

*Calon*  
*Rep. M. B.*

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. - UNICAMP

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

*Suspl.*  
*o cat.*

# MÉTODOS DE PREVISÃO DA DEMANDA MINERAL

PROF. DR. SAUL B. SUSLICK *t.*

*Suslick, Saul Barisnik.*

TESE DE LIVRE-DOCÊNCIA APRESENTADA AO  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA  
DE RECURSOS MINERAIS - INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
CAMPINAS - UNICAMP

CAMPINAS - SP  
1990

9315318

UNICAMP-BIBLIOTECA  
do Instituto de Geociências

UNICAMP

## SUMÁRIO

	PAG.
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO.....	01
1.1 ESCOPO E OBJETIVOS.....	01
1.2 METODOLOGIA.....	03
1.3 BASE DE DADOS E INFORMAÇÕES.....	05
CAPÍTULO II A TEORIA DA INTENSIDADE DE USO.....	07
CAPÍTULO III CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A PREVISÃO DA DEMANDA MINERAL.....	14
CAPÍTULO IV MÉTODOS MATEMÁTICOS DE CURVAS DE TENDÊNCIAS.....	21
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MODELO DE TENDÊNCIA.....	21
4.2 TIPOS DE MODELO DE TENDÊNCIA.....	26
4.3 ALGUNS EXEMPLOS DE MODELOS DE TENDÊNCIA.....	33
CAPÍTULO V INTENSIDADE DE USO E OS MODELOS DE TENDÊNCIAS.....	38
5.1 COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS DE INTENSIDADE DE USO.....	42
CAPÍTULO VI MÉTODOS DE CURVAS DE CONHECIMENTO ("LEARNING CURVES").....	55
6.1 SISTEMA DE CURVA DE CONHECIMENTO SIMPLIFICADO....	58
6.2 SISTEMA DE CURVA DE CONHECIMENTO MODIFICADO.....	61

## SUMÁRIO - continuação

CAPÍTULO VII	MODELOS FATORIAIS E A PROJEÇÃO DE VETORES MACROECONÔMICOS.....	68
7.1	CONCEITOS GERAIS DE VARIÁVEIS E FATÔRES.....	70
7.2	MODELO FATORIAL NA PREVISÃO DO CONSUMO .....	72
7.3	MODELO DE COEFICIENTES VARIADOS NO TEMPO: PROJEÇÃO VETORIAL.....	78
CAPÍTULO VIII	A PREVISÃO DA DEMANDA MINERAL E A MUDANÇA TECNOLÓGICA.....	84
8.1	TEMPO E PRODUTIVIDADE COMO APROXIMAÇÃO PARA QUANTIFICAR A MUDANÇA TECNOLÓGICA.....	89
CAPÍTULO	<del>IX</del> AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PREVISÃO.....	94
CAPÍTULO X	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	109
REFERÊNCIAS	BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS.....		122
ANEXO A	- GLOSSÁRIO.....	123
ANEXO B	- BASES DE DADOS.....	126
ANEXO C	- LISTAGEM DOS PROGRAMAS: CARDMA1, GOMES E SLOPE.....	131
ANEXO D	- SÍNTESE SOBRE O CONSUMO DO ALUMÍNIO NO BRASIL E NO MUNDO.....	146

## LISTA DE FIGURAS

PAG.

FIGURA 2.1 - Relação entre a Intensidade de Uso do Aço e a Renda per Capita nos EUA no período 1988-1967...	9
FIGURA 3.1 - Processo da Demanda Mineral.....	17
FIGURA 3.2 - Metodologia de Previsão da Demanda Mineral.....	18
FIGURA 4.1 - Curvas de Tendência para Uso na Previsão da Demanda Mineral.....	23
FIGURA 4.2 - Ajuste da Intensidade de Uso de Zinco Através de uma Função Normal, 1901-1984.....	25
FIGURA 4.3 - Modelo Logístico Ajustado aos Dados de Consumo de Paládio nos EUA em Aplicações Elétricas.....	34
FIGURA 4.4 - Modelo Logístico Ajustado aos Dados de Alumínio.	36
FIGURA 5.1 - Modelo Linear(IU vs. Tempo) Ajustado aos Dados de Alumínio.....	44
FIGURA 5.2 - Modelo Linear(IU vs. PIB) Ajustado aos Dados de Alumínio.....	45
FIGURA 5.3 - Modelo Lognormal(Malenbaum) Ajustado aos Dados de Alumínio.....	49
FIGURA 5.4 - Modelo Translog Ajustado aos Dados de Alumínio..	53
FIGURA 6.1 - Curva de Conhecimento Aplicada aos Dados de Alumínio.....	60
FIGURA 6.2 - Modelo de Curva de Conhecimento Modificado Ajustado aos Dados de Alumínio.....	66
FIGURA 7.1 - Modelo Fatorial Ajustado aos Dados de Alumínio..	76
FIGURA 7.2 - Modelo de Variação de Coeficientes no Tempo Ajustado aos Dados de Alumínio.....	82
FIGURA 8.1 - Relação entre as Curvas Reais e Estimadas de Intensidade de Uso.....	86



## LISTA DE FIGURAS - continuação

## PAG.

FIGURA 8.2 - Previsão dos Índices de Produtividade Industrial Através do Sistema de Curvas de Conhecimento.....	92
FIGURA 9.1 - Balanço do Custo de Previsão versus Exatidão.....	96
FIGURA 9.2 - Avaliação dos Métodos de Exatidão Ponderando Custo, Complexidade e Exatidão.....	108

## LISTA DE TABELAS

PÁG.

TABELA 4.1 - Identificação dos Modelos de Tendência em Função do Tipo do Coeficiente de Inclinação.....	27
TABELA 4.2 - Consumo de Alumínio Estimado Através do Modelo Logístico.....	37
TABELA 5.1 - Consumo de Alumínio Estimado Pelos Modelos Lineares.....	46
TABELA 5.2 - Consumo de Alumínio Estimado Pelo Modelo Lognormal (Malenbaum) .....	50
TABELA 5.3 - Consumo de Alumínio Estimado Pelo Modelo Translog	52
TABELA 6.1 - Consumo de Alumínio Estimado Pela Curva de Conhecimento.....	62
TABELA 6.2 - Consumo de Alumínio Estimado Pelo Modelo Curva de Conhecimento Modificado.....	67
TABELA 7.1 - Consumo de Alumínio Estimado Pelo Modelo Fatorial	77
TABELA 7.2 - Consumo de Alumínio Estimado Pelo Modelo de Variação de Coeficientes no Tempo.....	83
TABELA 9.1 - Síntese dos Resultados Obtidos Pelos Diferentes Métodos de Previsão.....	100
TABELA 9.2 - Projeção da Demanda de Alumínio para o Ano 2000 Gerada pelos Diversos Métodos.....	102
TABELA 9.3 - Consumo de Alumínio Projetado para o Ano 2000 Segundo Diversas Fontes.....	105
TABELA 9.4 - Avaliação Qualitativa dos Métodos de Previsão....	107

## AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho tornou-se possível graças à contribuição de diversas pessoas e entidades, às quais gostaria de registrar os meus agradecimentos.

Ao Prof. Celso P. Ferraz (IG/UNICAMP), por ter me introduzido no desafiante universo do consumo mineral. Aos Profs. Iran F. Machado, Hildebrando Herrmann, Luis Augusto Milani e demais membros do Departamento de Administração e Política de Recursos Minerais(DARM), e aos Profs. Amílcar O. Herrera, Bernardino Figueiredo e Tamás Szmrecsányi do IG/UNICAMP pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho.

Cabe aqui um agradecimento especial ao Prof. DeVerle P. Harris, diretor do Mineral Economics Program da University of Arizona (EUA), que me proporcionou todas as condições e o apoio para o desenvolvimento deste trabalho, em Tucson (Arizona), durante o meu ano sabático, na qualidade de professor-visitante. Gostaria também de agradecer ao Prof. Richard Newcomb pelas valiosas sugestões apresentadas durante as nossas descontraídas discussões sobre o futuro da demanda mineral nos países industrializados e do Terceiro Mundo.

Aos alunos do DARM, gostaria de expressar a minha gratidão pelo incentivo e os polêmicos debates e "papers" apresentados durante a disciplina GA-107 Consumo de Bens Minerais, que chamou minha atenção sobre o papel relevante desempenhado pelo consumo mineral no contexto econômico.

Devo destacar a participação da minha esposa Desiree Nacson pelo auxílio na correção dos originais e pelas sugestões apresentadas ao texto, de modo a torná-lo compreensível para os indivíduos não iniciados no mundo da demanda mineral.

Finalmente, gostaria de registrar o meu agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro proporcionado para a realização deste trabalho durante a minha permanência na University of Arizona em 1989.

