressão múltipla: a variável dependente é expressa como função de duas ou mais variáveis independentes. Exemplo: a demanda de um produto dependem do PIB, da renda da população, do consumo residencial de energia elétrica e do preço do produto;
- Métodos econométricos: a variável dependente é expressa como função de uma ou mais variáveis independentes que, por sua vez, também são expressas em função de uma ou mais variáveis. Exemplo: as vendas de um produto dependem do PIB e do preço do produto, que por sua vez, depende dos custos de produção e despesas de venda.

Serão agora apresentados com mais detalhes os métodos Causais elencados.

### Método de Regressão Simples

Como dito, neste método a variável dependente é função de uma única variável independente. Vamos supor que a variável dependente seja a venda de um determinado produto e que a variável independente seja seu preço. Sendo:

$Y_t$  = Vendas do produto no período t;

$X_t$  = Preço do produto no período t;

Então a função vendas pode ser expressa da seguinte maneira:

$$Y_t = a + bX_t + e_t \quad (2.25)$$

Assim, as vendas no instante  $t$  serão iguais a um valor que obedece a um comportamento padrão ( $a + bX_t$ ) mais um erro aleatório ( $e$ ). Este padrão de comportamento é a função a partir da qual as previsões serão feitas.

Os coeficientes  $a$  e  $b$  são os parâmetros que determinam o padrão de comportamento da variável dependente em função da variável independente. O método mais utilizado para a estimação destas variáveis é o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Rearranjando a equação (2.25), temos:

$$Y_t - a - bX_t = e_t$$

O objetivo do MMQ é encontrar os valores de  $a$  e  $b$  de forma que a reta  $a + b*X$  melhor se ajuste aos dados da variável dependente ( $Y$ ). A estimação dos parâmetros é feita minimizando a somatória dos erros quadráticos de todas as observações feitas:

$$SSE = \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - a - bX_t)^2 \quad (2.26)$$

Tomando derivadas parciais, em relação a  $a$  e  $b$ , e com algumas manipulações algébricas, temos:

$$b = \frac{\sum_{t=1}^n [(X_t - \bar{X}) * (Y_t - \bar{Y})]}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \quad (2.27)$$

e

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2.28)$$

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

O MMQ é uma das formas de se estimar os parâmetros  $a$  e  $b$ . Outros critérios (p.e., minimizar o erro médio absoluto (MAE), minimizar o erro médio percentual absoluto (MAPE)) poderiam ser usados. Entretanto, além de a minimização da soma dos erros quadráticos (SSE) ser matematicamente mais simples, pelo MMQ é dado maior peso a valores extremos de erros (o que é importante, uma vez que erros maiores são menos desejados do que erros menores). Assim como no caso dos parâmetros da suavização exponencial ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) poderiam ser usados programas de otimização não-linear para se encontrar os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  que minimizassem o MAPE, por exemplo. Entretanto a possível existência de mínimos locais faz com que, na busca por um menor, se encontre mais de uma solução, dependendo do caso.

Existem alguns testes estatísticos que podem ser aplicados para se verificar a significância do modelo de regressão encontrado a partir do MMQ. Apresentaremos dois deles:

- Teste  $F$ : mesmo que não exista uma relação causal entre duas determinadas variáveis, se aplicarmos o MMQ para uma dada amostra, podemos encontrar uma reta que, não necessariamente, tem coeficiente angular ( $b$ ) igual a zero. O teste  $F$  nos diz se existe realmente uma relação significativa entre as variáveis (dependente e independente). O Coeficiente  $F$  é calculado da seguinte forma:

$$F = \frac{\sum (F_t - \bar{Y})^2 / (m - 1)}{\sum (Y_t - F_t)^2 / (n - m)} \quad (2.29)$$

Em que  $m$  = numero de coeficientes na função de regressão (para o caso que estamos tratando, o de regressão simples,  $m = 2$ ).

Pela formulação do coeficiente  $F$ , podemos constatar que o numerador refere-se a variância que é explicada pela regressão, enquanto que o denominador refere-se a variância que não é explicada pela regressão. Assim, quanto maior for o coeficiente  $F$ , maior a proporção da variância que é explicada pela regressão. Com o valor calculado de  $F$  e a tabela  $F$  podem ser realizados testes de hipótese em relação à significância da regressão.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

- Teste t para os coeficientes: é um teste que nos diz se os valores dos coeficientes encontrados são significativamente diferentes de zero. Os coeficientes t são calculados da seguinte forma:

$$t_a = \frac{a}{s.e.(a)}$$
$$t_b = \frac{b}{s.e.(b)} \quad (2.30)$$

Em que

$$s.e.(a) = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}}$$
$$s.e.(b) = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{1}{\sum (X_i - \bar{X})^2}} \quad (2.31)$$

Os desvios padrão dos erros ( $\sigma_\varepsilon$ ) não são conhecidos, mas podem ser estimados da seguinte forma:

$$\sigma_\varepsilon \cong s_e = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - F_i)^2}{n-2}} \quad (2.32)$$

Encontrada a função matemática que relaciona a variável dependente e a independente, podemos gerar previsões a partir desta função. No exemplo dado anteriormente, afirmamos que o volume de vendas de um determinado produto (Y) era função apenas do preço do produto (X). Se quisermos saber qual seria o volume de vendas para um determinado preço conhecido, devemos substituir o valor do preço na equação previamente encontrada. Entretanto, como os parâmetros a e b da função de regressão são randômicos, não se deve esperar que o valor real das vendas para um dado preço seja igual ao valor de vendas previsto em função deste preço. Portanto devemos considerar o erro padrão da previsão, dado por:

$$se(Y_0) = s_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum (X_t - \bar{X})^2}} \quad (2.33)$$

Quando usamos métodos de regressão para previsão, dois pontos importantes devem ser levados em consideração:

- Que variável independente estamos usando para se prever a variável dependente;
- Qual o padrão de relacionamento entre a variável dependente e a independente, ou seja, qual a forma funcional da relação de dependência.

Descobrir qual a variável explicativa usar não é tarefa fácil. Muitas vezes não existe apenas uma. No caso de regressão simples esta tarefa é mais simples que na regressão múltipla. Uma forma simples para se verificar se existe uma forte relação entre duas variáveis é calcular o coeficiente de correlação linear de Pearson (mais conhecido como  $r$  ou  $R$ ) entre estas variáveis. O coeficiente de Pearson é dado pela fórmula:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] * [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.34)$$

Este coeficiente representa o grau de associação entre duas variáveis. Seu valor pode variar entre  $-1$  e  $+1$ . Quanto maior seu valor absoluto, maior é o grau de associação entre as variáveis. O sinal indica se a correlação é positiva ou negativa, isto é, se um aumento no valor de uma das variáveis está associado a um aumento ou uma diminuição no valor da outra variável, respectivamente.

Elevando-se o coeficiente de correlação ao quadrado obtém-se o coeficiente de determinação ( $r^2$  ou  $R^2$ ) que expressa a parcela da variação total é explicada pela regressão.

$$R^2 = \frac{\sum (F_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.35)$$

É importante estar atento ao fato que os coeficientes de correlação e de determinação não expressam a existência de uma relação causa-efeito entre duas variáveis. Eles apenas nos indicam, para uma dada amostra, se existe uma relação significativa entre as variáveis.

Outro ponto que deve ser lembrado é que nem sempre a relação existente entre duas variáveis é linear. As formas funcional das relações entre variáveis podem ser as mais diversas possíveis (logarítmica, exponencial, polinomial, entre outras).

Nos modelos de regressão simples, caso haja uma relação não linear entre a variável dependente e a independente é recomendável linearizar<sup>8</sup> esta relação para se facilitar a análise.

### Método de Regressão Múltipla

Neste caso, a variável dependente é expressa como função de duas ou mais variáveis independentes. Os modelos de regressão múltipla podem ser divididos em duas subcategorias:

- Modelos Aditivos
- Modelos Multiplicativos

A principal diferença entre estas duas categorias é a forma funcional da relação entre a variável dependente e a independente.

Vamos tomar como exemplo o caso em que as vendas de um produto em um determinado ano dependem do preço médio do produto e da renda média da população. Sendo:

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

$Y_t$  = Vendas do produto no ano t;

$X_{1,t}$  = Preço do produto no ano t;

$X_{2,t}$  = Renda média da população no t

Um modelo aditivo expressaria a função vendas da seguinte maneira:

$$Y_t = a + b_1 X_{1,t} + b_2 X_{2,t} + e_t \quad (2.36)$$

Já em um modelo multiplicativo, a função seria da seguinte maneira:

$$Y_t = a X_{1,t}^{b_1} X_{2,t}^{b_2} e_t \quad (2.37)$$

Na prática não existem grandes diferenças entre os dois tipos de modelos. O MMQ é aplicável a ambos, porém para ser aplicado para os modelos multiplicativos é necessário lineariza-los primeiro. Isso pode ser feito tirando-se o logaritmo natural nos dois lados da equação (2.37). Assim, temos:

$$\ln(Y_t) = \ln(a X_{1,t}^{b_1} X_{2,t}^{b_2} e_t) = \ln(a) + b_1 \ln(X_{1,t}) + b_2 \ln(X_{2,t}) + \ln(e_t) \quad (2.38)$$

Renomeando os membros da equação (2.38),

$$\ln(Y_t) = W_t$$

$$\ln(a) = A$$

$$\ln(X_{1,t}) = Z_{1,t}$$

$$\ln(X_{2,t}) = Z_{2,t}$$

$$\ln(e_t) = E_t$$

---

<sup>8</sup> Para mais detalhes consultar MAKRIDAKIS et al. (1998).

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Então,

$$W_t = A + b_1 Z_{1,t} + b_2 Z_{2,t} + E_t \quad (2.39)$$

Note que a equação (2.39) é um modelo aditivo. Desta forma o modelo multiplicativo fica linearizado e podemos conduzir a solução dos mínimos quadrados da mesma forma que faríamos com o modelo aditivo, bastando exponencializar-se os resultados para se chegar à fórmula original.

No caso da equação 2.36, aplicando o MMQ para se minimizar a soma dos erros quadráticos, em que,

$$SSE = \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - a - b_1 X_{1,t} - b_2 X_{2,t})^2 \quad (2.40)$$

Deveremos tomar derivadas parciais em relação a cada um dos parâmetros. Para o caso que está sendo tratado, com duas variáveis independentes, teremos:

$$\sum Y = na - b_1 \sum X_1 - b_2 \sum X_2$$

$$\sum X_1 Y = a \sum X_1 - b_1 \sum X_1^2 - b_2 \sum X_1 X_2$$

$$\sum X_2 Y = a \sum X_2 - b_1 \sum X_1 X_2 - b_2 \sum X_2^2$$

Temos então um sistema com três equações e três incógnitas, de solução relativamente simples. Entretanto, para um caso genérico com  $k$  variáveis independentes este tipo de solução pode ser muito complexo, principalmente se  $k$  for um número grande. Neste caso é mais prático usar a álgebra matricial. Sendo,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{1,1} & X_{2,1} & \cdots & X_{k,1} \\ 1 & X_{1,2} & X_{2,2} & \cdots & X_{k,2} \\ 1 & X_{1,3} & X_{2,3} & \cdots & X_{k,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1,n} & X_{2,n} & \cdots & X_{k,n} \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \quad e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

A somatória dos erros quadráticos será dada por,

$$SSE = \sum e^2 = e'e \quad (2.41)$$

Com algumas manipulações algébricas, pode-se chegar a:

$$b = (X'X)^{-1} X'Y \quad (2.42)$$

Em que  $X'$  é a matriz  $X$  transposta e  $(X'X)^{-1}$  é a inversa da matriz  $X'X$ .

Assim como no caso da regressão simples, o teste de significância (estatística F) pode ser realizado na regressão múltipla. A formulação é a seguinte:

$$F = \frac{\sum (F_t - \bar{Y})^2 / k}{\sum (Y_t - F_t)^2 / (n - k - 1)} \quad (2.43)$$

Em que  $n$  é o número de observações e  $k$  o número de variáveis independentes do modelo.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Um dos tópicos que merece grande atenção quando está se tratando de um problema de regressão múltipla é a seleção das variáveis independentes que virão a compor o modelo. Esta tarefa é mais complexa do que no caso da regressão simples. Isso porque pode existir uma série de variáveis que têm relação de causa-efeito com a variável que está querendo se projetar, mas nem todas elas poderão entrar no modelo. Um modelo com poucas variáveis pode não estar captando bem o comportamento da variável dependente, ao passo que um modelo com muitas variáveis independentes, além de tornar mais complexa a tarefa de usá-lo ou para se prever o comportamento da variável dependente, afinal será necessário se projetar também as variáveis independentes, podem surgir problemas de multicolinearidade<sup>9</sup>.

Segundo MAKRIDAKIS et al. (1998) o primeiro passo para a seleção de variáveis independentes é o levantamento de todas as variáveis quantificáveis que podem ter influência na variável de interesse. Esta fase envolve o entendimento de aspectos qualitativos do problema que está sendo tratado e a opinião de especialistas do setor estudado deve ser levada em consideração.

Após a seleção das candidatas à variável independente deve-se escolher, dentre elas, quais irão compor o modelo. O método mais intuitivo e direto para tal escolha seria:

- Descartar as variáveis que não apresentem alta correlação com a variável dependente;
- Analisar as correlações entre as possíveis variáveis independentes e, quando houver uma alta correlação, descartar uma das variáveis.

---

<sup>9</sup> Problemas de multicolinearidade surgem quando duas ou mais variáveis independentes são altamente correlacionadas ou quando uma combinação linear de duas ou mais variáveis independentes é altamente correlacionada com outra(s) variável(is) independente(s). Para mais detalhes consultar MAKRIDAKIS et al. (1998).

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Segundo MAKRIDAKIS et al. (1998), apesar deste método ser, na prática, amplamente usado não é confiável para se chegar a um bom modelo de regressão. Existem alternativas que, embora mais complexas, são mais justificáveis:

- Best Subset regression;
- Stepwise regression;
- Principal Components Analysis;
- Distributed Lag Analysis.

O método best subset identifica o melhor modelo de regressão que pode ser construído com as possíveis variáveis independentes especificadas. Por melhor modelo entende-se aquele que apresentar maior valor de  $R^2$ . A formulação do  $R^2$  para a regressão múltipla é a mesma da regressão simples (ver equação 2.35). Outro índice importante de ser considerado em problemas de regressão múltipla é o  $R^2$ -ajustado; ele leva em consideração os graus de liberdade do modelo e é calculado da seguinte forma:

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - k - 1} \quad (2.44)$$

Em que  $n$  é o número de observações e  $k$  é o número de variáveis independentes do modelo. Fica claro que não é possível calcula-lo para  $n \leq k-1$ .

No método best subset, todas as combinações de possíveis variáveis independentes são testadas, começando com um modelo contendo uma variável explicativa, depois duas e assim por diante. Este método é uma forma eficiente de se identificar bons modelos que utilizem o menor número possível de variáveis explicativas. Além disso, permite encontrar um modelo para se prever valores futuros da variável dependente com uma variância menor do que um modelo com muitas variáveis independentes.

Já pelo método stepwise, as candidatas à variável independente são adicionadas e removidas do modelo de forma a identificar a combinação de variáveis mais adequada. Isso

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

é feito baseando-se no valor da estatística F que aquela combinação de variáveis independentes apresenta.

Existem softwares que disponibilizam este tipo de análise (best subset e stepwise) como o Minitab, por exemplo. Apesar de serem procedimentos bastante indicados na seleção de variáveis independentes de um modelo de regressão múltipla, eles não lidam bem com problemas de multicolinearidade. Portanto é importante uma dose de subjetividade e de análises qualitativas na coleta e tratamento de dados. Para mais detalhes destes métodos é recomendável consultar MAKRIDAKIS et al. (1998)

Outro ponto importante de ser analisado na seleção de variáveis independentes, que também envolve análises qualitativas aliadas a algumas análises quantitativas, são as defasagens. Algumas vezes o tempo de resposta que a variável dependente tem em relação à uma variável explicativa é grande. Podemos citar como exemplo o par renda X consumo: existem casos em que uma queda na renda da população não tem reflexo imediato na queda do consumo. Desta forma, é importante que se analisem possíveis relações de dependência e correlações entre séries de variáveis defasadas (atrasadas e adiantadas).