## RESUMO

A previsão da demanda mineral envolve um grande número de problemas conceituais e metodológicos. A forma como estes problemas são equacionados pode afetar de maneira significativa os resultados finais da previsão. Um dos instrumentos tradicionalmente utilizados para a projeção do consumo mineral é a intensidade de uso de um bem mineral definida como a razão entre o consumo mineral dividido pelo produto interno bruto.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma resenha dos principais métodos utilizados na previsão da demanda mineral a longo prazo. A técnica de intensidade de uso será empregada para descrever a demanda tanto na sua forma original concebida pelo Dr. W. MALENBAUM como em modelos com maior complexidade, que buscam capturar as especificidades das variáveis econômicas no consumo mineral não incluídas pelo autor.

As limitações da teoria da intensidade de uso em relação aos demais métodos de previsão mineral de longo prazo serão objeto de discussão em decorrência da proposta original de MALENBAUM não ter incorporado os preços e as mudanças tecnológicas, bem como a utilização de técnicas estatísticas mais consistentes na análise dos resultados finais.

Como objeto de previsão, restringiu-se à intensidade de uso e consumo de alumínio primário no Brasil cobrindo o período de 1950 a 1987 e sua projeção para o ano 2000. As razões da escolha do

alumínio recaem sobre a existência de enormes reservas de bauxita no Brasil, o esforço dispendido nas últimas décadas na criação de uma imensa capacidade na produção de alumínio e a disponibilidade de fontes de dados e informações sobre esta commodity.

As técnicas de análise fatorial e o sistema de curvas de conhecimento ("learning curves") - pouco empregadas no âmbito da economia mineral - representam uma tentativa neste trabalho de capturar as complexas funções (preço, mudança tecnológica e substituição) na dinâmica da demanda mineral.

Finalmente, como sempre ocorre em qualquer processo de avaliação, será apresentada uma classificação dos diferentes métodos de previsão, cotejando-se as vantagens e desvantagens em termos de exatidão, custo, grau de complexidade da técnica, incorporação direta da mudança tecnológica e requisitos e facilidade de manuseio por indivíduos não familiarizados com as técnicas quantitativas.

## ABSTRACT

A variety of conceptual and methodological issues as well as data problems are encountered in forecasting metal demand. How these obstacles are handled can significantly affect the final results. The intensity of use of a mineral defined as the consumption of the mineral divided by gross domestic product are commonly used for demand projections.

The purpose of this research is showing a framework of the principal methods for long-range forecasting of mineral demand. The technique of intensity of use were used as demand modeling methodology as well as aggregate by complex methods for captured other economic variables such as technological change and material substitution.

This research also include some discussion about the limitations of the original theory proposed by MALENBAUM. The analysis demonstrates that technological change and material substitution have decidedly been the predominate factors in reducing the intensity of use of several commodities in most industrialized countries. These results suggest that the intensity of use as originally proposed failed by not incorporated these variables as well as some statistical techniques for consistency analysis.

Data on aluminum consumption in Brazil on the observed period (1950-1987) were studied to determine the performance of each

methods. Models were compared by ex post results on a test period (1981-1987) and forecasting aluminum consumption in the year 2000. The choice of aluminum are due to a huge amount of bauxite, a great effort by brazilian government in creating large aluminum supply in the last two decades and the data availability.

Other major finding of this research is that learning model and factor model (factor scores and time varying coefficients) were very useful in long-range forecasting by incorporate several variables such as own price, substitute prices, technical change and others in the dynamics of mineral demand.

An evaluation procedure was used to estimate the behavior of each method in relation to different criteria: accuracy, cost, degree of complexity, technological change and requirements (manipulation, utilization by people not acquainted with quantitative techniques).



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 ESCOPO E OBJETIVOS

A análise do consumo das substâncias minerais e suas inter-relações constitui uma tarefa de suma importância, tendo em vista a crescente complexidade das relações entre fatores e variáveis que participam neste universo.

Nas últimas décadas, o perfil de utilização dos recursos minerais vem sendo afetado por modificações na tecnologia e pelos padrões de consumo dos países industrializados e, mais recentemente do Terceiro Mundo, gerando flutuações e limitações de magnitudes desconhecidas em passado recente.

Os impactos em todos os setores econômicos das alterações do consumo mineral são significativos, principalmente após a década de 70 (período marcado pelos dois choques do petróleo e a crise internacional da dívida), quando o ritmo do crescimento do consumo mineral mundial tornou-se mais lento e inclusive declinou para o aço, cobre e chumbo.

Neste sentido, torna-se necessário preparar-se para essa nova realidade, buscando conhecê-la e, se possível, **prevê-la** com certo grau de confiabilidade.

O Brasil, além de detentor de abundantes reservas minerais em

diversas substâncias, possui um significativo e diversificado parque industrial. Deste modo, a análise e a previsão do consumo mineral podem contribuir para o planejamento e à tomada de decisão voltados para a valorização dos recursos minerais tanto a nível de governo como da iniciativa privada.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma resenha dos principais métodos utilizados na previsão da demanda mineral a longo prazo. A técnica da intensidade de uso será utilizada para descrever a demanda tanto na sua forma original concebida por MALENBAUM(1975) como em modelos com maior complexidade que buscam capturar todas as especificidades das variáveis econômicas no consumo mineral.

As limitações da teoria da intensidade de uso em relação aos demais métodos de previsão serão objeto de discussão devido ao fato de a teoria original de MALENBAUM não ter incorporado os preços e as mudanças tecnológicas, bem como a utilização de técnicas estatísticas mais consistentes na análise dos erros cometidos na previsão do consumo mineral.

Serão apresentadas novas técnicas, como as curvas de conhecimento ("learning curves") empregadas inicialmente no planejamento estratégico industrial na área mercadológica e na produção. As curvas de conhecimento são pouco utilizadas no setor mineral e representam uma grande contribuição na previsão da demanda e da mudança tecnológica, pela sua simplicidade e operacionalidade.

Uma alternativa mais formal, que será objeto no final deste

trabalho, porém mais complexa do que a intensidade de uso e as curvas de conhecimento, são os modelos fatoriais, que empregam os escores fatoriais e coeficientes combinados em complexas funções para capturar a dinâmica da demanda mineral. Estes modelos utilizam um espaço vetorial ao invés daqueles das variáveis, onde são estimados os coeficientes temporais.

A parte final da obra abrange uma discussão dos métodos apresentados não somente em termos de exatidão, mas também cotejando as vantagens e desvantagens de cada um envolvendo custo, grau de complexidade, mudança tecnológica, requisitos e facilidade de manuseio por indivíduos não familiarizados com as técnicas quantitativas.

## 1.2 METODOLOGIA

A teoria de intensidade de uso constitui o elemento central deste trabalho, que mede a razão entre a quantidade da substância mineral consumida num país e a sua respectiva renda per capita. A partir deste conceito, buscou-se modelizar diferentes formas matemáticas de expressar esta relação variando desde os métodos de tendência até as funções Translog e os modelos baseados em projeções dos vetores macroeconômicos.

Como objeto de previsão, restringiu-se à intensidade de uso

e ao consumo de alumínio primário no Brasil no período de 1950 à 1987. A escolha desta substância deve-se ao seu comportamento em relação às mudanças tecnológicas, à demanda crescente nas últimas décadas tanto no Brasil como no mundo e à disponibilidade de dados e informações.

O roteiro metodológico dos diferentes modelos de previsão incluiu 3 fases: análise formal dos métodos, o processo de ajuste via intensidade de uso (e posterior conversão para o consumo mineral) e avaliação dos resultados gerados através da comparação entre os valores projetados e valores reais ou observados.

As técnicas estatísticas utilizadas se concentraram na análise de regressão e de seus modelos derivados (características das inclinações), com exceção da análise fatorial aplicada na identificação dos vetores macroeconômicos. Os programas computacionais empregados para o uso destas técnicas foram gerados através do sistema SAS(1988) versão 6.03 para microcomputadores PC-IBM compatível. O cálculo das características das inclinações, dos polinômios de Gomes e do ajuste pelos métodos de tendência foram feitos por algoritmos específicos em linguagem FORTRAN desenvolvidos pela equipe do Prof. DeVerle P. Harris da "University of Arizona" e adaptados pelo autor para o sistema PC-IBM compatível (ANEXO C).

### 1.3 - BASE DE DADOS E INFORMAÇÕES

A análise da demanda mineral envolve um número significativo de problemas conceituais e metodológicos, onde a qualidade e o nível das informações e da base de dados desempenham um papel fundamental na definição do consumo.

Em função de suas peculiaridades, as substâncias minerais são consumidas em diferentes estágios. Por sua vez, a quantidade mineral que é demandada pode ser dividida em duas componentes: a primeira é a quantidade para o consumo durante o período corrente (p.ex.: a quantidade de metal que é utilizada pela indústria de transformação) e a segunda é a quantidade utilizada para alterações do estoque.

Neste sentido, as medidas da demanda mineral neste trabalho refletem o consumo informado medido nos primeiros estágios de processamento obtido a partir dos dados de produção, do comércio internacional e da movimentação dos estoques. Na maioria dos metais a identificação dos diferentes estágios é bastante difícil, mas no caso do alumínio esta separação é mais visível, pois se trata do consumo primário do metal.

Os dados de alumínio foram obtidos da publicação METALLGESELLSCHAFT, compilados a partir de diversos volumes e efetuadas as correções necessárias para abranger eventuais alterações de estoques (ANEXO B). Infelizmente, o nível de informação na área dos estoques é bastante fragmentado e

desconhecido, o que dificulta a quantificação de suas variações e, conseqüentemente, a determinação dos seus impactos no consumo mineral efetivo.

Os dados macroeconômicos do PIB (Produto Interno Bruto) foram convertidos em moeda constante expressa em dólares de 1980. As informações do PIB e da população foram retiradas do IMF(1988), ECLA/UN(vários anos) e do WORLD BANK(1987); os índices de produção industrial foram obtidos da FGV(vários anos) e UN(vários anos); e os dados de produtividade industrial do WORLD BANK(1987). O conjunto destas informações encontra-se no ANEXO B.

## CAPÍTULO II

## A TEORIA DA INTENSIDADE DE USO

Um dos estudos mais interessantes sobre a análise da demanda mineral é a teoria da intensidade de uso (IU), proposta por MALENBAUM(1973, 1975, 1978), que define a razão entre a quantidade da substância mineral consumida num país ( $D_t$ ) e a sua respectiva renda ( $Y_t$ ) expressa na forma de produto interno bruto per capita ( $y_t$ ):

$$IU_t = \frac{D_t}{Y_t} = f(y_t) \quad (2.1)$$

MALENBAUM (op.cit.) mediu o consumo de 12 substâncias minerais durante o período de 1950-1975 e efetuou uma projeção até o ano 2000 para diversos países. Os elementos utilizados nesta análise foram: o crescimento populacional, a variação do PIB e as elasticidades de renda em função da demanda. De acordo com o autor, a relação consumo/PIB (IU) exhibe um crescimento inicial rápido e, com o aumento da renda per capita, um lento decréscimo, com exceção do alumínio e da platina. A relação entre a IU e a renda per capita assumiria a forma de "U" invertido conforme mostra a FIGURA 2.1. Segundo MALENBAUM, nos países com baixa renda per capita, o

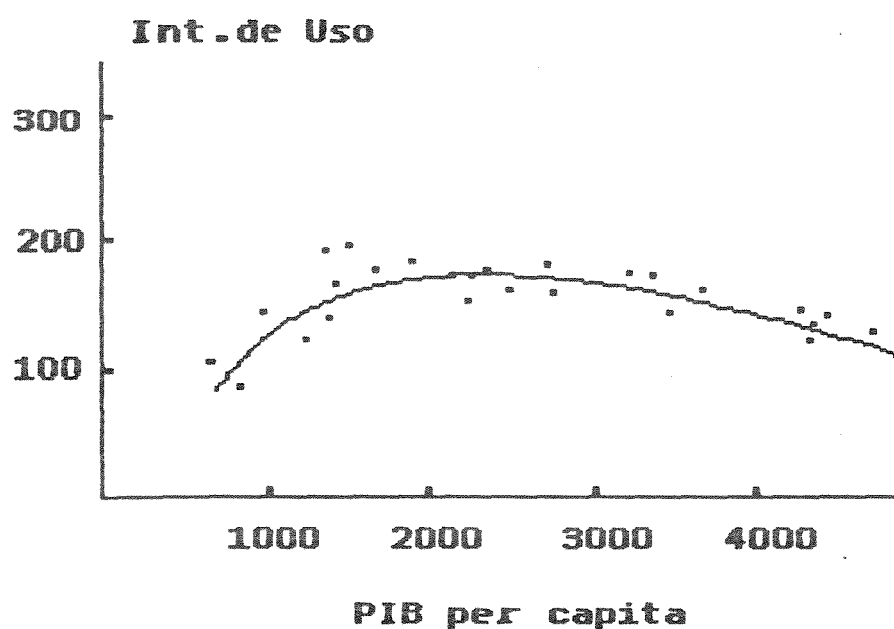
crescimento da renda ( $Y_t$ ) provoca um aumento da intensidade de uso da substância mineral, enquanto o oposto é esperado para os países industrializados.

A lógica da hipótese de MALENBAUM está ligada aos padrões de uso das substâncias minerais em função do ciclo de desenvolvimento de uma Nação. Nos primeiros estágios de crescimento econômico os requisitos para utilização das matérias-primas são muito reduzidos, tendo em vista que a economia se encontra mergulhada numa fase ainda pré-industrial (p.ex.: agricultura não-mecanizada). Segundo o autor, a partir do aumento da renda e da expansão do processo de industrialização, são atendidas às necessidades básicas e de infraestrutura. Neste período econômico, a tendência do consumo aumenta gradativamente na direção do setor de serviços. Este setor possui uma intensidade de uso em metais muito inferior do que o setor industrial e de construção civil, que induziu MALENBAUM(1975) a criar a lei da demanda mineral.

A grande vantagem da hipótese da intensidade de uso reside na sua simplicidade. Pode-se também acrescentar o fato de evitar uma longa e enfadonha tarefa de análise dos usos finais dos materiais, e, por consequência, dos impactos das novas tecnologias, preferência dos consumidores e demais fatores que intervêm ou intervêm nas tendências do consumo mineral.

As explicações de MALENBAUM e sua polêmica lei de demanda foram muito criticadas no âmbito da economia mineral. VOGELY(1976) alertou que a teoria não considerava diversas variáveis explicativas, tais como, o fenômeno da substituição e as complexas





Int.de uso = ton./US\$ milhões  
em valores constantes de 1963

Fonte: OECD(1974), IILION(1989)

**FIGURA 2.1-RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE USO  
DO AÇO E A RENDA PER CAPITA NOS EUA  
NO PERÍODO 1888-1967**

relações que envolvem a tecnologia e o consumo dos materiais. TILTON(1985, 1986), em estudo semelhante envolvendo a demanda mineral, definiu duas componentes que participam na intensidade de uso: o produto da composição de renda (PCI) e a componente material dos produtos (MCP). A primeira componente (PCI) reflete o mix de mercadorias e serviços gerados na economia e é influenciada pelas preferências do consumidor e demais características da demanda no tocante ao consumo de bens duráveis. Por sua vez, a componente dos produtos (MCP) é ligada à tecnologia de produção e à oferta do mercado. *mudanças dos coeficientes técnicos.*

TILTON(op.cit) alertou para o fato de que as novas tecnologias e a substituição dos materiais influenciam a intensidade de uso dos metais de forma variada no tempo e entre os países, e nem sempre se comportam de forma sistemática em relação à renda per capita.

Trata-se de um aspecto importante, na medida que é extremamente difícil definir um índice exato para o poder aquisitivo de uma economia, pois mesmo o PIB não mede alguns itens que são essenciais em muitas sociedades, tais como, distribuição de renda, taxas de emprego, etc... particularmente quando a estrutura de renda é bastante diversificada como a brasileira. Obviamente, duas economias que possuem o mesmo PIB, sendo uma com menor população e, por consequência, renda per capita superior, possuirá mais renda disponível para adquirir maior número de bens, considerando-se as demais variáveis equivalentes.

Em decorrência dos aspectos mencionados acima, TILTON(1989) propõe uma distinção entre a técnica e a teoria da intensidade de

uso. A vantagem da utilização da IU como uma simples técnica empírica é que esta não pressupõe que a renda per capita seja uma aproximação("proxy") para as variáveis que determinam a intensidade de uso das substâncias minerais. Esta abordagem será utilizada sempre que possível neste trabalho para interpretar os métodos de previsão da demanda nos capítulos subsequentes.

Um estudo bastante detalhado da hipótese da intensidade de uso foi realizado por CANAVAN(1983) e ROBERTS(1985). Ambos descrevem uma metodologia para a intensidade de uso, onde são incorporadas as seguintes componentes: inovações técnicas, substituições entre os materiais, preços e preferência dos consumidores. CANAVAN(op.cit.), analisando cinco aplicações de estanho para soldas, estimou que a componente da mudança tecnológica é mais importante do que a renda per capita. ROBERTS(1985) definiu um modelo teórico para o consumo mineral na indústria automobilística e avaliou a qualidade da previsão utilizando o modelo tradicional da intensidade de uso. Segundo ROBERTS(1985), o modelo de IU é muito instável para projeções de longo prazo, caso não sejam incluídas outras variáveis, tais como, preço e mudança tecnológica. Estas mesmas conclusões foram encontradas por NEWCOMB(1976), VOGELY & BONCZAR(1977), WRIGHT(1977) e HARRIS (1984).