O uso de modelos de regressão múltipla na previsão é similar ao uso dos modelos de regressão simples. Ou seja, a partir de valores esperados que as variáveis independentes irão assumir, projeta-se o comportamento da variável dependente. No entanto, o erro padrão é expresso da seguinte forma.

$$se(Y_0) = s_e \sqrt{1 + c'(X'X)^{-1}c} \quad (2.45)$$

Em que  $c$  é o vetor-linha que tem valor 1 na primeira coluna e os valores esperados (projetados ou previstos) das variáveis independentes nas outras colunas.

## **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica**

---

Deve-se atentar ao fato que a variável dependente pode, ao longo do tempo, apresentar comportamentos que não são explicados pelas variáveis independentes. Neste caso ou as variáveis independentes não são adequadas para explicar as variações da dependente ou algum outro fator, que talvez não seja nem mesmo quantificável, pode estar afetando seu comportamento. Caso este fato seja sistemático uma alternativa é a introdução de variáveis dummy<sup>10</sup> no modelo de regressão.

### **Métodos Econométricos**

Da mesma forma que a regressão simples é um caso particular de regressão múltipla, esta última é um caso particular de modelo econométrico. Os modelos econométricos lidam com diversas equações de regressão (simples ou múltipla) ao passo que os modelos de regressão múltipla lidam com apenas uma equação.

Nos modelos econométricos a variável de resposta (aquele que quer se prever) é tratada como uma variável dependente de primeira ordem; seu comportamento é explicado por uma ou mais variáveis independentes de primeira ordem que por sua vez, são tratadas como variáveis dependentes de segunda ordem e, consequentemente, terão seus comportamentos descritos por variáveis independentes de segunda ordem e assim por diante. Em outras palavras, modelos econométricos são diversos modelos de regressão secundários que fazem parte de um modelo de regressão principal.

Se já existiam dificuldades em lidar com problemas de regressão múltipla, essas dificuldades são amplificadas quando se trata de modelos econométricos. Devido a sua extrema complexidade estes modelos não serão abordados neste trabalho.

### **Monitoramento dos Métodos**

---

<sup>10</sup> Variáveis dummy são variáveis binárias que são úteis para lidar com fatores não quantificáveis que afetam a variável dependente. Para mais detalhes consultar MAKRIDAKIS et al. (1998)

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Um dos pontos fundamentais no processo de previsão é a avaliação contínua do método de previsão. Como, já abordado anteriormente, os métodos de série temporal assumem que haverá continuação de padrões do histórico de demanda por longos períodos no futuro; já os métodos causais assumem que os padrões de dependência da variável que está sendo prevista com as variáveis explicativas também se manterão inalterados. Na prática, isto raramente acontece, e quando os padrões mudam, as previsões do método, que antes tenderiam a apresentar diferenças igualmente abaixo ou acima do valor real da variável que está se prevendo, em razão da aleatoriedade, começam a se concentrar abaixo ou acima do valor efetivo da variável, ou seja, apresentando viés.

É necessário, então, utilizar uma medida que monitore o método e alerte quando o padrão mudar para evitar grandes erros de previsão.

O *Tracking Signal* é a medida mais comum para tal finalidade. É uma espécie de alerta de viés. FOGARTY et al. (1991) apresentam a seguinte fórmula:

$$TS_t = \frac{ME_t}{MSE_t}, \quad (2.46)$$

Sendo  $-1 < TS_t < 1$

Sé o método estiver adequado,  $TS_t$  deverá permanecer dentro de um limite ao redor de zero. Se ele se aproxima de  $-1$  ou  $+1$ , ultrapassando um limite considerado aceitável, a suspeita de viés é levantada. Tomando como exemplo a demanda, algumas possíveis razões para isto acontecer são:

1. Fatores pontuais como promoções que alteram temporariamente, mas significativamente os padrões de demanda. Neste caso não há a necessidade de mudar o método. Uma correção da demanda ou uma correção da previsão durante aquele período já é suficiente;

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

2. Fatores internos como alteração de preço, que alteram os valores dos padrões de demanda (p.e.: aumento da média de vendas). No caso de se estar utilizando suavização exponencial simples, basta elevar temporariamente o valor de  $\alpha$  para que o método reaja mais rapidamente à variação da média;
3. Fatores externos como aumento da estabilidade econômica. Neste caso um item que apresentava uma demanda constante pode começar a apresentar um crescimento em suas vendas;
4. Simples aberração estatística sendo possível que nada esteja errado ou necessite de correção.

Quanto ao estabelecimento do limite, FORGARTY et al. (1991) sugerem a utilização de valores mais baixos para itens mais importantes como 0,3 ou 0,4, e valores mais altos para itens menos importantes como 0,7, pois demandará menos esforço do analista.

### 2.3.4 Previsão Qualitativa

Os métodos de previsão até então apresentados nos permitem extrapolar padrões conhecidos na demanda de modo a prever sua continuação, assumindo que tais padrões não irão se alterar durante a fase de previsão. Ao mesmo tempo, mudanças podem e irão ocorrer e deverão ser detectadas o mais rápido possível para evitar grandes, e geralmente custosos, erros de previsão.

Porém, quando mudanças são detectadas, ou se é sabido que elas irão ocorrer, previsões qualitativas são claramente necessárias para balizarem os resultados estatísticos das previsões quantitativas.

SILVER et al. (1998) listam alguns importantes fatores internos e externos à organização que podem provocar mudanças de padrões na demanda:

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

- Fatores Externos
  - Situação macroeconômica geral;
  - Ações governamentais como subsídios, taxa de impostos alfandegários, restrições à poluição etc;
  - Ações de competidores;
  - Preferências de consumo.
- Fatores Internos
  - Mudança de preços;
  - Promoções;
  - Propaganda;
  - Mudanças de engenharia que, por exemplo, melhoram a confiabilidade do produto, reduzindo a demanda por peças de reposição;
  - Introdução de produtos substitutos;
  - Abertura de novos distribuidores;

Vale ressaltar que previsões qualitativas também são muito importantes em casos onde não existem dados disponíveis de demanda. A seguir são apresentados alguns métodos qualitativos:

### **2.3.4.1 Previsões de Vendedores**

O método é simples: vendedores fazem individualmente suas previsões para a área específica em que atuam, baseados em seus próprios conhecimentos do mercado. A vantagem é que as previsões são feitas por aqueles que estão em contato próximo com o mercado. Porém, evidências empíricas mostram que tais previsões são bastante imprecisas, pois variam muito de acordo com sucesso ou fracasso das últimas previsões e tendem a ser subestimadas, na medida em que são premiados se conseguirem superar metas de vendas.

### **2.3.4.2 Opiniões de Executivos**

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

---

Gerentes, diferentemente de vendedores, tem uma visão global da empresa. Entretanto eles são super otimistas sobre o futuro da firma ou dos produtos pelos quais são responsáveis.

Um Método interessante de se amenizar este viés é reunir um grupo de executivos de diferentes áreas da empresa como planejamento estratégico, vendas, produção e finanças, para decidirem em conjunto qual será a previsão de famílias de itens e/ou dos itens mais críticos. Um revés, porém, é o tempo gasto por eles para elaborarem tais previsões.

### **2.3.4.3 Método Delphi**

A previsão gerada pela reunião de um grupo de executivos, citada anteriormente, não evita totalmente distorções nas previsões (ex.: membros mais influentes no grupo podem impor suas opiniões aos outros). Um método muito eficaz é o Delphi, onde cada executivo fica separado dos demais, e é requisitado a fazer considerações sobre o comportamento da demanda. Um coordenador lê o que cada executivo escreveu, faz um resumo e repassa este para cada executivo novamente. Eles leem o resumo, fazem uma nova análise e entregam ao coordenador novamente. Este processo se repete um determinado número de vezes e ao final pode-se chegar a alguns consensos, sem que tenha havido distorções causadas pela dinâmica do grupo.

### **3. Descrição do Modelo Atual**

---

### 3. Descrição do Modelo Atual

O modelo desenvolvido pelo autor para o Plano de Negócios do quinquênio 2002 – 2006 é um modelo de previsão causal que usa como variável dependente a demanda nacional de cimento e como variáveis independentes o Produto Interno Bruto (PIB) do país e o preço deflacionado do cimento.

Descreveremos neste capítulo o processo de desenvolvimento do modelo e apresentaremos os resultados obtidos. No final, faremos uma crítica ao modelo, destacando seus pontos fortes e fracos (possíveis focos de melhoria).

#### 3.1 Metodologia

A metodologia de desenvolvimento do modelo foi proposta pelo autor e aceita pela EMPRESA e seguiu as seguintes etapas:

- Identificação das variáveis independentes
- Seleção das variáveis com maior correlação a demanda
- Eliminação das variáveis dependentes redundantes
- Escolha das variáveis
- Desenvolvimento de Modelos Aditivos e Multiplicativos
- Escolha do melhor modelo
- Simular o modelo para os anos de 2002 a 2006
- Análise dos resultados e alterações/simplificações necessárias

Descreveremos a seguir cada uma das etapas acima relacionadas, apresentando os resultados obtidos a partir do modelo desenvolvido.

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

### 3.1.1 Identificação das variáveis independentes de poder explicativo

Esta primeira etapa consistiu na realização de entrevistas com especialistas do mercado de cimento (gerentes comerciais, gerentes de venda, membros da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e SNIC (Sindicato Nacional de Indústria do Cimento), etc) na tentativa de se descobrir quais as possíveis variáveis (macroeconômicas e setoriais) que têm poder explicativo em relação à demanda de cimento. As variáveis citadas nas entrevistas foram:

- Produto Interno Bruto (PIB)
- PIB da Construção Civil (PIBcc)
- Preço deflacionado do cimento
- População (Pop)
- Consumo Industrial/Residencial de energia elétrica (EE ind/EE res)
- Massa de rendimentos / Renda
- Salário mínimo deflacionado
- Crédito habitacional
- Nível de Poupança

Feito este levantamento, deu-se início ao processo de coleta de séries históricas das mesmas. As principais fontes utilizadas foram IBGE, IPEA e SNIC. No caso das variáveis crédito habitacional e nível de poupança, não foram encontradas dados históricos ou as séries encontradas eram incompletas, inviabilizando, portanto, a construção de um modelo estatístico de previsão de demanda a partir das mesmas. Em relação às variáveis restantes, foi possível encontrar séries históricas (de maior ou menor amplitude<sup>11</sup>, dependendo do caso). Independente da amplitude das séries disponíveis nas fontes citadas, a coleta de dados se restringiu ao período de 1970 a 2001, anos em que existem informações sobre o mercado de cimento. Uma vez que o objetivo era prever a demanda anual de cimento a

---

<sup>11</sup> Entende-se amplitude como o tamanho da série histórica disponível

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

coleta de dados foi focada na busca de dados anuais das referidas variáveis. Além disso, dados semestrais ou trimestrais podem apresentar sazonalidades o que acabaria por dificultar o tratamento dos mesmos. Os dados coletados encontram-se em anexo.

Terminada a fase de coleta de dados, passamos à etapa seguinte.

### **3.1.2 Seleção das variáveis com maior correlação com a demanda**

Nesta fase do processo, foram feitos testes de correlação entre as variáveis coletadas e a demanda de cimento. Para cada combinação “variável coletada” – “demanda” foram calculados os coeficientes de correlação para as séries não defasadas e defasadas de 1 período (isto é, testou-se a correlação entre a “variável coletada” do ano  $x-1$  e a demanda no ano  $x$ ). Além disso, testaram-se também as correlações entre as variações anuais de cada variável e a demanda, mas não se chegou a resultados significativos.

Feitos os testes, selecionou-se as variáveis com maior correlação com a demanda. Passamos à etapa seguinte

### **3.1.3 Identificação das variáveis independentes auto-correlacionadas**

Como já mencionado no capítulo anterior, problemas de multicolinearidade surgem quando uma variável independente ou uma combinação linear de duas ou mais variáveis independentes é altamente correlacionada com outra variável independente. Se este for o caso, recomenda-se eliminar uma das variáveis independentes já que o Método dos Mínimos Quadrados pode fornecer coeficientes  $b$ 's das variáveis independentes com grandes erros.

Para evitar este tipo de problema, foram feitos testes de correlação entre as possíveis variáveis independentes que foram selecionadas na etapa anterior. Assim, eliminou-se algumas delas.

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

A Tabela 3.1 mostra o coeficiente de correlação entre as possíveis variáveis independentes. Os valores destacados em vermelho assinalam os pares de variáveis que apresentaram alta correlação ( $|R| > 0,9$ ) entre si. Dadas estas correlações se, por exemplo, fosse decidido incluir a variável independente PIB no modelo, automaticamente as variáveis População, Consumo Industrial de Energia Elétrica, Consumo Residencial de Energia Elétrica, Renda Interna Bruta e Massa de Rendimentos não poderiam ser incluídas no mesmo, a fim de se eliminar problemas de multicolinearidade.

Tabela 3.1 Coeficientes de correlação entre possíveis variáveis independentes

	PIB	Preço Jan	População	Consumo Ind de EE	Consumo Res de EE	Renda Interna Bruta	Sal. Mínimo	Massa de Rendimentos
PIBcc	0,86	-0,29	0,78	0,79	0,70	0,85	-0,36	0,78
PIB		-0,44	0,99	0,98	0,95	1,00	-0,71	0,95
Preço Deflac			-0,42	-0,39	-0,56	0,02	0,26	-0,77
População				0,99	0,97	0,96	-0,78	0,89
Consumo Ind de EE					0,94	0,96	-0,79	0,84
Consumo Res de EE						0,93	-0,76	0,84
Renda Interna Bruta							-0,69	0,97
Sal. Mínimo								0,74

### 3.1.4 Escolha das variáveis relevantes

Em função das correlações apresentadas em relação à demanda e das baixas correlações entre as variáveis, decidiu-se utilizar como variáveis independentes o PIB, PIB da Construção Civil e o Preço deflacionado do cimento.

### 3.1.5 Desenvolvimento de Diferentes Modelos

Como apresentado no Capítulo 2, os modelos mais conhecidos de regressão múltipla são os modelos aditivos e os multiplicativos. Os modelos aditivos ainda podem ser subdivididos em lineares e não lineares. No caso de uma regressão simples não existem muitos problemas em se trabalhar com modelos aditivos não lineares, basta linearizar as variáveis (dependente e independente), como citado no capítulo anterior. Já no caso de regressão múltipla a tarefa é mais complicada uma vez que as relações não-lineares entre cada

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

variável independente e a variável dependente podem ser diferentes (logarítmica, exponencial, polinomial, etc). Além disso, como citado por J. ARMSTRONG em resposta a um e-mail enviado pelo autor “modelos não-lineares tem pouco ou nenhum valor quando o assunto é previsão de demanda”.

O método usado para a construção dos modelos foi o MMQ. Em função da natureza deste método, ele nos fornece os coeficientes que minimizarão o erro quadrático entre a série real e a prevista. Entretanto, não necessariamente o modelo com menor erro quadrático será aquele com menor MAPE. Desta forma, a partir dos resultados fornecidos pelo MMQ, foram feitos ajustes empíricos nos coeficientes das variáveis independentes ( $b$ 's) de forma a se encontrar índices que minimizassem o MAPE. Estes ajustes foram feitos através de macros no Excel que testavam uma séries de vetores  $b$ 's e guardavam aquele que apresentasse menor MAPE. O valores testados para cada valor dos  $b$ 's eram próximos aos fornecidos pelo MMQ.

Os modelos desenvolvidos diferem entre si não apenas na sub-categoria em que se enquadram (aditivos ou multiplicativos) mas, principalmente em relação à forma que a variável preço deflacionado foi usada em cada um deles. Em alguns casos usou-se o preço defasado, em outros usou-se a média móvel dos preços dos últimos 3 anos e ainda, em outros casos, a média móvel ponderada dos preços dos últimos 3 anos (com pesos definidos empiricamente pelo autor).