Um desdobramento teórico da intensidade de uso foi proposto por BERNDT & WOOD (1974), recorrendo-se a uma função de produção utilizando a razão energia/PIB, condicionando-se a um valor mínimo de custo de produção.

AUTY(1985) organizou uma excelente revisão dos trabalhos de

MALENBAUM(1975), LEONTIEF(1982), FISCHMAN(1980) e RADCLIFFE et.al. (1981) numa tentativa de determinar a robustez das medidas de intensidade de uso e delinear com mais precisão as tendências do consumo mineral definidas pelos autores acima mencionados. AUTY(op.cit.) concluiu que os trabalhos de MALENBAUM não incorporaram fatores de causa-efeito para a análise da intensidade de uso, tais como os modelos de "input-output" para estabelecer as relações entre os materiais medidos em termos monetários, assim como a estrutura industrial dos países em diferentes níveis de desenvolvimento econômico. Segundo o autor, MALENBAUM concentrou os seus estudos num número restrito de substâncias e não reconheceu a contribuição dos novos materiais, tais como, as cerâmicas e os polímeros nas transformações de intensidade de uso.

Uma análise abrangente da teoria da intensidade de uso e suas limitações foi realizada por HUMPHREYS(1987) e CONSIDINE(1987). Os autores apontaram para o fato de que a intensidade de uso ignora que os metais possuem diferentes propriedades físicas e usos distintos. Neste sentido, propõem a utilização de um índice para medir o consumo baseando-se tanto no peso como no valor das substâncias. A incorporação da variável valor possibilita avaliar o consumo dentro do plano geral da economia, pois segundo HUMPHREYS(op.cit.), o que motiva a indústria mineral é a rentabilidade e não o simples aumento da tonelagem do material.

WADDELL & LABYS(1988) desenvolveram o conceito de transmaterialização que implica a utilização de uma série de ciclos de intensidade de uso em intervalos regulares. Segundo os autores,

a transmaterialização descreve um comportamento peculiar do mercado de materiais (substâncias minerais) através do tempo na forma de ciclos de desenvolvimento, onde os materiais com melhor performance e propriedades técnicas mais apropriadas substituem os materiais ligados às indústrias mais maduras. Este processo da demanda mineral se diferencia da "desmaterialização" porque não se dá uma mudança estrutural na economia nem uma redução do consumo de materiais ou declínio da produção industrial.

### CAPÍTULO III

#### CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A PREVISÃO DA DEMANDA MINERAL

Este capítulo envolve a discussão dos aspectos metodológicos e conceituais da previsão da demanda mineral. As principais definições e termos técnicos utilizados na análise da demanda mineral foram agrupados na forma de um glossário no ANEXO A.

Nas últimas décadas, o foco das discussões envolvendo os recursos minerais e a economia sempre se concentraram no campo da oferta, ou seja na disponibilidade física, econômica ou política de uma determinada substância mineral. Esta postura justifica-se na medida que se tomava como premissa que o crescimento da demanda repetiria as taxas de crescimento experimentadas em passado recente, acompanhando o crescimento da renda. Entretanto, os pesquisadores constataram que os métodos de previsão não poderiam basear-se somente nestes pressupostos.

A preocupação com a oferta sempre requereu e ainda concentra mais atenção devido a duas razões básicas: primeiro, devido à preocupação com a escassez de recursos minerais e, conseqüentemente, as empresas de mineração dedicam grandes esforços e investimentos na manutenção de seus estoques. Um segundo aspecto deve-se ao fato de que a previsão da demanda mineral sempre foi encarada como uma tarefa relativamente simples e restrita mais ao

campo da especulação do que propriamente da área mineral.

Existe uma considerável ambiguidade sobre o significado do termo "demanda" na área mineral. Ele não representa as necessidades em termos absolutos e nem tampouco demanda, mas sim as diferentes quantidades de uma substância mineral que os consumidores gostariam de adquirir sob diferentes condições de preço e renda (ou lucro). Quando se realiza a previsão da demanda mineral deve-se considerar que o passado é um amálgama das forças de oferta e demanda atuando conjuntamente. Neste trabalho, em algumas projeções da demanda futura, assume-se também que estejam relacionadas a eventos que ocorreram com a oferta em passado recente. Para maiores detalhes, veja as definições no ANEXO A.

Obviamente, a simples configuração de um cenário não possibilita capturar toda a complexidade que envolve o consumo das substâncias minerais. É necessário definir os limites no seu ciclo de agregação de valor e qualificar as etapas que estão sendo consideradas no processo de transformação desde o minério até os produtos intermediários e finais.

Neste processo, além do reconhecimento destas etapas, deve-se sempre que possível buscar caracterizar as fontes de dados e informações. Por exemplo, o consumo de cobre na metalurgia (refino) pode ter uma contribuição tanto dos concentrados do minério (material primário) como do material secundário (sucata de cobre). Para complicar ainda mais esta situação, a sucata de cobre pode ser oriunda de sucatas produzidas recentemente na manufatura de produtos de cobre e/ou sucatas recuperadas ("velhas") a partir de

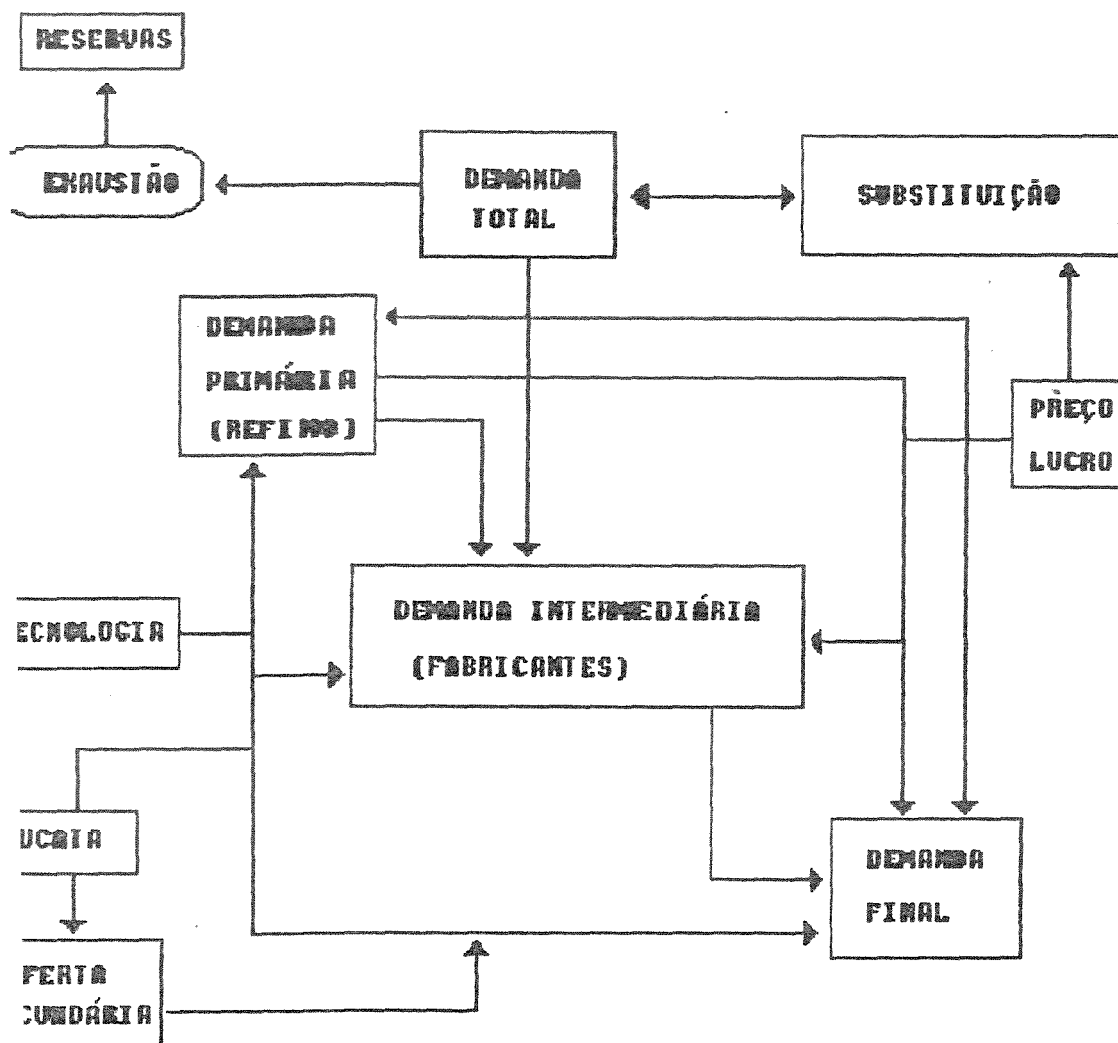
produtos que se encontram no seu processo final de vida econômica previamente designados. A complexidade desta situação pode ser visualizada na FIGURA 3.1, que mostra um esquema simplificado do processo de demanda.