As séries de dado utilizados para se calcular os  $b$ 's tinham uma amplitude de 16 anos (de 1985 até 2001).

### **3.1.6 Escolha do Melhor Modelo do Método Atual**

Uma vez que todos os modelos desenvolvidos não diferem em nada nos fatores custo, complexidade, horizonte de previsão e disponibilidade de dados para a sua construção, o único fator utilizado para a seleção foi a precisão dos mesmos. A precisão foi medida através dos seguintes parâmetros:

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

- MAPE
- R<sup>2</sup>
- EP (MAPE ponderado com maiores pesos para os anos mais recentes, definidos empiricamente pelo autor)
- Erro no último ano 2001

Todos os parâmetros acima foram calculados utilizando-se o mesmo período das séries históricas que foi utilizado para o cálculo dos betas , 1985 a 2001, portanto.

A Tabela 3.2 mostra os erros apresentados por cada modelo desenvolvido.

Tabela 3.2 Erros dos Modelos Desenvolvidos

	Tratamento dado à variável preço	Erro 2001	1985 a 2001			
			MAPE	MPE	R <sup>2</sup>	EP
<b>Aditivo Linear 1</b>	MM até 1993; depois preço do período anterior	2,10%	1,39%	-0,39%	94,62%	1,47%
<b>Aditivo Linear 2</b>	MM em todo o período	0,00%	1,49%	-0,96%	96,86%	1,47%
<b>Multiplicativo 1</b>	MM em todo o período	2,64%	1,58%	-0,80%	98,74%	1,45%
<b>Multiplicativo 2</b>	MM até 1993; depois preço do período anterior	5,59%	1,87%	-0,89%	97,86%	1,93%
<b>Aditivo Linear 3</b>	MM ponderada em todo o período	0,75%	3,10%	-1,69%	96,00%	3,01%
<b>Aditivo Linear 4</b>	MM até 1993; depois preço do período	0,01%	4,16%	-2,84%	91,91%	4,53%

Estes resultados foram apresentados à Gerência da área de Planejamento Estratégico da EMPRESA e foi decidido que seria utilizado o modelo Aditivo Linear 3 (destacado em azul na Tabela 3.2)

### 3.1.7 Simulação de Resultados

Selecionado o melhor modelo, chegamos à fase de simulação de resultados. Uma vez que as variáveis independentes contempladas pelo modelo selecionado eram PIB, PIB da Construção Civil e Preço deflacionado do cimento, existe a necessidade de se prever estas

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

variáveis para o horizonte que se deseja prever a demanda (2002 até 2006). Surge, assim, um sub-problema dentro do problema de se prever a demanda.

Optou-se por não se utilizar métodos quantitativos para se prever as variáveis independentes pois, o tempo para o desenvolvimento e validação do modelo era limitado e, além disso, as projeções destas variáveis é de responsabilidade das áreas financeira (PIB, PIB da Construção e inflação) e comercial (preço do cimento). Desta forma, o modelo foi alimentado pelas premissas das áreas citadas e apresentou os resultados exibidos na Tabela 3.3, que mostra as variações anuais previstas para cada variável; as três primeiras linhas mostram as premissas adotadas na EMPRESA; a quarta linha exibe os resultados do modelo; as duas últimas linhas são manipulações matemáticas dos resultados do modelo:

Tabela 3.3 Premissas e Resultados do Modelo Desenvolvido I

	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação Líquida do Preço de Mercado</b>	12,7%	6,9%	-1,8%	5,4%	2,5%
<b>Variação do PIB</b>	1,5%	0,0%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Variação do PIB da Construção</b>	-3,5%	-3,5%	2,5%	4,0%	0,0%
<b>Variação da Demanda</b>	-3,0%	-3,4%	0,8%	1,1%	0,4%
<b>Variação Acumulada da Demanda</b>	-3,0%	-6,3%	-5,6%	-4,6%	-4,3%
<b>Variação Média Anual da Demanda</b>	-3,0%	-3,2%	-1,9%	-1,2%	-0,9%

### 3.1.8 Análise dos Resultados e Alterações

Após a aprovação do modelo foi proposto que a variável PIB da Construção Civil fosse retirada do modelo. Segundo a Área Financeira esta é uma variável de difícil previsão e considerou-se que o erro na previsão da demanda gerado por possíveis erros na previsão do PIB da Construção justificaria a sua exclusão do modelo.

Foram desenvolvidos novos modelos, seguindo a mesma metodologia aqui apresentada e repetindo-se os passos 5 e 6, mas considerando apenas o PIB e o preço deflacionado como variáveis independentes.

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

O melhor modelo com PIB e preço apresentou resultados semelhantes ao melhor modelo previamente selecionado, que usava também o PIB da Construção como variável independente. Não houve diferenças significativas nos erros apresentados entre os modelos com e sem o PIB da Construção como variável independente. Assim, a proposta de se retirar o PIB da Construção do modelo foi aceita. Os resultados do modelo final, utilizado para previsão de demanda no quinquênio 2002-2006, foram os seguintes:

Tabela 3.4 Premissas e Resultados do Modelo Desenvolvido II

	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação Líquida do Preço de Mercado</b>	12,7%	6,9%	-1,8%	5,4%	2,5%
<b>Variação do PIB</b>	1,5%	0,0%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Variação da Demanda</b>	-1,8%	-3,0%	0,2%	0,2%	0,3%
<b>Variação Acumulada da Demanda</b>	-1,8%	-4,8%	-4,6%	-4,4%	-4,1%
<b>Variação Média Anual da Demanda</b>	-1,8%	-2,4%	-1,6%	-1,1%	-0,8%

### 3.2 Críticas e Possíveis Melhorias

Todo o processo de desenvolvimento de modelos de previsão de demanda está sujeito a erros e pontos em que poderiam haver melhorias. Para desenvolvimentos futuros, devemos considerar os seguintes pontos em relação ao modelo de previsão 2002-2006 e ao seu desenvolvimento:

- Modelo causal foi, de pressuposto, admitido como o mais adequado; outros modelos não foram testados;
- Período de inicialização e testes dos modelos são os mesmos; os erros foram calculados para todos os anos em que as séries foram utilizadas para se estimar os coeficientes das variáveis independentes (b's) (1985-2001);
- Uso da média móvel ponderada de preços pode distorcer a análise pois, em essência, está se afirmando que o preço de dois anos atrás influencia na demanda do ano corrente
- Variáveis independentes não foram projetadas;

## Capítulo 3 – Descrição do Modelo Atual

---

- O processo de seleção das variáveis independentes, apesar de ser o intuitivamente mais correto, não é recomendado por MAKRIDAKIS et al. (1998);
- Acredita-se que a precisão do modelo possa ser melhorada.

No próximo capítulo, aplicando-se os métodos apresentados no Capítulo 2, tentar-se-á, não só cumprir os objetivos previamente estabelecidos no Capítulo 1, mas também preencher as lacunas acima descritas.

## 4. Aplicação dos Métodos de Previsão

---

## 4. Aplicação dos Métodos de Previsão

Neste capítulo serão confrontadas alternativas de métodos de previsão e se analisarão os resultados. Nesta etapa também serão feitas a seleção e a coleta dos dados necessários para a construção de cada tipo de modelo.

O capítulo será dividido em duas partes, uma na qual serão explorados métodos de séries temporais e outra na qual exploraremos métodos de regressão. Dentro da segunda parte, em determinados casos serão usadas algumas ferramentas de previsão por séries temporais, servindo a primeira parte também como suporte teórico para a segunda.

Foi feita a opção de se usar um software estatístico, o Minitab, para a previsão em função de que julgou-se que a construção de modelos próprios seria muito trabalhosa e, além disso, redundante uma vez que existem programas que tornam o tratamento de dados mais simples e direto.

### 4.1 Modelos de Projeção (Série Temporal)

Como explicado no Capítulo 2, nestes modelos admite-se que a variável de interesse terá no futuro um comportamento similar ao comportamento observado no passado. As possíveis causas da demanda não são levadas em consideração nestes métodos. Mesmo sendo recomendados para projeções de curto prazo, considerou-se válida a aplicação destes métodos que, de forma geral, são mais simples que os métodos explicativos mas podem apresentar bons resultados.

Dentre os métodos existentes e apresentados no capítulo, dois deles serão explorados neste item: os de suavização exponencial simples e dupla. Além destes métodos os métodos de média móvel, ARIMA, de suavização exponencial Winters (ajustado para tendência e sazonalidade) e de decomposição também estão disponíveis no Minitab., mas decidiu-se não aplica-los pois, no caso dos métodos de Winters e de decomposição admite-se a

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

existência de sazonalidades, o que para dados agregados (isto é, demanda anual e não mensal ou trimenstral) não é adequado. O método de média móvel foi descartado por sua inaquabilidade para previsões de longo prazo. Já o método ARIMA foi descartado por sua grande complexidade e necessidade de uma série histórica muito extensa.

Os dados da demanda foram obtidos com o SNIC, associação da qual a EMPRESA faz parte. O SNIC divulga mensalmente, semestralmente e anualmente relatórios relativos aos mercados, evolução da demanda, etc. A base de dados que possuímos vai desde o ano de 1970 até 2001. Em função da necessidade de confidencialidade das informações a variável demanda foi tratada índice, de forma que em 1970 seu valor fosse 1,00.

Segue a descrição da utilização de cada método.

### 4.1.1 Métodos de Suavização Exponencial

#### Simples

Para a aplicação e validação dos métodos de suavização exponencial é necessário se definir um período de inicialização e outro de testes, como descrito no Capítulo 2. No caso do método de suavização simples, foram definidos 3 períodos de inicialização diferentes (de 1970 até 1996, de 1980 até 1996 e de 1990 até 1996), testou-se o modelo para os últimos 5 anos (de 1997 até 2001) e, para este período calculou-se o MAPE de cada previsão. O período escolhido para testes foi de 5 anos em função de ser este o horizonte de previsão do Plano de Negócios elaborado anualmente pela EMPRESA, como já explicado no Capítulo 1.

Os resultados podem ser vistos nos gráficos a seguir:

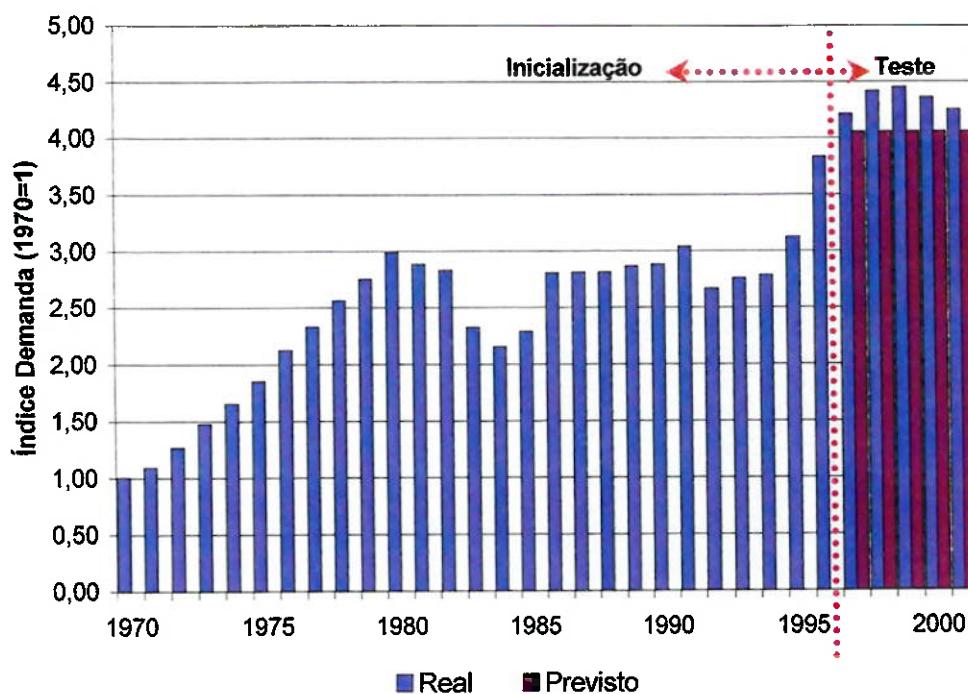


Figura 4.1 Resultados do Método de Suavização Simples I

A saída do Minitab é a seguinte:

Tabela 4.1 Saída do Minitab para o Método de Suavização Simples

Data Demanda 70				
Length	27			
NMissing	0			
Smoothing Constant				
Alpha	= 1,35921			
Accuracy Measures				
MAPE	= 7,45253			
MAD	= 0,18301			
MSD	= 0,05775			
Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	28	4,05163	3,60325	4,50002
2	29	4,05163	3,60325	4,50002
3	30	4,05163	3,60325	4,50002
4	31	4,05163	3,60325	4,50002
5	32	4,05163	3,60325	4,50002

Como pode-se observar, o método de suavização exponencial simples pressupõem uma demanda constante para os anos seguintes (período de testes) e, consequentemente, não capta o efeito real da variação de demanda nos anos de 1997 a 2001 (crescimento até 1999).

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

e depois decréscimo até 2001). Os intervalos de confiança apresentados são para um nível de 95% de confiança e, como pode-se comprovar, também são constantes.

Mais do que isso, um fato que chama bastante a atenção é de que o índice alfa ( $\alpha$ ) é maior do que 1. Isso indica claramente que há um padrão de tendência nos dados da demanda. Para comprovar tal fato, foi construído um modelo em Excel e foi usado o Solver para se encontrar o índice alfa ( $\alpha$ ) que minimizasse a soma dos erros quadráticos, mas impondo a restrição de que o valor de alfa deveria estar entre 0 e 1. O resultado obtido foi alfa igual a 1. Fica óbvio que o método de suavização simples não é o mais adequado para a previsão da demanda de cimento.

Os outros resultados do método de suavização exponencial simples, utilizando outros período de inicialização (1980-1996 e 1990-1996), encontram-se em anexo.

Observando os valores da estatística Durbin-Watson calculada para o período de testes (Tabela 4.2) fica evidente que existe um padrão de comportamento dos resíduos. Em todos os casos o valor de D-W é bem menor que 1, indicando que os erros tendem a ser positivos. Outra variável de interesse é o MAPE para o período de teste. Assim como no caso da estatística D-W, não houve grandes diferenças entre os MAPE's para os diferentes períodos de inicialização. Entretanto os valores são considerados altos visto que foram calculados em um período de testes de apenas 5 anos.