Essas considerações mostram que qualquer tentativa para análise do consumo das substâncias minerais envolve a definição de conceitos explícitos e categorias que, na maior parte das aplicações, necessitam um extenso e profundo exercício de teoria econômica da demanda mineral, que não será abordado neste trabalho. Algumas análises neste campo podem ser encontradas nos trabalhos de NEWCOMB(1969,1976), VOGELY(1976), VOGELY et al.(1977) e CAMPBELL (1985,1986).

A previsão do consumo é bastante complexa de formular dentro da análise oferta-demanda. Os métodos variam muito e não existe uma forma única de abordagem. Estes devem abranger os fatores que desempenham um papel-chave como determinantes nos estudos de demanda: o nível da atividade econômica, o preço real do metal ou commodity a ser analisada, o preço real dos substitutos e por fim as mudanças tecnológicas conforme mostra a FIGURA 3.2. Nas análises dos determinantes do consumo mineral a longo prazo devem-se considerar também as variações na composição do PIB (Produto Interno Bruto), assim como a componente material do produto (MCP) e do produto da composição de renda (PCI).

Os componentes MCP e PCI são utilizados nos trabalhos de ROBERTS(1988) para explicar a queda do consumo mundial de metais e por SUSLICK & HARRIS(1989) na identificação dos determinantes do





**FIGURA 3.1 - PROCESSO DA DEMANDA MINERAL**

Fonte: adaptado de LABYS(1988)

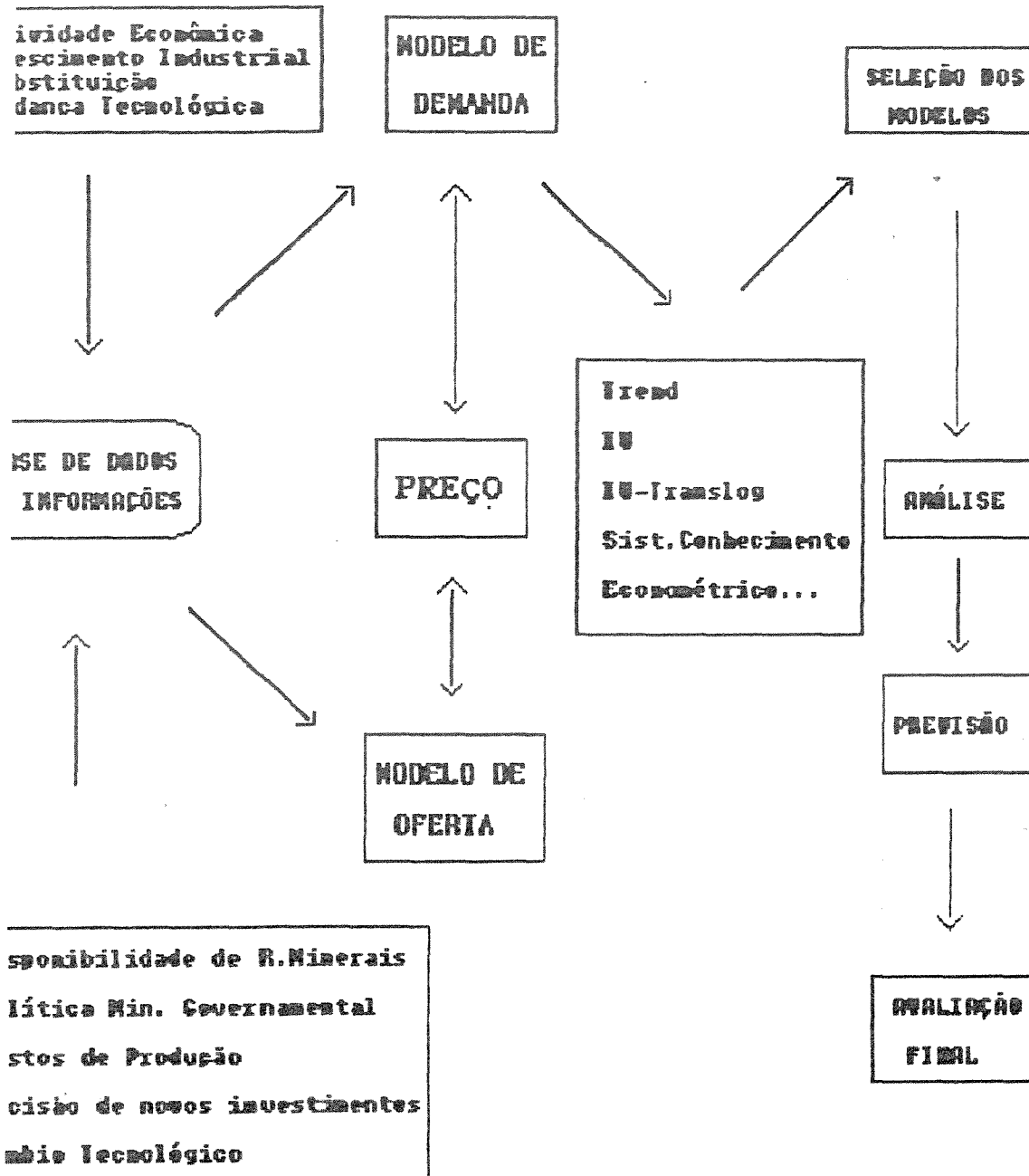


FIGURA 3.2 - METODOLOGIA DA PREVISÃO DA DEMANDA

Fonte: adaptado JEON(1988)

consumo na América Latina e no Brasil no período após 1973.

De uma maneira geral pode-se conceituar o modelo como uma representação quantitativa de um sistema de demanda na indústria mineral. Por sua vez, o processo de modelagem abrange a escolha de diferentes tipos e combinações de metodologias e pressupõe a resposta a três questões básicas: o objetivo da metodologia, o tipo de método quantitativo empregado e a especificação do comportamento das variáveis econômicas e suas inter-relações.

Os métodos de previsão da demanda mineral serão agrupados conforme sua aplicação em relação à técnica de IU (intensidade de uso) em: métodos matemáticos de curvas de tendência, curvas de conhecimento e fatoriais. O primeiro grupo abrange o maior número de técnicas empíricas utilizadas na modelização da demanda, tais como, curvas de tendência, extrapolação de séries temporais, análise de regressão, etc... Em sentido estrito, as demais técnicas poderiam também estar incluídas numa classificação única, mas dadas às suas especificidades, decidiu-se agrupá-las isoladamente.

Deve-se mencionar que neste trabalho não abordaremos os métodos de Box-Jenkins (BOX & JENKINS, 1976) e as técnicas econométricas utilizadas na previsão da demanda a curto prazo. As técnicas qualitativas como o método de Delphi (HELMER, 1968; LINSTONE & TUROFF, 1975 e MARTINO, 1985), que realizam a previsão baseada em opiniões coletadas junto a especialistas, também não serão objeto de discussão.

Na indústria mineral podem também ser encontradas algumas aplicações das técnicas de previsão por contingência, que consiste

na avaliação de recursos minerais baseada em "premissas ou contingências" que definem diversos cenários para as componentes tecnológicas, sociais e do meio físico dentre outras. O U.S. Bureau of Mines (USBM) utiliza algumas variações desta técnica na previsão da oferta e demanda mineral na série quinquenal "Mineral Facts and Problems", que traça uma resenha de 88 commodities minerais. Maiores detalhes sobre os métodos de contingência podem ser encontrados em MORRISON(1976).

Neste sentido, pode-se observar que o universo de métodos utilizados na previsão é bastante amplo. Não se pretende aqui esgotar o assunto, mas sim enfatizar aqueles com maior aplicabilidade na previsão da demanda mineral. Maiores detalhes sobre os principais métodos de previsão utilizados em diversas áreas do conhecimento podem ser encontrados em THOMOPOULOS(1980), MAKRIDAKIS et al.(1983), MAKRIDAKIS & WHEELWRIGHT (1984) e ARMSTRONG(1985). Uma resenha sobre os diferentes tipos de modelos de demanda mineral pode ser encontrada nos trabalhos de NAS(1982), LABYS & POLLACK(1984), LABYS et.al.(1985) e SUSLICK(1988).

No Brasil, o número de trabalhos envolvendo tanto os modelos como a previsão da demanda mineral ainda é muito incipiente. Cabe destacar algumas variações do modelo de input-output proposto por LEONTIEF(1982,1983) para o minério de ferro(IG/UNICAMP,1982). Mais recentemente foi realizada uma análise sobre o impacto da mineração sobre os agregados industriais na economia baiana por DAMÁSIO(1986) utilizando relações e matrizes inter-setoriais (DAMÁSIO et. al., 1987).