Tabela 4.2 Resultados dos Métodos de Suavização Simples

1970 - 1996		1980 - 1996		1990 - 1996	
MAPE	D-W	MAPE	D-W	MAPE	D-W
6,6%	0,13	7,1%	0,12	5,6%	0,18

### Dupla

O método de suavização dupla disponível no Minitab é o método de Holt, descrito no Capítulo 2. Os períodos de inicialização e teste usados para a aplicação do método de suavização exponencial dupla foram os mesmos usados no item anterior. Os resultados obtidos foram os seguintes:

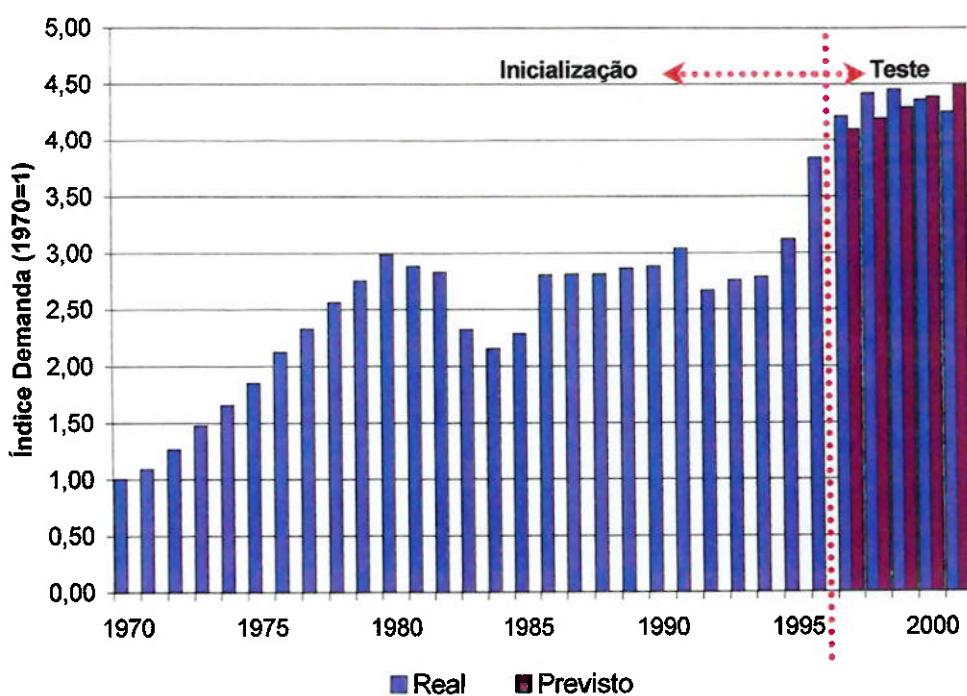


Figura 4.4 Resultados do Método de Suavização Dupla I

A saída do Minitab é a seguinte:

Tabela 4.3 Saída do Minitab para o Método de Suavização Dupla

Data	Demanda 70			
Length	27			
NMissing	0			
<u>Smoothing Constant</u>				
Alpha (level)	= 1,29910			
Gamma (trend)	= 0,03570			
<u>Accuracy Measures</u>				
MAPE	= 7,54462			
MAD	= 0,17587			
MSD	= 0,05501			
Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	28	4,10409	3,67322	4,53497
2	29	4,20231	3,39628	5,00833
3	30	4,30052	3,11094	5,49010
4	31	4,39873	2,82332	5,97415
5	32	4,49695	2,53476	6,45914

Mais uma vez não é captado o efeito real de variação da demanda mas só para o período de 1999 a 2001, pois no período de 1997 a 1999, quando houve crescimento da demanda, este efeito é captado pelas previsões-teste.

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

Ao contrário do método de suavização simples, no método de suavização dupla, é admitida a existência de uma tendência. Isso fica evidente pelos resultados observados. Novamente o índice alfa é maior do que um e o índice gama (que indica a tendência) é bem baixo. Uma das possíveis razões pela qual o índice de nível (alfa) foi alto, indicando a existência de tendência, e o índice de tendência (gama) encontrado foi baixo é que a tendência existente na demanda entre 1970 e 1996 não é constante, isto é, houve um período de crescimento praticamente linear na década de 70 (a década do “Milagre Econômico”), na década de 80 (a “Década Perdida”) houve uma estagnação da demanda e um crescimento mais acentuado a partir da implantação do Plano Real (1994). Para comprovar a existência desta tendência não constante testou-se o método de suavização dupla de Holt para as décadas de 70 e 80. Os resultados foram os seguintes:

Tabela 4.4 Teste do Método de Suavização Dupla (décadas de 70 e 80)

Década de 70		Década de 80	
Alfa	Gama	Alfa	Gama
0,176	5,399	1,418	0,010

Pelos resultados da tabela acima fica claro o que foi descrito: tendência de crescimento na década de 70 (índice gama igual a 5,4 (!)) e estagnação na década de 80 (gama praticamente igual a zero). Por esta é razão, quando se utiliza um período de inicialização que inclua as duas décadas (como é o caso do período de 1970 a 1996) podem ocorrer as incoerências apresentadas na Tabela 4.3.

Outro ponto que chama a atenção nos resultados da Tabela 4.3 são os intervalos de confiança que, ao contrário da suavização simples, não são constantes mas sim crescentes.

Os outros resultados do método de suavização exponencial dupla, utilizando outros período de inicialização (1980-1996 e 1990-1996), encontram-se em anexo.

Observando as variáveis MAPE e D-W para os diferentes casos, vemos que os melhores resultados foram os apresentados pelo modelo que teve o maior período de inicialização

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

(1970-1996); apesar de o valor de D-W para este período ser consideravelmente menor que 2, denotando um viés positivo dos erros, ele já é melhor que os apresentados pelos modelos de suavização simples.

Tabela 4.5 Resultados dos Métodos de Suavização Dupla

1970 - 1996		1980 - 1996		1990 - 1996	
MAPE	D-W	MAPE	D-W	MAPE	D-W
3,5%	0,64	4,2%	0,29	55,1%	0,11

### 4.2 Modelos Causais

Estes métodos admitem que a variável de interesse depende de uma ou mais variáveis explicativas e que essa relação existente no passado, que pode ser expressa através de uma fórmula matemática, irá se manter no futuro. Estes modelos são os mais recomendados para previsões de longo prazo.

Em relação à etapa de coleta de informações, além dos dados de demanda serão necessários outros dados uma vez que estaremos buscando variáveis explicativas.

#### 4.2.1 Coleta de Dados

Antes de se coletar os dados é necessário que se defina que dados estamos buscando. A busca de possíveis variáveis explicativas da demanda deve levar em consideração todos os fatores quantificáveis que podem influenciar-a. Independentemente do caso que estivermos estudando, é necessário que se consulte especialistas na área para identificarmos potenciais variáveis explicativas. Neste caso, pode-se aproveitar a experiência do desenvolvimento do modelo de projeção usado pela EMPRESA para o quinquênio 2002 – 2006, apresentado no Capítulo 3. Assim teremos uma primeira lista de possíveis variáveis independentes:

- Produto Interno Bruto (PIB)
- PIB da Construção Civil (PIBcc)

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

- Preço (de mercado) deflacionado do cimento
- População (Pop)
- Consumo (Industrial/Residencial) de energia elétrica (EE ind/EE res)
- Massa de rendimentos
- Salário mínimo
- Crédito habitacional
- Nível de Poupança
- Taxa Básica de Juros

Elaborada esta lista, devemos partir para a coleta de dados propriamente dita. A maioria das fontes de informação utilizadas é de acesso livre (p.e. IBGE, IPEA, ANEEL e BACEN). Algumas delas são de acesso restrito (p.e. informações do mercado de cimento, ou alguns outros dados macroeconômicos mais específicos). Com exceção da variável crédito habitacional foram encontradas séries para todas as outras variáveis. Para as variáveis nível de poupança e taxa básica de juros não foram encontradas séries completas de dados o que inviabilizou o uso das mesmas. Por fim, a variável massa de rendimentos só apresenta série disponível a partir do ano de 1991 e, portanto, não foi considerada na análise. Todas as outras variáveis apresentam séries disponíveis a partir de 1970 e foram tratadas como índice para facilitar a análise dimensional.

Os dados coletados encontram-se em anexo.

### **4.2.2 Métodos utilizados**

Feita esta pré-seleção de dados, devemos decidir quais das variáveis serão utilizadas no modelo de projeção, pois se fossemos utilizar todas elas o modelo teria pouca trabalhabilidade e não seria, necessariamente, melhor que um modelo que usasse todas elas. Como já explorado no Capítulo 2, o método mais intuitivo e mais simples, quando não se tem um software estatístico, para a seleção das variáveis independentes, que seria descartar as variáveis que não apresentem alta correlação com a demanda, analisar as correlações

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

entre as possíveis variáveis independentes e, havendo uma alta correlação, descartar uma das variáveis, não é recomendado por MAKRIDAKIS et al. (1998). Ao invés disso os autores recomendam outras análises, como por exemplo, Best Subset Regression e Stepwise Regression. Com o Minitab é possível realizar estes dois procedimentos. Em essência os resultados fornecidos por eles é o mesmo. A diferença está no fato que no método Best Subset são calculados os coeficientes de correlação entre a variável dependente e as diferentes combinações de variáveis independentes especificadas. O Minitab reporta os resultados das duas combinações de variáveis independentes que apresentaram maior coeficiente de correlação, para cada número de variáveis independentes presentes na regressão. Além de reportar os  $R^2$ , o Minitab reporta também os valores do  $R^2$  ajustado, da estatística Cp e de s (raiz quadrada do erro quadrático médio).

A estatística Cp é dada pela fórmula:

$$Cp = \frac{SSE_p}{MSE_m} - (n - 2p) \quad (4.1)$$

Em que SSE<sub>p</sub> é a soma dos erros quadráticos do melhor modelo com p variáveis independentes e MSE<sub>m</sub> é o erro quadrático médio do modelo com todas as possíveis variáveis independentes especificadas

Em geral, busca-se modelos com baixo valor de Cp (próximo do valor de p). Se o modelo é adequado, isto é, se adere bem aos dados, o valor esperado de Cp é próximo ao valor de p (o número de variáveis independentes presentes no modelo). Um baixo valor de Cp indica que o modelo é relativamente preciso (isto é, tem pequena variância) na estimativa dos coeficientes da regressão e, consequentemente, bom para prever valores futuros da variável dependente.

No método Stepwise, as possíveis variáveis independentes são adicionadas e removidas do modelo de regressão até se encontrar a combinação de variáveis explicativas que apresentem maior correlação (medida pelo coeficiente de determinação,  $R^2$ ) com a variável dependente. Com o Minitab é possível realizar três procedimentos normalmente: regressão

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

stepwise padrão (na qual as possíveis variáveis independentes são adicionadas e removidas), forward selection (possíveis variáveis independentes são adicionadas) e backward elimination (possíveis variáveis independentes são removidas).

Apesar destes dois métodos serem mais recomendados que uma simples análise das correlações entre a variável dependente e as independentes e entre as independentes entre si, alguns pontos devem ser levados em consideração quando aplicados estes métodos mais complexos e recomendáveis:

- Estes procedimentos podem selecionar variáveis independentes que, por acaso, tem uma boa aderência à variável dependente mesmo que não haja uma relação causal entre as mesmas
- Os procedimentos são heurísticos e, portanto, podem acabar selecionando uma combinação de variáveis independentes que não necessariamente é a que apresenta maior correlação com a variável dependente
- Sob o ponto de vista prático uma análise qualitativa dos dados também é importante (para se verificar, por exemplo, a existência de defasagem entre uma variável explicativa e a variável de resposta)
- Os métodos explorados não contemplam possíveis problemas de multicolinearidade que podem vir a existir

Em particular, este último problema é muito comum quando aplicados os métodos que estamos tratando e, caso não se proceda uma análise qualitativa dos dados a fim de evita-lo, pode-se comprometer a qualidade do modelo de regressão obtido.

Uma vez que, em essência, tanto o método Best Subset e o Stepwise fornecem os mesmos resultados, apenas um deles será aplicado. Decidiu-se que será o Best Subset.

### **4.2.3 Aplicação do método**

Em princípio pensou-se em usar três diferentes períodos de inicialização (1970-1996, 1980-1996, 1991-1996) e um período de testes (1997-2001), como foi feito no caso dos métodos

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

de séries temporais. O terceiro período de calibração (1991-1996) não teria início em 1990, como no caso das séries temporais, pois a variável massa de rendimentos só apresenta série disponível a partir de 1991. Porém, um período de inicialização de apenas 6 anos é pequeno para se realizar uma regressão e, como podemos ver nos resultados fornecidos pelo Minitab (Tabela 4.5), para o período 1991-1996 as correlações existentes entre as possíveis variáveis explicativas, na maioria dos casos, é alta o que geraria problemas de multicolinearidade. Portanto o período de 1991-1996 foi desconsiderado nesta análise.

Tabela 4.6 Coeficientes de Correlação entre variáveis no período de 1991 a 1996

	PIBcc	PIB	Preço	Pop	EE ind	EE res	Rend
<b>PIB</b>		<b>0,93</b>					
<b>Preço</b>		-0,81	-0,72				
<b>Pop</b>		0,90	0,98	-0,63			
<b>EE ind</b>		0,93	0,94	-0,68	<b>0,94</b>		
<b>EE res</b>		0,95	0,93	-0,76	0,92	<b>0,97</b>	
<b>Rend</b>		0,89	0,87	<b>-0,91</b>	0,79	0,82	0,89
<b>Sal Mín</b>		0,83	<b>0,90</b>	-0,62	<b>0,93</b>	0,84	0,81
							0,67

Por motivos que serão explicados adiante, a variável preço foi desconsiderada na análise do período de 1970-1996. Aplicando o método para o período, obteve-se:

Tabela 4.6 Saída do Minitab para o método best subset (1970-1996) I

Response is Demanda					
Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	C-p	S	S
					E E a
					P E E 1
					I
					B P P i r M
					c I o n e i
					c B p d s n
1	85,9	85,4	241,9	0,26043	X
1	82,7	82,0	301,9	0,28840	X
2	94,4	93,9	84,4	0,16763	X X
2	92,3	91,6	124,4	0,19696	X X
3	98,3	98,1	13,0	0,094310	X X X
3	96,8	96,4	40,6	0,12877	X X X
4	98,7	98,5	7,7	0,084710	X X X X
4	98,3	98,0	14,4	0,095521	X X X X
5	98,9	98,6	6,4	0,080708	X X X X X
5	98,7	98,4	9,6	0,086670	X X X X X
6	98,9	98,6	7,0	0,080006	X X X X X X

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

Como podemos observar o modelo de regressão aparentemente mais adequado (menor valor de Cp) deve ter como variáveis independentes PIB, PIB da construção civil, consumo industrial de energia elétrica, consumo residencial de energia elétrica e salário mínimo. Entretanto, quando realizamos uma regressão com estas variáveis, obtemos a seguinte equação:

$$\text{Demanda} = -0,463 + 2,41 \text{ PIBcc} - 2,65 \text{ PIB} + 0,118 \text{ EE ind} + 0,637 \text{ EE res} + 0,862 \text{ Sal Mín}$$

Mesmo que “estatisticamente correta” a equação acima apresenta um contra-senso muito grande: a variável PIB possui coeficiente negativo. Em outras palavras, o que a equação diz é que se o PIB do país crescer, a demanda de cimento irá decrescer.

Quando verificamos as correlações existentes entre as variáveis explicativas, porém, comprovamos que, no período analisado, existe uma alta correlação (alto coeficiente de Pearson) entre o PIB e os consumos de energia elétrica (tanto residencial quanto industrial) e entre os consumos entre si., como podemos observar na tabela a seguir:

Tabela 4.7 Coeficientes de Correlação entre variáveis (1970 a 1996)

	PIBcc	PIB	Pop	EE ind	EE res
PIB	0,83				
Pop	0,71	0,98			
EE ind	0,72	0,97	0,99		
EE res	0,61	0,94	0,98	0,95	
Sal Mín	-0,29	-0,73	-0,83	-0,82	-0,87

Portanto, a fim de evitar problemas de multicolinearidade, não é interessante que o modelo tenha como variáveis independentes, ao mesmo tempo, PIB e consumos de energia elétrica ou PIB e população ou população e consumos de energia elétrica ou ainda consumo residencial e industrial de energia.

Aplicando-se o método Best Subset novamente, mas apenas com as variáveis PIB, PIB da construção, população e salário mínimo, obtem-se:

Tabela 4.8 Saída do Minitab para o método best subset (1970-1996) II

Vars	Response is Demanda					
	R-Sq	R-Sq(adj)	C-p	S	S	
	85,9	85,4	17,7	0,26043	a	I
	82,7	82,0	26,9	0,28840	P	B
	92,3	91,6	1,3	0,19696	P	P
	92,1	91,5	1,7	0,19858	P	M
	92,4	91,4	3,0	0,19975	c	I
3	92,4	91,3	3,3	0,20119	o	i
3	92,3	91,3	3,3	0,20119	x	
4	92,4	91,0	5,0	0,20421	x	

A seguir, são apresentados os resultados dos dois modelos com menores valores de Cp.