## CAPÍTULO IV

## MÉTODOS MATEMÁTICOS DE CURVAS DE TENDÊNCIA

## 4.1) IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DE TENDÊNCIA

Um dos métodos mais utilizados na indústria mineral para a previsão tanto do consumo como da produção é a análise de tendências. O princípio deste método baseia-se na premissa que a demanda apresenta um comportamento regular e previsível em relação ao tempo. Neste sentido, pode-se projetar o consumo futuro de uma substância mineral, assumindo-se a mesma dinâmica experimentada no passado.

Dentro desses pressupostos, pode-se ajustar um modelo matemático de tendência("trend") à série histórica dos dados e, conseqüentemente, projetar-se o consumo futuro da substância mineral. De uma maneira geral é bastante difícil a seleção do melhor modelo que represente os dados na sua totalidade. Para superar estes obstáculos, GREGG et.al.(1968) concebeu algumas transformações através da aplicação de médias-movéis aos dados originais de demanda que produzem uma relação linear com o tempo. Baseadas nestas transformações são calculadas as inclinações ou taxas de crescimento das diversas curvas de tendência (retas de

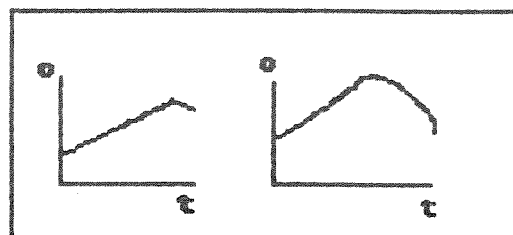
regressão), através das quais pode-se selecionar o modelo mais adequado de curva de tendência.

Os autores denominaram estas transformações de **características da inclinação**. A vantagem deste procedimento em relação às estatísticas usuais, tais como,  $R^2$  (soma de quadrados) e análise de resíduos, é bastante significativa quando dois ou mais modelos ajustam-se igualmente aos dados de consumo. A FIGURA 4.1 apresenta o roteiro básico desta metodologia ajustado à previsão da demanda mineral. Para o cálculo dos valores de inclinação foi desenvolvido por HARRIS e sua equipe o programa CARDMA1 adaptado por SUSLICK(1989) ao microcomputador PC-IBM em linguagem FORTRAN-77 (ANEXO C).

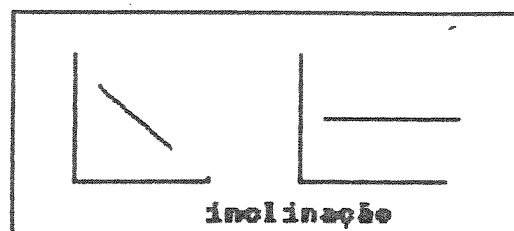
Uma equação de tendência pode ser considerada como um simples modelo econômico agregado, onde assume-se que a dinâmica da economia está refletida na série histórica de alguma atividade mineral quer na produção como no consumo. A análise de tendência e a sua extrapolação requer uma história da economia suficiente, para estimar-se os parâmetros da curva que representa a série temporal e sua projeção num determinado horizonte de tempo.

A simples projeção não pode ser um elemento estático, pois a projeção da atividade mineral (demanda) implica também a projeção de um número adicional de "trends" correlacionados entre si. Outro aspecto importante é que as séries anuais acumuladas de dados também exibem uma tendência. Em algumas situações, esta propriedade possibilita projetar as séries anuais, tendo em vista que a integral (dados acumulados) é matematicamente mais fácil de

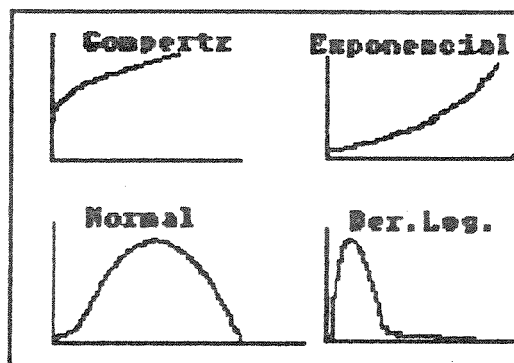
as originais de consumo  $\Rightarrow$



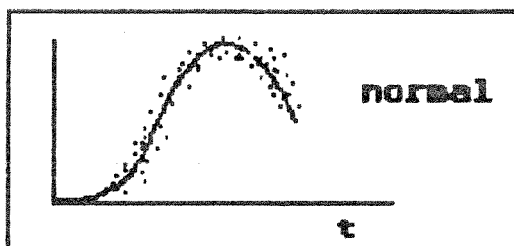
características da inclinação  $\Rightarrow$



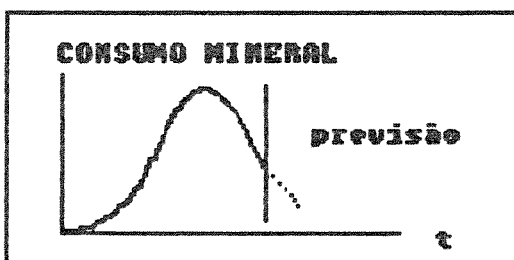
identificação e seleção  
curva de Tendência  $\Rightarrow$



teste da Curva de  
Tendência  $\Rightarrow$



previsão  $\Rightarrow$



RA4.1- Curvas de Tendência Para Uso na Previsão  
da Demanda Mineral.

modelizar.

torna-se obrigatório

Paulo S. LABINE

Estas restrições conduzem o analista a especificar um modelo de tendência da atividade econômica através do tempo. Embora a teoria econômica não determine a forma do modelo para indústria mineral, utiliza-se em algumas situações o conceito intuitivo de ciclo de vida. Este modelo traduz o "ciclo de vida" de um depósito mineral, desde a sua descoberta até a exaustão, reproduzindo padrões cíclicos de desenvolvimento de modo análogo aos processos orgânicos. HUMPHREYS(1982) utilizou o modelo de ciclo de vida para interpretar as relações entre preço, produção e recursos de diferentes substâncias minerais definindo 4 fases de desenvolvimento: juvenil, madura, gerôntica e declinante.

O conceito de ciclo de vida não se aplica unicamente à produção mineral, conforme mostram os resultados de ajuste para uma curva normal para a intensidade de uso de zinco nos EUA na FIGURA 4.2. Um exame detalhado dos planejamentos estratégicos de corporações empresariais revela que o conceito de ciclo de vida de um produto constitui o elemento-chave para análise e previsão do consumo. De maneira análoga, podemos aplicar para a demanda mineral os mesmos princípios de ciclo de vida de um material.

Segundo HARRIS(1989), a teoria de ciclo de vida apresenta restrições quando se realiza a previsão de curto e médio prazo em decorrência dos seguintes aspectos:

- o horizonte de previsão não é suficientemente longo para possibilitar que a dinâmica do ciclo de vida exerça um papel relevante;



# U.S. ZINC INTENSITY OF USE

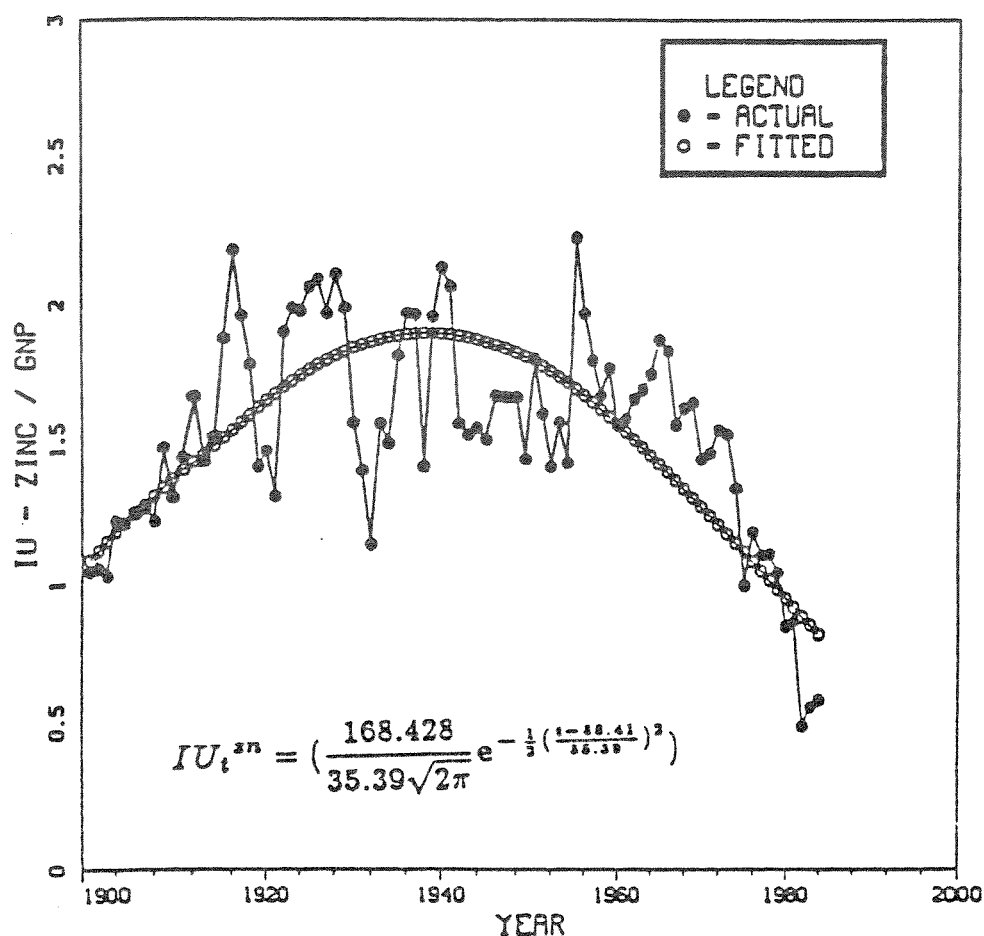


FIGURA 4.2 - AJUSTE DA INTENSIDADE DE USO DE ZINCO ATRAVÉS DE UMA FUNÇÃO NORMAL, 1901-1984  
 fonte: HARRIS & JEON (1988)