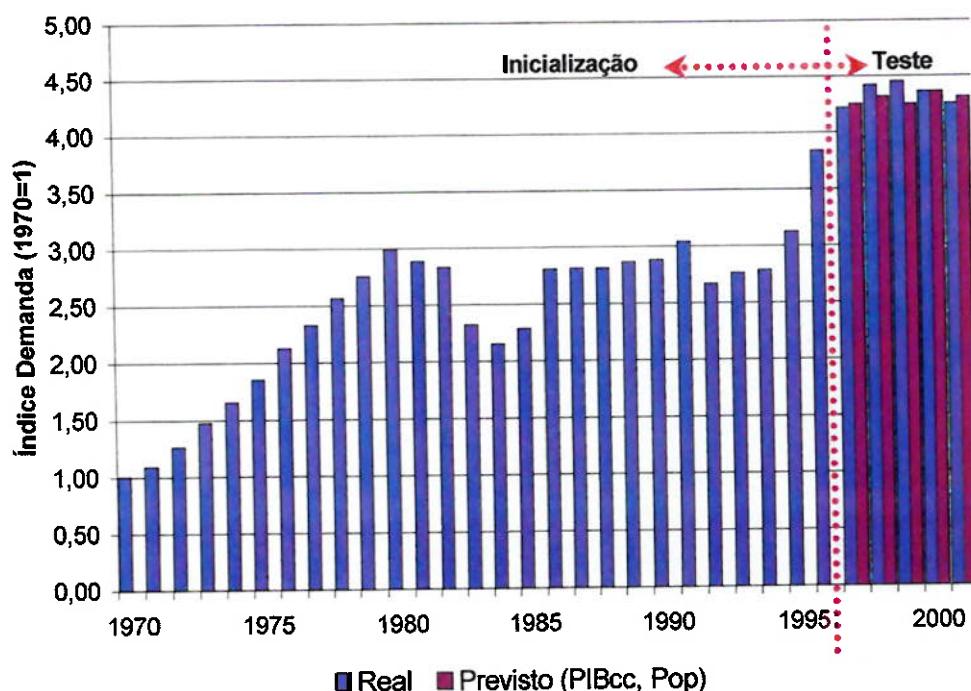


Figura 4.7 Modelo de Regressão PIB da construção e população

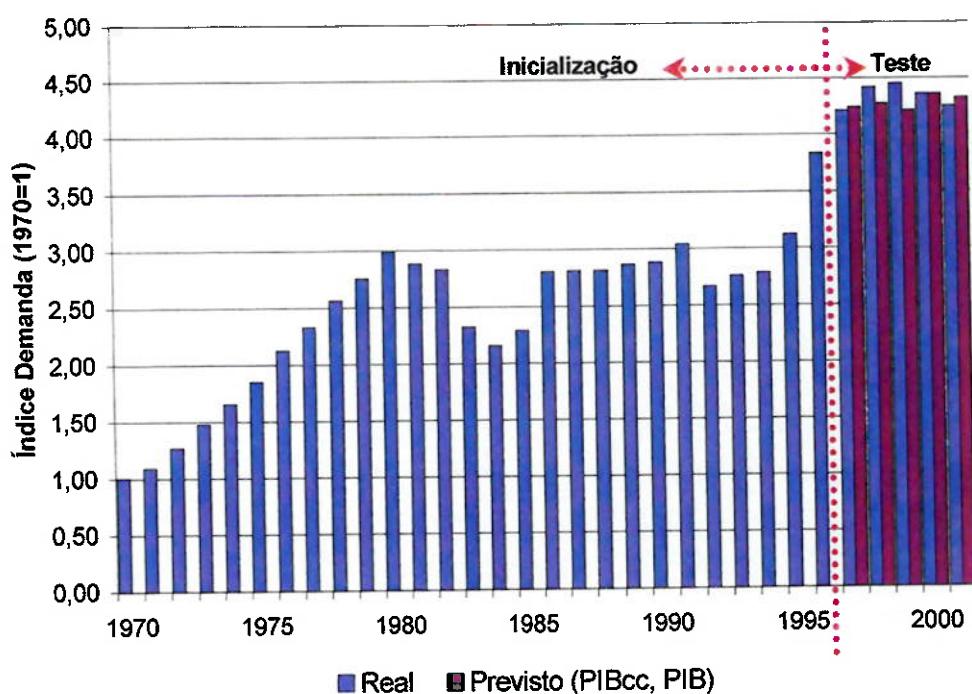


Figura 4.8 Modelo de Regressão PIB da construção e PIB

Os resultados dos modelos podem ser observados na Tabela 4.9. Além dos valores do MAPE e da estatística D-W (para o período de testes) foram calculados também os valores de  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado e de Cp. Apesar dos valores de D-W para os dois modelos causais serem significativamente maiores e mais próximos de 2 do que os valores apresentados pelos modelos temporais, ainda não se pode afirmar que os resíduos são aleatórios. Os MAPE's também merecem destaque pois são bem menores que os apresentados pelos modelos temporais. Os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado mostram a boa aderência dos dois modelos.

Tabela 4.9 Resultados dos Modelos Causais I

1970-1996									
PIBcc, Pop					PIBcc, PIB				
MAPE	D-W	$R^2$	$R^2$ ajustado	Cp	MAPE	D-W	$R^2$	$R^2$ ajustado	Cp
1,8%	1,32	92,3%	91,6%	3,0	2,2%	1,21	92,1%	91,5%	3,0

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

Para o período de 1980 a 1996 a variável preço foi incluída na análise. A razão pela qual ela não foi considerada no período anterior e agora sendo é que, como podemos observar no gráfico abaixo, a demanda de cimento passa a ter uma relação de dependência maior com o preço a partir de 1980.

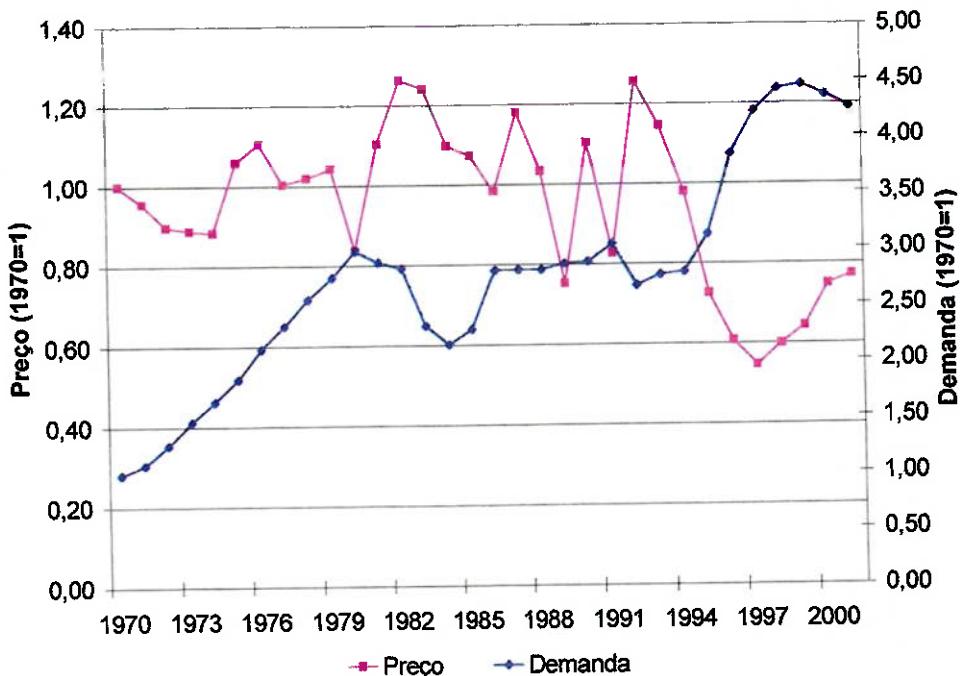


Figura 4.9 Demanda e preço do cimento I

Podemos então comprovar como é importante, além das análises quantitativas dos dados, fazer uma análise qualitativa também pois, do contrário, é possível que se construa modelos que, mesmo tendo muito significado estatístico, não possuam muita aplicação prática.

Ainda em relação à variável preço, indo mais a fundo na análise qualitativa dos dados pode-se verificar que existe um certa defasagem de um ano entre o aumento (ou redução) de preço e a queda (ou crescimento) de demanda. Considerando esta defasagem e excluindo alguns outliers, podemos ver a clara relação existente entre a demanda e o preço do cimento:

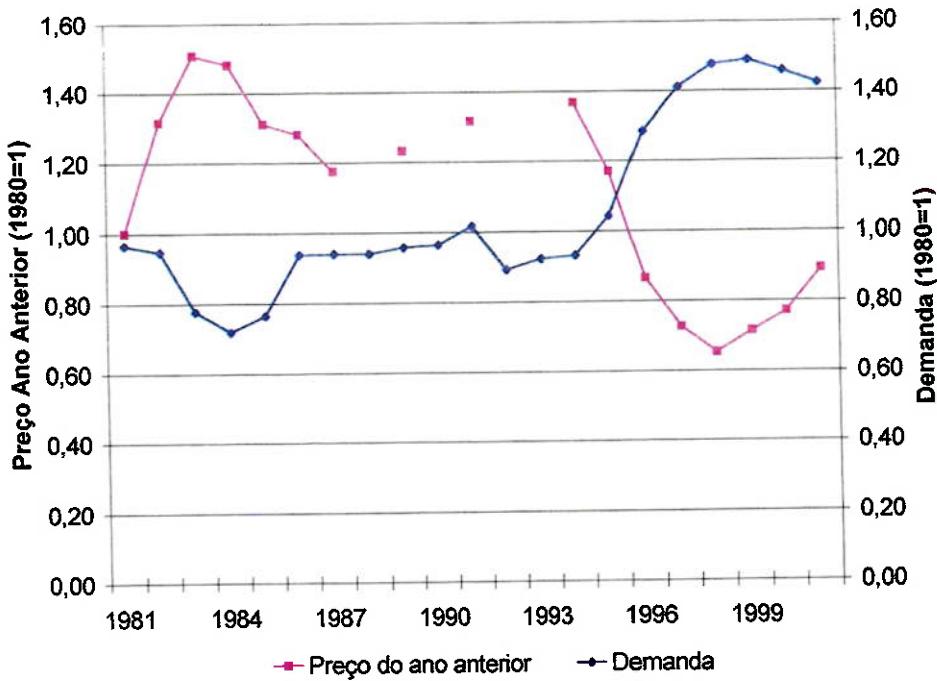


Figura 4.10 Demanda e preço do cimento II

Portanto, além das variáveis já consideradas na análise do período de 1970-1996, o preço e o preço defasado (em 1 ano) também serão considerados.

Antes de se aplicar o método Best Subset vamos verificar as correlações existentes entre as possíveis variáveis explicativas:

Tabela 4.10 Coeficientes de Correlação entre variáveis (1980 a 1996)

	PIBcc	PIB	Preço	Preço Def	Pop	EE ind	EE res
PIB	0,28						
Preco	-0,48	-0,60					
Preço Def	-0,36	-0,33	0,28				
Pop	-0,05	0,93	-0,43	-0,27			
EE ind	0,05	0,92	-0,43	-0,23	0,93		
EE res	0,00	0,93	-0,50	-0,35	0,99	0,88	
Sal Min	0,20	-0,77	0,19	0,27	-0,90	-0,86	-0,85

Novamente verificamos uma alta correlação entre PIB e consumos de energia. Ganham destaque também as altas correlações existentes entre população e PIB, consumos de energia e população e salário mínimo e população. Portanto estes pares de variáveis não

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

podem coexistir no modelo de regressão. Aplicando-se o método Best Subset, obtém-se os seguintes resultados:

Tabela 4.11 Saída do Minitab para o método best subset (1980-1996)

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	C-p	S	P							
					r	s	e	E	E	a	P	P
I	r	o	B	P	e	P	i	r	M	c	I	ç
					D	o	n	é		B	o	e
					p	d	s	n		p	d	s
1	47,2	43,4	185,9	0,095769	X							
1	46,0	42,2	190,1	0,096790		X						
2	75,8	72,1	80,7	0,067292	X						X	
2	70,4	65,9	100,9	0,074388				X	X		X	X
3	95,3	94,1	9,7	0,030961	X		X	X			X	X
3	92,0	90,0	22,0	0,040288	X	X					X	
4	96,9	95,7	5,7	0,026273	X	X		X	X		X	X
4	95,7	94,2	10,0	0,030691	X		X	X	X		X	X
5	97,9	96,9	3,9	0,022579	X	X		X	X	X		
5	96,9	95,4	7,5	0,027286	X	X		X	X	X		
6	98,0	96,7	5,5	0,023235	X	X	X		X	X	X	
6	97,9	96,6	5,7	0,023573	X	X		X	X	X	X	
7	98,1	96,5	7,0	0,023832	X	X	X	X	X	X	X	
7	98,0	96,3	7,3	0,024346	X	X	X		X	X	X	X
8	98,1	96,0	9,0	0,025474	X	X	X	X	X	X	X	X

Como vemos na maioria das combinações de variáveis existem problemas de multicolinearidade. Desta forma, foram testadas outras combinações, que não necessariamente as apresentadas como melhores pelo método Best Subset. Os resultados são exibidos nos gráficos a seguir:

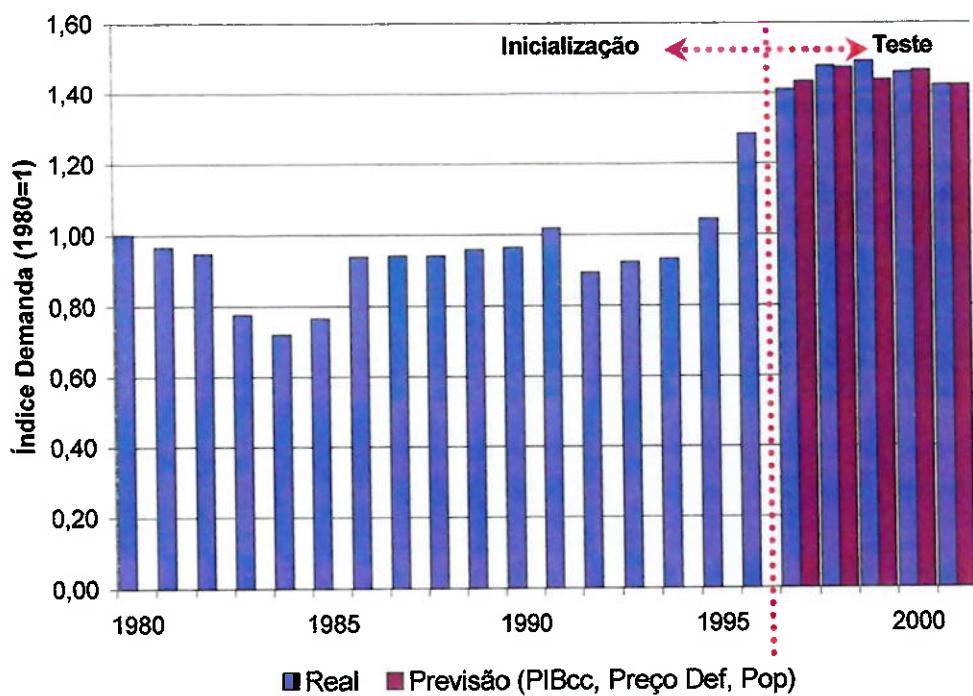


Figura 4.11 Modelo de Regressão PIB da construção, preço defasado e população

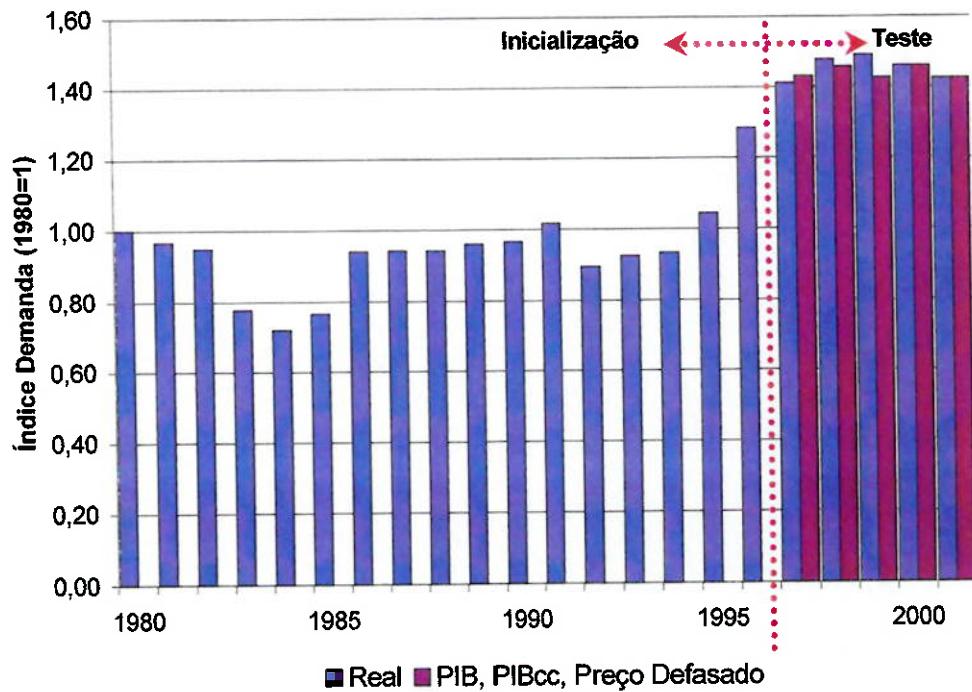


Figura 4.12 Modelo de Regressão PIB, PIB da construção e preço defasado

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

Os resultados fornecidos por cada modelo podem ser observados na Tabela 4.6. Os erros percentuais absolutos médios forma menores que os dos modelos causais com período de inicialização 1970-1996. Em relação à estatística D-W, o único modelo que nos permite afirmar que não existe autocorrelação entre os resíduos (ou erros) é o que usa como variáveis independentes o PIB da Construção, o Preço Defasado e a População; em relação ao modelo com PIB da Construção, PIB e Preço Defasado, apesar deste apresentar um valor de D-W no período de testes menor que os apresentados nos modelos causais com período de inicialização maior, não se pode afirmar categoricamente que os erros são aleatórios. Outro ponto que merece destaque são os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado que, mesmo que não tão altos quanto os apresentados anteriormente, ainda assim mostram que os modelos têm boa aderência.