- uma série temporal extremamente longa provoca muitas perturbações no ajuste da função, consequentemente tornando mais difícil a projeção dos dados mais recentes.

Em decorrência destes aspectos recomenda-se a utilização da projeção do "trend" na previsão da demanda, assim como o analista deve examinar toda a família de modelos de tendência para a seleção do ajuste ideal, considerando-se os objetivos da previsão e as características dos dados.

#### 4.2) TIPOS DE MODELOS DE TENDÊNCIA

HARRIS(1989), trabalhando com os métodos de curvas de tendência sistematizados por GREGG et.al.(1968), propôs os seguintes tipos de curvas de demanda mineral: Linear, Parabólica, Exponencial, Exponencial Modificada, Logística, Gompertz, Normal, Lognormal, Derivada Logística e Derivada de Gompertz. A estimativa da demanda através destas curvas é baseada nos métodos de mínimos quadrados ou equivalentes. A identificação destes modelos e as características das suas respectivas inclinações estão relacionadas na TABELA 4.1.

**TABELA 4.1 - IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TENDÊNCIA EM FUNÇÃO DO TIPO DE COEFICIENTE DE INCLINAÇÃO DO AJUSTE.**

MODELO	TRANSFORMAÇÕES	INCLINAÇÃO	FEIÇÃO LINEAR
Linear	$Y_t = z_t$	$x_t = b_t$	Horizontal
Exponencial Modif. Simples	$Y_t = z_t$	$x_t = \ln b_t$	Inclin. Negativa
Gompertz	$Y_t = z_t$	$x_t = \ln(b_t/a_t)$	Inclin. Negativa
Logístico	$Y_t = z_t$	$x_t = \ln(b_t/a_t^2)$	Inclin. Negativa
Derivada de Gompertz (1)	$z_t = \sum_{i=1}^t Y_i$		
	$Y_t = z_t$	$x_t = \ln(b_t/a_t)$	Inclin. Negativa
Derivada Logística(1)	$z_t = \sum_{i=1}^t Y_i$		
	$Y_t = z_t$	$x_t = \ln(b_t/a_t^2)$	Inclin. Negativa
Normal(1)	$Y_t = \ln z_t$	$x_t = b_t$	Inclin. Negativa

fonte : adaptado de GREGG et.al.(1968)

(1) MODELOS PROPOSTOS POR HARRIS(1989)

$b_t$  = coeficiente de inclinação

$a_t$  = média móvel

Linear  $(Y_t = \beta_0 + \beta_1 t)$  (4.1)

A estimativa dos parâmetros do modelo linear é feita diretamente através do recurso da análise de regressão, onde a variável dependente  $y_t$ , é calculada em função do tempo,  $t$ , fornecendo os parâmetros estimados  $\beta_0$  e  $\beta_1$ . O coeficiente de inclinação de uma linha reta é uma constante, implicando que o aumento da demanda anual seja através de um fator constante.

Exponencial  $z_t = A e^{\beta_1 t}$  (4.2)

Os parâmetros da exponencial podem ser estimados da mesma maneira que no modelo linear, bastando submeter os dados originais  $z_t$  à transformação logarítmica:

$$Y_t = \ln z_t = \ln [A e^{\beta_1 t}] = \ln A + \beta_1 t \quad (4.3)$$

Identificando  $\ln z_t$  como sendo  $y_t$  e  $\ln A$  como  $\beta_0$ , pode-se reescrever a equação acima na forma linear exposta anteriormente.

A demanda na curva exponencial simples aumenta segundo um percentual constante em cada ano, e a razão entre a inclinação da demanda e o seu próprio valor é constante.

$$\text{Parábola } (y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2) \quad (4.4)$$

Os parâmetros  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são estimados também através da regressão de  $y$  em função de  $t$  e  $t^2$ . Enquanto no modelo exponencial a razão entre a inclinação da demanda e a demanda permanece constante, no caso da parábola esta razão varia linearmente com o tempo, produzindo uma linha reta.

### Curva Normal

A fórmula para os valores na ordenada da função normal de distribuição é definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (4.5)$$

onde  $\mu$  e  $\sigma$  são parâmetros da função que satisfazem as seguintes condições:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \text{ e } P(X < x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy \quad (4.6)$$

Este modelo é bastante utilizado como inferência estatística e para a previsão de longo prazo de trends em indústrias maduras, que exibem um ciclo de vida econômica simétrico. Para ajustar este tipo de modelo é necessário calcular o primeiro e o segundo momentos de  $t$  para estimar  $\mu$  e  $\sigma^2$ . Não basta considerar  $t$  uma variável aleatória, tendo em vista a sua regularidade. De modo geral esta função é representada por uma equação simétrica na forma de sino para ser ajustada às series de consumo (FIGURA 4.2).

## Curva Lognormal

A função de densidade lognormal é uma simples transformação da normal para  $v$ , onde  $v = \ln x$ :  $V \approx N(\mu, \sigma^2)$ . Neste sentido, as mesmas observações realizadas anteriormente no caso da normal se aplicam. Deve-se salientar que este modelo é muito utilizado para interpretar o ciclo de vida de indústrias maduras quando apresentam uma distribuição assimétrica, isto é, exibindo uma assimetria positiva no lado direito. Este tipo de curva quando plotado num papel em escala logarítmica se reduz ao caso da normal.

Os dados coletados de intensidade de uso por MALENBAUM(1978) apresentaram uma distribuição lognormal para a maioria das commodities minerais. Apesar das críticas de diversos especialistas (ver Cap.II), o ajuste através da distribuição lognormal continua sendo muito utilizado como modelo para IU de diversas substâncias minerais.

## Modelo Logístico

O modelo logístico serve para representar as indústrias maduras que dispõem de séries históricas bastante completas, cobrindo desde o seu início até o presente. A função logística pode ser definida por:

$$Y = \frac{K}{1 + be^{-at}} \quad (4.7)$$

Os parâmetros  $K$ ,  $a$  e  $b$  são estimados através do método de mínimos quadrados.

O modelo logístico representa uma série que experimenta um pequeno crescimento de consumo no início de sua vida econômica, posteriormente passa por uma fase de grandes aumentos, atingindo em seguida atinge um novo patamar de baixos índices de crescimento, embora nunca apresente um decréscimo. O modelo logístico é denominado de "Curva de Pearl-Reed" ou "Curva de Crescimento", onde combinam-se duas curvas exponenciais consecutivas, sendo a última uma exponencial modificada que se torna assintótica à medida que o tempo aumenta.

#### Modelos da Família Exponencial Modificada

A equação para uma curva exponencial modificada pode ser descrita da seguinte maneira:

$$z_t = a - b r^t, \quad 0 \leq t \leq \infty \quad (4.8)$$

$$0 < r < 1$$

A família da exponencial modificada abrange três tipos de

modelos matemáticos:

Exponencial Modificada  $z_t = a - b r^t$

Logístico  $z_t = \frac{1}{a - b r^t}$

Gompertz  $z_t = e^{a - b r^t} = A e^{-b r^t} = A B^{r^t}$

Através de diferentes transformações, pode-se reduzir todos os modelos acima à família da exponencial modificada, conforme mostra-se a seguir:

Variável Original (série de dados)	Transformação	Equação Transformada
$z_t$	$Y_t = z_t$	$Y_t = a - b r^t$
$z_t$	$Y_t = \frac{1}{z_t}$	$Y_t = a - b r^t$
$z_t$	$Y_t = \ln z_t$	$Y_t = a - b r^t$

Para realizar todas estas transformações utiliza-se um procedimento idealizado por GREGG et. al.(1968) para ajustar as curvas de Gompertz e Logística. Infelizmente, não existe um algoritmo para um ajuste exato através dos métodos de mínimos quadrados para a família de curvas pertencentes ao modelo exponencial modificado. Este fato deve-se ao seu caráter não-linear que não permite a linearização por métodos simples.