Tabela 4.12 Resultados dos Modelos Causais II

1980-1996									
PIBcc, Preço Defasado, Pop					PIBcc, PIB, Preço Defasado				
MAPE	D-W	$R^2$	$R^2$ ajustado	Cp	MAPE	D-W	$R^2$	$R^2$ ajustado	Cp
1,1%	1,95	75,7%	69,7%	4,0	1,4%	1,57	73,3%	66,6%	4,0

### 4.2.4 Projeção das variáveis explicativas

É importante atentarmos ao fato que as projeções feitas para o período de testes (1997-2001) são baseadas nos valores reais que as variáveis independentes assumiram nestes anos. Na prática, entretanto, se quisermos utilizar métodos causais para prever a demanda para os próximos 5 anos, deveremos projetar também as variáveis explicativas.

Nos anos em que se usou modelos causais para a previsão de demanda utilizada no Plano de Negócios da EMPRESA as variáveis independentes foram projetadas qualitativamente. Desta forma, dois procedimentos poderiam ser utilizados para se poder avaliar os verdadeiros erros dos métodos causais explorados neste trabalho:

- Fazer previsões quantitativas das variáveis causais de cada modelo apresentado, usando como períodos de inicialização 1970-1996 e 1980-1996 e período de teste 1997-2001

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

- Verificar se foram feitas, na EMPRESA, projeções das variáveis explicativas presentes nos modelos aqui desenvolvidos, para os anos de 1997 a 2001

No caso de fazermos previsões quantitativas das variáveis independentes, serão usados apenas métodos de séries temporais, uma vez que o uso de métodos causais implicaria em tratar as variáveis independentes como dependentes de segunda ordem, o que é extremamente complexo e não necessariamente traria melhores resultados.

Consultando os Planos de Negócios dos anos de 1995, 1996 e 1997 pôde-se comprovar que, dentre as variáveis utilizadas nos modelos causais desenvolvidos neste capítulo, a única variável que projetava-se qualitativamente era o PIB. Desta forma não é possível avaliar os erros dos modelos baseando-se nas premissas qualitativas passadas assumidas na EMPRESA, afinal os modelos causais apresentados neste capítulo possuem outras variáveis independentes que não apenas o PIB.

Será utilizado o período de 1970 a 1996 como período de inicialização para se projetar as variáveis PIB, PIB da Construção e população (pois estas são as que são contempladas pelos modelos desenvolvidos usando o período de inicialização de 1970 a 1996). Analogamente, o período de 1980 a 1996 será usado com inicialização para se projetar o PIB, PIB da Construção, Preço do cimento e População. Será aplicado apenas o método de suavização de Holt. As projeções das variáveis independentes encontram-se em anexo.

Com as projeções feitas para os anos de 1997 a 2001 podemos reavaliar os erros fornecidos pelos modelos causais. A Tabela 4.13 mostra os novos erros (MAPE e estatística D-W) que foram obtidos usando projeções das variáveis causais para os anos de 1997 a 2001, de acordo com o período de inicialização.

Tabela 4.13 Resultados dos Modelos Causais III

1970-1996		1980-1996					
PIBcc, Pop		PIBcc, PIB		PIBcc, Preço Defasado, Pop		PIBcc, PIB, Preço Defasado	
MAPE	D-W	MAPE	D-W	MAPE	D-W	MAPE	D-W
3,2%	0,70	3,3%	0,69	3,8%	0,56	3,8%	0,66

## Capítulo 4 – Aplicação dos Métodos de Previsão

---

Pode-se observar que os resultados são expressivamente piores dos que os fornecidos usando-se os valores reais das variáveis independentes nos períodos de teste. Ainda assim, os resultados são melhores dos que os fornecidos pelos modelos de séries temporais.

# 5. Discussão dos Resultados e Análises dos Melhores Modelos

---

## 5. Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos

Em função dos resultados apresentados no Capítulo 4 e, com base nos critérios já definidos no Capítulo 2, serão escolhidos os melhores modelos. Feita esta definição, far-se-á a projeção de demanda para os próximos 5 anos.

Primeiro faremos um confronto entre os diferentes métodos de série temporal explorados. Baseado nos critérios de decisão se decidirá qual o modelo mais adequado.

Em seguida será feito o confronto entre os resultados apresentados pelos métodos causais e, baseando-se nos mesmos critérios de decisão utilizado para os métodos temporais, se decidirá pelo modelo causal mais adequado.

Serão analisadas as vantagens e desvantagens, abrangências e limitações e sob que condições podem ser aplicados os modelos de cada classe (temporal e causal).

Finalmente, os resultados dos modelos selecionados serão comparados com os do modelo previamente desenvolvido pelo autor para o Plano de Negócio 2002-2006 e avaliar-se-á se os objetivos do trabalho foram atingidos.

### 5.1 Modelos Temporais

Como explicitado no Capítulo 2, a escolha do método de previsão deve ser baseada em 5 critérios: horizonte de previsão, disponibilidade de dados, custo da técnica, complexidade da técnica, e precisão da técnica. Em relação aos quatro primeiros critérios, nenhum dos métodos de séries temporais explorados se destaca dos outros. Portanto a decisão final será baseada apenas no critério de precisão da técnica que, neste caso, é medida pelo MAPE e pela estatística D-W apresentados por cada método para o período de testes.

## Capítulo 5 – Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos

---

Resgatando os valores das Tabelas 4.2 e 4.5 é possível comprovar que o método, tanto que apresenta menor valor do MAPE e valor de D-W mais próximo de 2, é o de suavização exponencial dupla com período de inicialização 1970-1996. Dentre os modelos que utilizaram o método de série temporal, este é o melhor de acordo com o critério de precisão da técnica e, portanto, é o escolhido nesta categoria.

O próximo passo agora é, utilizando o método escolhido, projetar a demanda para os próximos 5 anos (de 2002 à 2006) e analisar os resultados. Dado que o Plano de Negócios do quinquênio 2002-2006 já foi elaborado e as projeções de demanda já foram feitas, os resultados deste trabalho entrarão como proposta para o próximo Plano de Negócios (2003-2007). Para isso será necessária uma recalibração dos modelos usando os dados de 2002.

O período de inicialização será os anos de 1975 à 2001 (ou seja, os períodos de inicialização são móveis assim como as previsões). Os resultados fornecidos pelo Minitab podem ser observados na tabela seguinte:

Tabela 5.1 Projeção da demanda para os anos de 2002 a 2006 usando método de suavização dupla com tendência

	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação da Demanda</b>	0,4%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Variação Acumulada da Demanda</b>	0,4%	1,9%	3,5%	5,0%	6,5%
<b>Variação Média Anual da Demanda</b>	0,4%	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%

### 5.2 Modelos Causais

Os critérios para escolha entre os modelos causais serão os mesmos utilizados anteriormente. Assim como no caso dos modelos temporais, os modelos causais não diferem entre si em relação a horizonte de previsão, disponibilidade de dados, custo da técnica e complexidade da técnica; logo o critério precisão da técnica será mais uma vez o balizador dos modelos.

## Capítulo 1 - Introdução

Além do MAPE e da estatística D-W, os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado também serão levados em consideração.

Pelos valores das Tabelas 4.9 e 4.12, decidiu-se que tanto o modelo que tem como variáveis independentes PIB da construção, preço defasado do cimento e população quanto o que utiliza PIB da construção, PIB e preço defasado do cimento (ambos com período de inicialização 1980-1996) são igualmente bons e podem ser utilizados. Estes apresentam bons resultados quanto ao MAPE e à estatística D-W. Mesmo os valores do  $R^2$  e do  $R^2$  ajustado destes modelos, não sendo tão altos quanto os apresentados pelos dois modelos que utilizaram o outro período de inicialização (1970-1996), estes foram os escolhidos em função dos outros resultados apresentados. Apesar deles não se mostrarem tão precisos quando foi feita a projeção das variáveis explicativas (o MAPE aumentou e o valor de D-W ficou consideravelmente menor do que 1), foi decidido usa-los pois são os que melhor captam o comportamento da demanda em função das variáveis explicativas testadas.

Novamente é necessário que se faça a previsão de demanda para os próximos 5 anos. Neste caso serão feitas duas projeções: uma utilizando as premissas qualitativas (em relação às variáveis independentes) estabelecidas pela EMPRESA e outra utilizando projeções das variáveis independentes (método de Holt). Os dois modelos serão testados. Os resultados das projeções das variáveis independentes encontram-se em anexo. Os resultados dos modelos são os seguintes:

Tabela 5.2 Previsão da demanda 2002 a 2006 – Modelos causais e premissas da EMPRESA

Modelo PIBcc, PIB e Preço	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação do PIBcc</b>	-3,5%	-3,5%	2,5%	4,0%	0,0%
<b>Variação do PIB</b>	1,5%	0,0%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Variação do Preço Deflacionado</b>	12,5%	7,0%	-2,0%	5,5%	2,5%
<b>Variação da Demanda</b>	-0,7%	-4,0%	1,3%	4,0%	0,4%

Modelo PIBcc, Preço e População	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação do PIBcc</b>	-3,5%	-3,5%	2,5%	4,0%	0,0%
<b>Variação da População</b>	1,9%	1,4%	1,3%	1,3%	1,3%
<b>Variação do Preço Deflacionado</b>	12,5%	7,0%	-2,0%	5,5%	2,5%
<b>Variação da Demanda</b>	-1,4%	-3,5%	2,9%	5,9%	0,7%

## Capítulo 5 – Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos

---

Tabela 5.3 Previsão da demanda para os anos de 2002 a 2006 usando métodos causais selecionados e projeção das variáveis independentes com método de Holt

Modelo PIBcc, PIB e Preço

	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação do PIBcc</b>	0,9%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
<b>Variação do PIB</b>	4,1%	2,3%	2,2%	2,2%	2,1%
<b>Variação do Preço Deflacionado</b>	-4,8%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-1,3%
<b>Variação da Demanda</b>	4,0%	3,5%	2,8%	2,7%	2,6%

Modelo PIBcc, Preço e População

	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Variação do PIBcc</b>	0,9%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
<b>Variação da População</b>	1,9%	1,4%	1,3%	1,3%	1,3%
<b>Variação do Preço Deflacionado</b>	-4,8%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-1,3%
<b>Variação da Demanda</b>	2,8%	3,1%	2,5%	2,4%	2,4%

Nesta etapa, mais uma vez, é necessária uma análise qualitativa das respostas fornecidas pelos dois modelos. A projeção das variáveis independentes pelo método de série temporal de Holt não é adequada neste caso pois nos fornece resultados bastante questionáveis (alto crescimento do PIB, crescimento moderado do PIB da Construção e queda no Preço deflacionado do Cimento) dado o cenário macroeconômico e setorial que estamos atravessando no momento.

### **5.3 Vantagens e Desvantagens dos Modelos**

Neste item os modelos serão analisados mais profundamente sob a ótica dos critérios de decisão já apresentados. Serão destacados os pontos fortes e fracos de cada um deles bem como a aplicabilidade de cada um deles.

- Horizonte de previsão: para ambos os modelos o horizonte de previsão é o mesmo: 5 anos. Entretanto, como já foi mais que enfatizado em vários momentos deste trabalho, os métodos causais são mais adequados à previsões de médio e longo prazo, como pode ser comprovado pelos resultados exibidos e analisados no Capítulo 4. Neste caso, o

conceito de adequabilidade está relacionado com a precisão do modelo, ou seja, um modelo adequado é aquele que produz menores erros de previsão.

- Disponibilidade de dados: o modelo temporal exige como dado de entrada apenas a demanda de cimento, que é constantemente divulgada pelo SNIC. No caso do modelo causal são necessárias outras informações. Mesmo que a maioria delas seja de fácil acesso, a coleta de dados é uma tarefa que demanda tempo. Além disso existe a possibilidade de que, futuramente, venha a ser necessário se analisar outras variáveis que não foram abordadas neste trabalho ou mesmo as variáveis que foram citadas mas não se encontrou séries das mesmas. No futuro pode vir a ser necessário se fazer análises regionalizadas e, por experiência própria do autor, a obtenção de informações segmentadas por regiões ou estados do país é consideravelmente mais difícil que informações em nível nacional.
- Custo da técnica: para toda a fase de análise de dados e construção dos modelos foi usado o Minitab, que foi disponibilizado para este trabalho. No entanto, caso a EMPRESA viesse a se interessar em usa-lo sistematicamente teria necessariamente que adquirir este ou outro software estatístico. Seria possível reproduzir os modelos de série temporal em Excel sem grandes dificuldades, minimizando a necessidade de se usar o Minitab. Entretanto, para as análises feitas no desenvolvimento dos modelos causais (best subset, que foi usada, ou stepwise) a dificuldade em se reproduzir modelos similares seria maior. Em ambos os casos seria necessário um analista com *know-how* estatístico para construir ferramentas de análise similares às encontradas em softwares estatísticos.
- Complexidade da técnica: não apenas em função da maior facilidade em se reproduzir o modelo de séries temporais mas também pelo menor *background* estatístico que este exige em relação ao modelo causal. Como enfatizado no Capítulo 2, não é fundamental que o método quantitativo apresente elaborado processo, mas que seja oportuno, preciso e entendido pelo gestor. Também é importante considerar a cultura empresarial dentro da qual pretende-se implantar modelos quantitativos de previsão como ferramenta de auxílio à decisão. Mesmo os modelos de séries temporais sendo menos complexos e, teoricamente, de mais fácil entendimento, pela experiência vivida pelo autor na

EMPRESA, modelo causais são muito bem vistos e provavelmente haveria uma certa resistência em se usar modelos temporais para previsão de longo prazo, mesmo que estes apresentassem bons resultados.

- Precisão da técnica: este item também merece atenção especial. Pelas análises conduzidas no Capítulo 4 e pela pré-seleção feita neste capítulo, o modelo causal apresentou uma maior precisão que o modelo temporal. Entretanto, como pode-se observar, a precisão dos modelos causais pode ser, e em geral é, reduzida devido ao fato de que as variáveis explicativas também necessitam ser previstas, projetadas ou preditas. Viu-se que quanto as variáveis foram projetadas (por método de suavização de Holt) a precisão dos modelos causais ficou bastante reduzida, mas ainda assim os modelos mostraram-se precisos. Fica claro também que, quanto maior o número de variáveis independentes se inserir em um modelo de regressão múltipla, maior será a dificuldade em se conseguir um modelo preciso pois haverá mais variáveis explicativas para se projetar e, consequentemente, maiores chances de se amplificar os erros de previsão.

### **5.4 Comparação de Resultados**

Neste item serão comparados os resultados dos modelos causais selecionados com o modelo previamente desenvolvido pelo autor para o Plano de Negócios 2002-2006. Enfim, será avaliado o cumprimento dos objetivos do trabalho.

No Capítulo 3 elencaram-se as principais críticas feitas pelo autor ao modelo usado no Plano de Negócios 2002-2006. É válido retomá-las e comentar brevemente de que forma o desenvolvimento dos modelos deste trabalho lidou com estas questões:

- Modelo causal foi, de pressuposto, admitido como o mais adequado: foram testados também modelos temporais;
- Período de inicialização e testes dos modelos são os mesmos: separou-se os períodos de inicialização (1970-1996, 1980-1996 e 1990-1996) e testes (1997-2001);

## Capítulo 5 – Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos

---

- Uso da média móvel ponderada de preços como variável independente: usou-se o preço defasado (preço do ano anterior) como variável independente, o que é mais razoável do que o uso do preço dos três últimos anos;
- Variáveis independentes não foram projetadas: projetou-se também, com o método de suavização dupla de Holt, as variáveis independentes;
- Processo de seleção das variáveis independentes: na prática, tanto o processo “errado” de seleção das variáveis (isto é, o não recomendado por MAKRIDAKIS et al. (1998)), quanto o método “correto” apresentaram resultados semelhantes;
- Precisão do modelo: pelos valores da Tabela 5.4, os modelos causais desenvolvidos neste trabalho apresentaram uma precisão maior que o modelo desenvolvido anteriormente.

Tabela 5.4 Comparação das precisões dos modelos

PIBcc, Preço Def, Pop		PIBcc, Preço Def, PIB		Plano de Negócio 2002-2006	
MAPE	D-W	MAPE	D-W	MAPE	D-W
1,1%	1,95	1,4%	1,57	1,6%	1,33

Os valores da tabela anterior foram calculados para os anos de 1997 a 2001. Para o cálculo destes erros, foram usados os valores reais das variáveis independentes no período. Como estamos comparando três modelos causais, não há problema em não se projetar as variáveis independentes.

Como pode-se comprovar, os modelos desenvolvidos neste trabalho são mais precisos que o anterior.

Para a efetiva implantação e utilização de tais modelos na EMPRESA, os seguinte pontos devem ser destacados:

## Capítulo 5 – Discussão dos Resultados e Análise dos Melhores Modelos

---

- Capacitação técnica de pessoal para que os modelos sejam entendidos e se possa, utiliza-los como ferramenta de análise e auxílio à decisão. Mais que isso, é necessário o desenvolvimento de competências para que os modelos sejam constantemente atualizados, no caso da previsão de demanda para planejamento da capacidade, anualmente e para que estes possam vir a apresentar resultados ainda melhores no futuro;
- Manutenção do banco de dados atualizado e monitoramento não só das variáveis que foram abordadas neste trabalho mas de outras que podem vir a ser contempladas em modelos futuros.

## **6. Conclusões e Possíveis Desdobramentos**

---

## 6. Conclusões e Possíveis Desdobramentos

Este trabalho constituiu o desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda de médio/longo prazo para subsídio à área de planejamento estratégico no planejamento da capacidade instalada de uma empresa produtora de cimento.

Foram revistos tópicos relacionados ao planejamentos estratégico e ao planejamento de capacidade nas empresas. Foram também abordados tópicos importantes sobre métodos quantitativos de previsão e projeção de demanda.

Para o desenvolvimento dos modelos de previsão, aproveitou-se a experiência previamente adquirida pelo autor na construção de um modelo de previsão causal, que foi usado no Plano de Negócios da EMPRESA neste ano de 2002.

Diferentes métodos foram aplicados na tentativa de se desenvolver modelos que suprissem as deficiências apresentadas pelos outros modelos de previsão de longo prazo utilizados na EMPRESA (desenvolvidos internamente em 2001 e 2002 e adquiridos junto a uma consultoria da área econômica).

Alguns métodos provaram-se inadequados para previsões/projeções de longo prazo (5 anos). Por outro lado, alguns modelos desenvolvidos mostraram-se melhores que os previamente existentes o que fez com que o trabalho cumprisse os objetivos estabelecidos.

Em relação aos métodos de previsão de demanda, as seguintes constatações puderam ser feitas:

- Mesmo que os métodos causais tenham uma maior aderência aos dados passados, os erros de projeção para as variáveis independentes podem amplificar os erros das previsões da variável dependente o que, na prática para a previsão de demanda, pode tornar os métodos de séries temporais mais interessantes que os causais;

## Capítulo 6 – Conclusões e Possíveis Desdobramentos

---

- Previsão de demanda para médio e longo prazo não deixa de ser um “jogo de adivinhação”;
- Modelos causais complexos (modelos de regressão múltipla com muitas variáveis independentes e modelos econômicos) são mais interessantes para análises de cenários do que para a previsão propriamente dita.

O aprendizado proporcionado pelo trabalho é outro ponto que merece destaque. Muitos conceitos vistos durante o curso de Engenharia de Produção foram explorados neste trabalho e é muito gratificante verificar a aplicabilidade prática, a relevância e o valor que estes conhecimentos têm no ambiente empresarial. Foi possível identificar algumas afinidades dentro da vasta extensão de conceitos que nos são passados durante nossa formação e isso é de grande importância neste início efetivo de vida profissional.

É válido ressaltar que o trabalho desenvolvido permite uma série de desdobramentos futuros, dentre os quais podemos citar aqueles considerados mais relevantes:

- Abordar a questão do planejamento da capacidade no longo prazo, dentro do processo de planejamento estratégico, envolvendo decisões de expansão ou redução de capacidade como forma de otimização técnico-econômica das operações da empresa;
- A questão da tomada de decisão e gerenciamento de projetos sob-incerteza: como foi possível comprovar, previsões de longo prazo são extremamente complexas de se realizar e, principalmente, difíceis de se acertar. Um dos desdobramentos possíveis para este trabalho é a análise de, dentro deste contexto de incerteza, como se daria o processo de planejamento e gestão empresarial;
- Aprimoramento dos atuais modelos:
  - Previsão de demanda em nível regional e estadual: os mercados de atuação de uma empresa cimenteira estão restritos às regiões próximas às fábricas (em função dos

elevados custos de frete e do baixo valor agregado do produto cimento, como mencionado na Capítulo 1). Portanto uma análise da demanda regional e estadual seria pertinente quando está se tratando do planejamento da capacidade das unidades fabris existentes;

- Análise segmentada da demanda: por experiência de mercado, sabe-se que, os *drivers* da demanda de cimento, isto é os fatores que a influenciam, são distintos para cada tipo de consumidor (p.e. a demanda dos consumidores particulares é mais sensível à renda e ao preço, enquanto que a demanda de consumidores industriais e órgãos públicos está mais atrelada a indicadores de atividade econômica, como o PIB). Poderiam ser desenvolvidos modelos que contemplassem estas diferenças, tratando individualmente cada grande grupo de consumidores;
- Aprofundamento dos modelos de regressão como o desenvolvimento de modelos econométricos: apesar de os ganhos incrementais, aprofundando os estudos estatísticos e desenvolvendo modelos mais complexo, serem provavelmente pequenos pode-se querer desenvolver modelos, não para previsão de demanda, mas para análise de cenários e testes de políticas e, neste caso, modelos econométricos são indicados;
- Métodos qualitativos: um ponto que, apesar de ter sido citado algumas vezes, não foi abordado com profundidade neste trabalho foram os métodos qualitativos de previsão (ou, segundo, SANTORO (2000), métodos de predição). Muitas vezes a opinião de especialistas e o consenso de pessoas que tem contato direto com o mercado, têm grande valor para a previsão de tendências de longo prazo. Mas é importante lembrar que, mesmo especialistas, estão sujeito a leituras erradas do mercado e previsões futuras desastrosas. Basta lembrar a previsão feita em 1943 por Thomas Watson, na época presidente da IBM, que previu que no futuro “haveria um mercado mundial para, talvez, cinco computadores” ou, mais recentemente, a do mega-empresário Bill Gates que, em 1981, previu que “640 KB seriam suficientes para qualquer pessoa” em referência à capacidade de memória dos computadores pessoais.

# Bibliografia

---

## **Bibliografia**

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.C.; HYNDMAN, R.J. **Forecasting – Methods and Applications.** John Wiley & Sons, 1998.

HANKE, J.E. & REITSCH, A.G. **Business Forecasting.** Prentice-Hall, Inc., 1998.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística.** Editora Edgard Blücher Ltda. 1977.

ANSOFF, H. I., DECLERK, R. P., HAYES, R. L. **Do planejamento estratégico à administração estratégica.** São Paulo: Atlas, 1987.

HAX, A. C., MAJLUF, N. S. **Strategic management: an integrative perspective.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1984.

PORTER, M. **Estratégia Competitiva.** Editora Atlas, 1991

SANTORO, M. C. **Planejamento, Programação e Controle da Produção – Introdução e Informações Básicas.** Apostila do curso de PPCP da Escola Politécnica da USP, 2000.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção.** Editora Atlas S.A., 1997.

FORGATY, D.W.; BLACKSTONE, J.H.; HOFFMANT T.R. **Production & Inventory Management.** South-Western Publishing Co & APICS, 1991.

SILVER, E.A.; PYKE, D.F.; PETERSON, R. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling.** John Wiley & Sons, 1998.

# Anexos

---

**ANEXO 1. DADOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS USADOS  
NO PLANO DE NEGÓCIOS 2002-2006**

Ano	PIBcc	PIB	Preço Deflacionado	Pop	EE ind	EE res	Massa de Rendimentos	Sal. Mínimo médio (R\$) valor real	Poupaça	Deflacionada IGP- DI	Demanda
1970	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00
1971	1,13	1,11	0,96	1,03	1,14	1,10		1,00	1,08	1,08	1,09
1972	1,33	1,25	0,90	1,05	1,30	1,19		1,03	1,25	1,25	1,26
1973	1,60	1,42	0,89	1,08	1,51	1,31		1,07	1,72	1,72	1,47
1974	1,75	1,54	0,88	1,11	1,72	1,44		1,01	1,66	1,66	1,65
1975	1,89	1,62	1,06	1,14	1,89	1,58		1,07	2,08	2,08	1,85
1976	2,08	1,78	1,11	1,17	1,94	1,76		1,05	2,06	2,06	2,12
1977	2,19	1,87	1,00	1,19	2,21	2,04		1,06	2,34	2,34	2,32
1978	2,33	1,96	1,02	1,22	2,50	2,25		1,08	2,38	2,38	2,56
1979	2,42	2,09	1,04	1,25	2,84	2,51		1,08	2,08	2,08	2,75
1980	2,63	2,29	0,84	1,31	3,14	2,77		1,09	2,10	2,10	2,99
1981	2,47	2,19	1,10	1,34	3,13	2,98		1,08	2,22	2,22	2,89
1982	2,41	2,21	1,26	1,37	3,26	3,23		1,10	1,88	1,88	2,83
1983	2,06	2,14	1,24	1,40	3,48	3,56		0,99	1,20	1,20	2,32
1984	2,04	2,26	1,10	1,43	4,11	3,71		0,91	1,41	1,41	2,15
1985	2,16	2,44	1,07	1,46	4,68	3,91		0,94	1,82	1,82	2,28
1986	2,55	2,62	0,98	1,49	5,14	4,27		0,97	2,62	2,62	2,80
1987	2,57	2,71	1,18	1,51	5,00	4,58		0,80	2,03	2,03	2,81
1988	2,49	2,71	1,03	1,54	5,29	4,84		0,82	1,47	1,47	2,81
1989	2,56	2,80	0,75	1,57	5,35	5,22		0,82	1,20	1,20	2,87
1990	2,31	2,67	1,10	1,59	5,19	5,69		0,62	1,45	1,45	2,88
1991	2,29	2,70	0,83	1,62	5,31	6,11	1,00	0,70	1,27	1,27	3,04
1992	2,14	2,69	1,26	1,64	5,35	6,24	0,92	0,63	1,15	1,15	2,67
1993	2,24	2,82	1,14	1,67	5,48	6,41	1,01	0,70	0,91	0,91	2,76
1994	2,39	2,98	0,98	1,69	5,49	6,69	1,15	0,67	1,99	1,99	2,78
1995	2,38	3,11	0,73	1,72	5,71	7,60	1,36	0,72	2,94	2,94	3,12
1996	2,51	3,19	0,61	1,74	5,95	8,25	1,46	0,74	2,96	2,96	3,84
1997	2,70	3,30	0,55	1,76	6,25	8,86	1,49	0,75	3,01	3,01	4,22
1998	2,74	3,30	0,60	1,79	6,23	9,49	1,49	0,78	3,01	3,01	4,41
1999	2,65	3,33	0,64	1,81	6,34	9,60	1,41	0,79	2,44	2,44	4,45
2000	2,73	3,47	0,75	1,84	6,73	9,87	1,40	0,82	2,78	2,78	4,36
2001	2,66	3,53	0,77	1,86	6,25	8,83	1,34	0,89			4,25

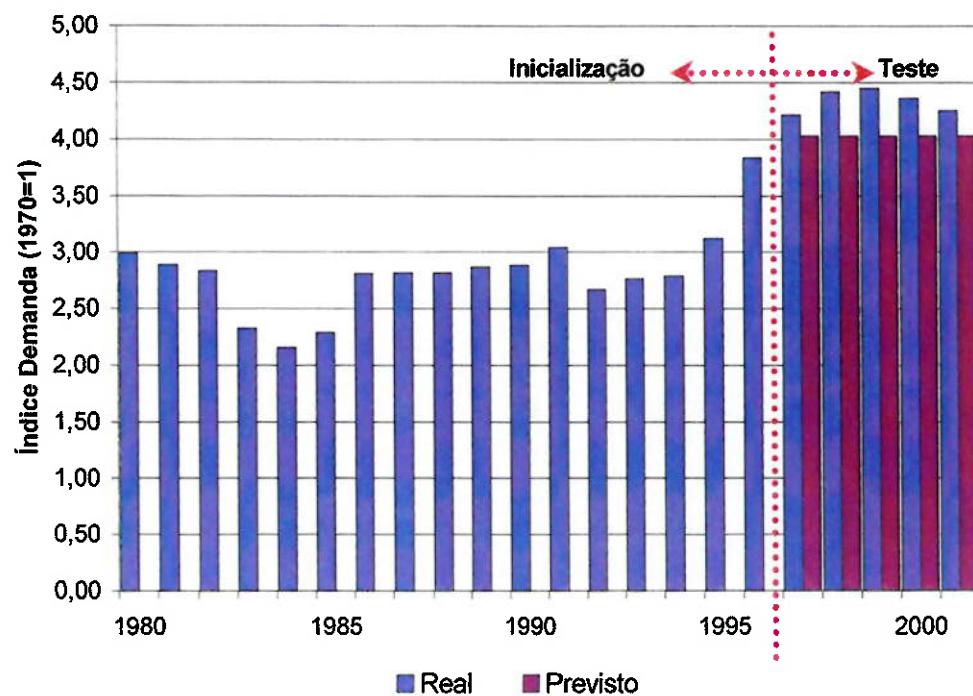
**ANEXO 2. MODELO DE PREVISÃO UTILIZADO NO PLANO DE NEGÓCIOS**

**2002-2006**

	X1	X2	Y	¥	0,719	1,255	(0,922)
Anos	PIB (1985=1)	Preço Jan (1985=1)	MM3p	Despacho (1985=1)	Prev	APE	PE
1985	1,00	1,00	1,03	1,00	1,02	2,03%	-2,03%
1986	1,07	0,92	0,96	1,23	1,18	3,88%	3,88%
1987	1,11	1,10	1,02	1,23	1,17	4,71%	4,71%
1988	1,11	0,96	1,00	1,23	1,19	3,16%	3,16%
1989	1,15	0,70	0,86	1,25	1,37	9,28%	-9,28%
1990	1,10	1,03	0,91	1,26	1,26	0,22%	0,22%
1991	1,11	0,77	0,85	1,33	1,33	0,06%	-0,06%
1992	1,10	1,17	1,01	1,17	1,17	0,00%	0,00%
1993	1,16	1,07	1,05	1,21	1,20	0,59%	0,59%
1994	1,22	0,91	1,01	1,22	1,33	8,82%	-8,82%
1995	1,28	0,68	0,82	1,37	1,56	14,51%	-14,51%
1996	1,31	0,57	0,66	1,68	1,75	4,44%	-4,44%
1997	1,35	0,51	0,56	1,85	1,90	3,19%	-3,19%
1998	1,36	0,56	0,54	1,94	1,92	0,86%	0,86%
1999	1,37	0,60	0,57	1,97	1,91	3,05%	3,05%
2000	1,43	0,70	0,65	1,93	1,91	0,66%	0,66%
2001	1,45	0,72	0,69	1,90	1,90	0,00%	0,00%
						D-W 1,33	0,01 0,01
						MAPE 3,50%	MPE -1,48% R <sup>2</sup> 0,996 EP 3,39%

### ANEXO 3. OUTROS RESULTADOS DOS MÉTODOS DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL

Suavização simples, com período de inicialização de 1980 a 1996:



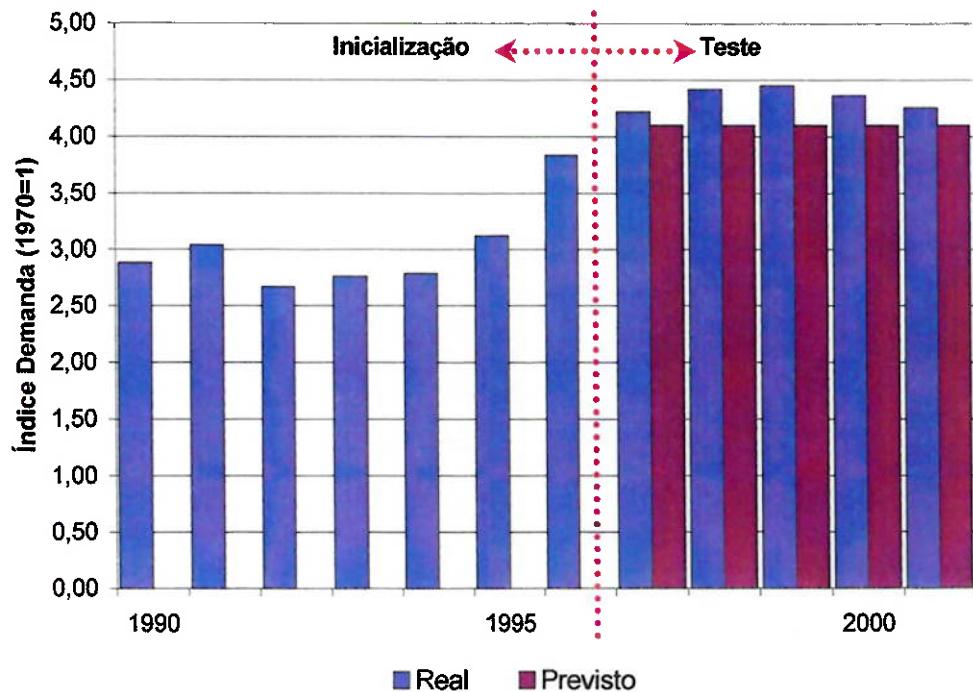
Data              Demanda 80  
 Length          17,0000  
 NMissing        0

Smoothing Constant  
 Alpha: 1,31795

Accuracy Measures  
 MAPE: 6,89091  
 MAD: 0,19646  
 MSD: 0,07539

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	4,03291	3,55157	4,51424
2	19	4,03291	3,55157	4,51424
3	20	4,03291	3,55157	4,51424
4	21	4,03291	3,55157	4,51424
5	22	4,03291	3,55157	4,51424

Suavização simples com período de inicialização de 1990 a 1996:



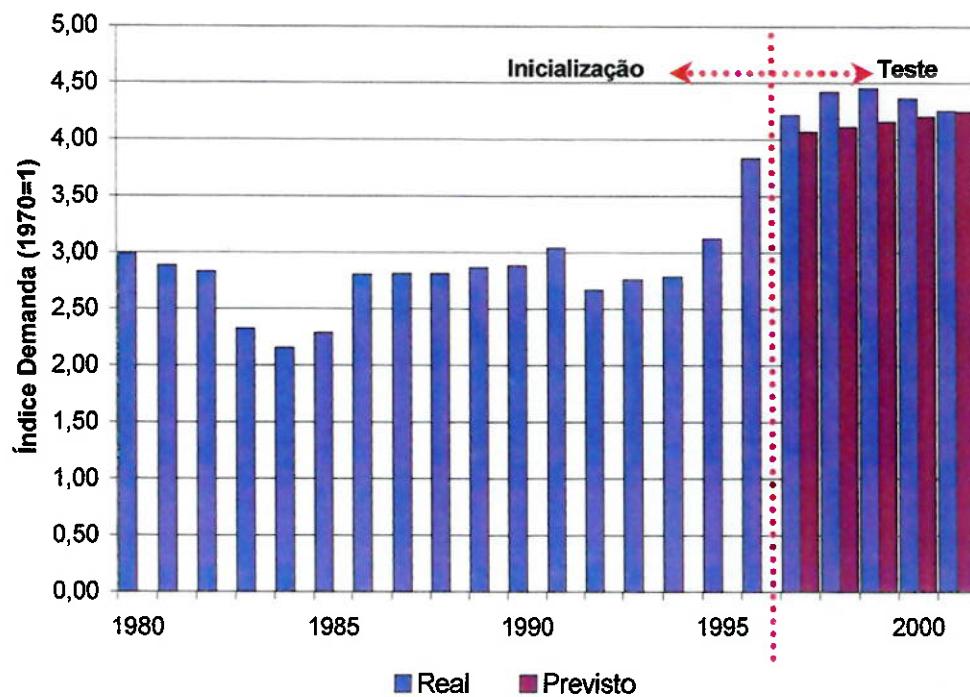
Data              Demanda 90  
 Length          7,00000  
 NMissing        0

Smoothing Constant  
 Alpha: 1,49630

Accuracy Measures  
 MAPE: 9,31748  
 MAD: 0,28489  
 MSD: 0,10489

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	8	4,09846	3,40048	4,79643
2	9	4,09846	3,40048	4,79643
3	10	4,09846	3,40048	4,79643
4	11	4,09846	3,40048	4,79643
5	12	4,09846	3,40048	4,79643

Suavização dupla, com período de inicialização de 1980 a 1996:



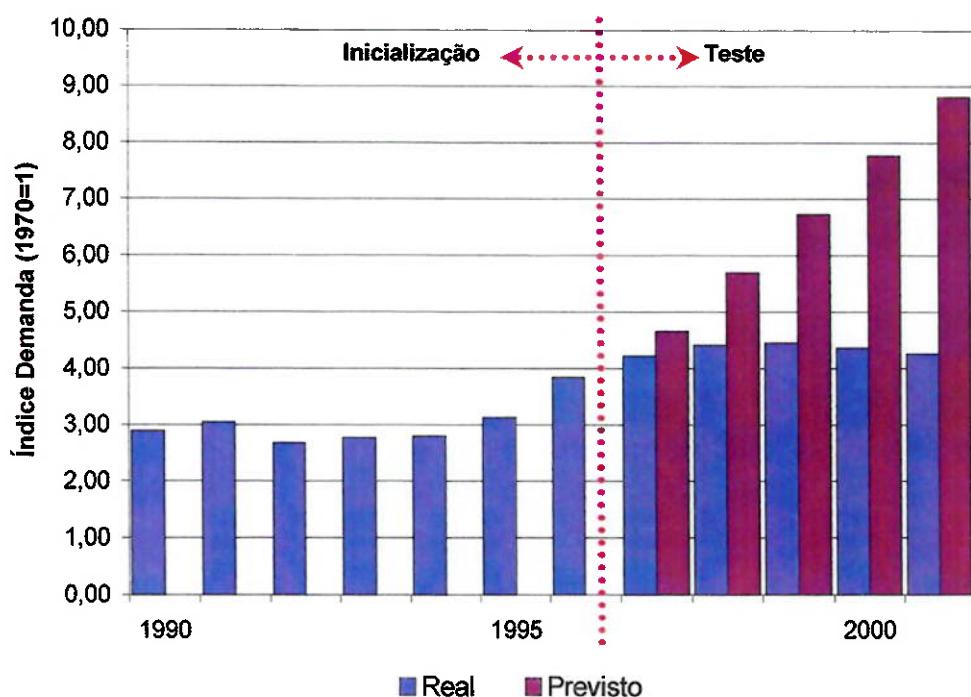
Data              Demanda 80  
Length            17,0000  
NMissing        0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 1,31352 (actual)    1,31352 (adjusted)  
Gamma (trend): -0,06381 (actual)    0,01000 (adjusted)

Accuracy Measures  
MAPE: 8,06934  
MAD: 0,23004  
MSD: 0,09174

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	4,06702	3,50342	4,63062
2	19	4,11274	3,04801	5,17747
3	20	4,15846	2,58189	5,73503
4	21	4,20417	2,11290	6,29545
5	22	4,24989	1,64275	6,85703

Suavização dupla, com período de inicialização de 1990 a 1996:



Data              Demanda 90  
Length            7,00000  
NMissing        0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,28068  
Gamma (trend): 5,57428

Accuracy Measures  
MAPE: 8,05651  
MAD: 0,24280  
MSD: 0,06244

A  
\*\*\* Negative values for sqrt, log or \*\* at A  
Missing returned 4 times

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	8	4,66910	4,07423	5,26396
2	9	5,71945	*	*
3	10	6,76980	*	*
4	11	7,82014	*	*
5	12	8,87049	*	*

## **ANEXO 4. RESULTADOS DAS PROJEÇÕES DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DOS MODELOS CAUSAIS USANDO MÉTODO DE HOLT**

**PIB da Construção, com período de inicialização de 1970 a 1996**

Data PIBcc  
Length 27,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 1,18454  
Gamma (trend): 0,06038

Accuracy Measures

MAPE: 6,17728  
MAD: 0,12195  
MSD: 0,02682

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	28	2,58079	2,28201	2,87957
2	29	2,63337	2,11643	3,15030
3	30	2,68595	1,94394	3,42795
4	31	2,73852	1,76934	3,70771
5	32	2,79110	1,59383	3,98837

**PIB, com período de inicialização de 1970 a 1996**

Data PIB  
Length 27,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 1,15089  
Gamma (trend): 0,05766

Accuracy Measures

MAPE: 3,15228  
MAD: 0,06566  
MSD: 0,00760

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	28	3,27315	3,11229	3,43401
2	29	3,35796	3,08593	3,62998
3	30	3,44277	3,05571	3,82982
4	31	3,52757	3,02427	4,03087
5	32	3,61238	2,99229	4,23247

### População, com período de inicialização de 1970 a 1996

Data Pop  
Length 27,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,953897  
Gamma (trend): 0,082221

### Accuracy Measures

MAPE: 0,343745  
MAD: 0,004589  
MSD: 0,000062

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	28	1,76755	1,75631	1,77880
2	29	1,79475	1,77810	1,81141
3	30	1,82195	1,79958	1,84433
4	31	1,84915	1,82094	1,87736
5	32	1,87635	1,84225	1,91045

### População, com período de inicialização de 1980 a 1996

Data Pop  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,915588  
Gamma (trend): 0,033126

### Accuracy Measures

MAPE: 0,194339  
MAD: 0,002061  
MSD: 0,000015

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	1,35045	1,34540	1,35550
2	19	1,37086	1,36357	1,37815
3	20	1,39127	1,38160	1,40094
4	21	1,41168	1,39957	1,42379
5	22	1,43209	1,41752	1,44667

### PIB da Construção, com período de inicialização de 1980 a 1996

Data PIBcc  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 1,13392  
Gamma (trend): 0,08487

#### Accuracy Measures

MAPE: 6,72961  
MAD: 0,05999  
MSD: 0,00568

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	0,960239	0,813254	1,10723
2	19	0,965084	0,719373	1,21079
3	20	0,969928	0,621900	1,31796
4	21	0,974773	0,523271	1,42627
5	22	0,979617	0,424132	1,53510

### PIB, com período de inicialização de 1980 a 1996

Data PIB  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,73697  
Gamma (trend): 1,33871

#### Accuracy Measures

MAPE: 3,34716  
MAD: 0,03773  
MSD: 0,00181

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	1,44383	1,35139	1,53628
2	19	1,47918	1,30152	1,65685
3	20	1,51453	1,24997	1,77909
4	21	1,54988	1,19799	1,90178
5	22	1,58524	1,14584	2,02463

### **PIB, com período de inicialização de 1980 a 1996**

Data            Preco  
Length        17,0000  
NMissing      0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,189498  
Gamma (trend): 0,190328

#### **Accuracy Measures**

MAPE: 17,5825  
MAD: 0,1868  
MSD: 0,0489

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	0,999627	0,541905	1,45735
2	19	0,964031	0,497686	1,43038
3	20	0,928436	0,452826	1,40405
4	21	0,892840	0,407361	1,37832

### **PIB da Construção, com período de inicialização de 1985 a 2001**

Data            PIBcc  
Length        17,0000  
NMissing      0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 1,00276  
Gamma (trend): 0,07691

#### **Accuracy Measures**

MAPE: 5,24639  
MAD: 0,04727  
MSD: 0,00409

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	1,01745	0,901636	1,13326
2	19	1,02501	0,847778	1,20224
3	20	1,03257	0,790839	1,27430
4	21	1,04013	0,732754	1,34751
5	22	1,04769	0,674126	1,42126

### Preço, com período de inicialização de 1985 a 2001

Data Preço  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,670561  
Gamma (trend): 0,060259

#### Accuracy Measures

MAPE: 19,2633  
MAD: 0,1944  
MSD: 0,0519

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	0,875187	0,398974	1,35140
2	19	0,864238	0,273231	1,45524
3	20	0,853288	0,137136	1,56944
4	21	0,842339	-0,004735	1,68941

### População, com período de inicialização de 1985 a 2001

Data Pop  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,968846  
Gamma (trend): 0,028389

#### Accuracy Measures

MAPE: 6,02E-02  
MAD: 7,96E-04  
MSD: 5,75E-06

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	1,43960	1,43765	1,44155
2	19	1,45921	1,45629	1,46213
3	20	1,47882	1,47488	1,48276
4	21	1,49843	1,49346	1,50341
5	22	1,51804	1,51202	1,52407

**PIB, com período de inicialização de 1985 a 2001**

Data PIB  
Length 17,0000  
NMissing 0

Smoothing Constants  
Alpha (level): 0,0334  
Gamma (trend): 48,6339

Accuracy Measures

MAPE: 2,13345  
MAD: 0,02673  
MSD: 0,00105

A  
\*\*\* Negative values for sqrt, log or \*\* at A  
Missing returned 4 times

Row	Period	Forecast	Lower	Upper
1	18	1,60459	1,53910	1,67008
2	19	1,64145	*	*
3	20	1,67831	*	*
4	21	1,71517	*	*
5	22	1,75204	*	*

**ANEXO 5. RESULTADOS DOS MODELOS CAUSAIS USANDO PROJEÇÕES DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES**

Ano	Projeções das VI's				Previsão de Demanda (1980=1)	
	PIBcc	PIB	Preço	Pop	PIBcc, Preço Defasado, Pop	PIB, PIBcc, Preço Defasado
2002	1,02	1,60	0,88	1,44	1,48	1,50
2003	1,03	1,64	0,86	1,46	1,53	1,55
2004	1,03	1,68	0,85	1,48	1,56	1,60
2005	1,04	1,72	0,84	1,50	1,60	1,64
2006	1,05	1,75	0,83	1,52	1,64	1,68