Para superar este impasse existe um método conhecido como polinômios de GOMES que fornece uma aproximação ao ajuste dos mínimos quadrados e fornece um teste para avaliar a sua qualidade. Tendo em vista que a sequência dos cálculos é bastante longa esta será omitida. HARRIS e sua equipe desenvolveram o programa GOMES em linguagem FORTRAN que executa todos os passos necessários, que foi adaptado por SUSLICK(1989) ao microcomputador PC-IBM compatível (ANEXO C).

#### 4.3 - ALGUNS EXEMPLOS DE MODELOS DE TENDÊNCIAS

##### CONSUMO DE PALÁDIO NOS EUA EM APLICAÇÕES ELÉTRICAS

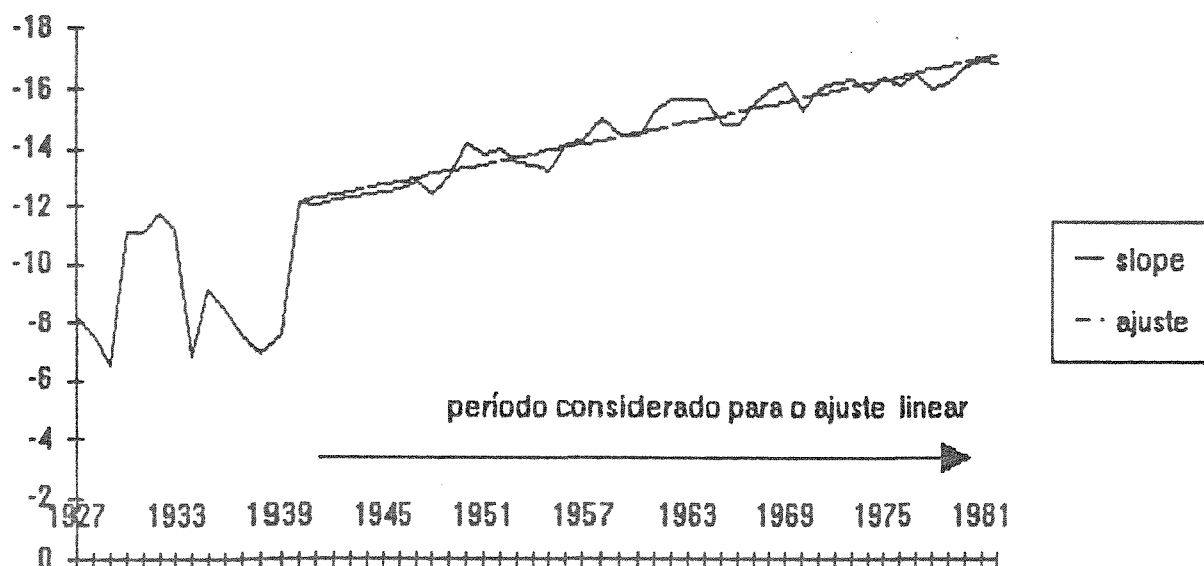
O consumo de paládio nos EUA em aplicações elétricas constitui um bom exemplo de ajuste de uma curva de tendência. A FIGURA 4.3 apresenta a relação  $a/b^2$  (inclinações) em relação ao tempo com uma média-móvel de 11 anos e a série ajustada através de uma curva logística. No gráfico das inclinações a série foi truncada no seu período inicial, fornecendo assim um segmento de reta.

A curva logística foi obtida pelo método de mínimos quadrados através da seguinte equação:

$$\text{CONS}_t = \frac{375.371}{1 + 21.5125 e^{-0.164942 (t)}} \quad R^2 = 0.8225$$

O efeito do truncamento da série inicial destina-se a aumentar

## Características da inclinação do Modelo Logístico - Paládio - USA



## Modelo Logístico ajustado aos dados de consumo de paládio nos EUA em aplicações elétricas (onça-troy)

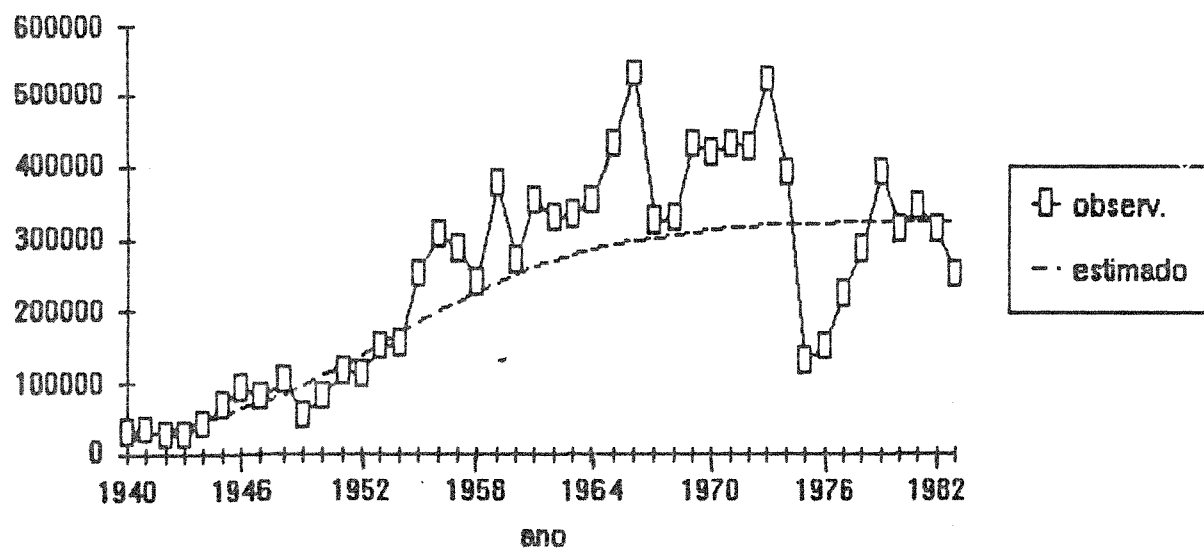


FIGURA 4.3 - MODELO LOGÍSTICO AJUSTADO AOS DADOS DE CONSUMO DE PALÁDIO NOS EUA EM APLICAÇÕES ELÉTRICAS

o efeito de tangenciamento da curva (assíntota) nos anos finais. O cálculo do consumo no ano 2000 foi estimado em 375.350 onças-troy.

#### INTENSIDADE DE USO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO NO BRASIL

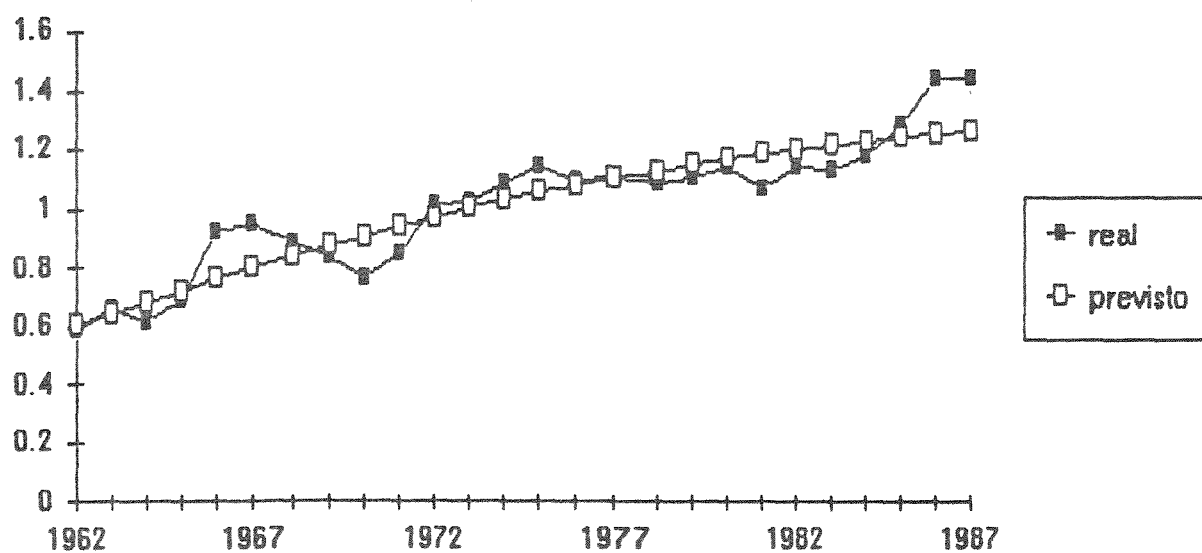
Os dados de intensidade de uso (IU) de alumínio primário do ANEXO B foram ajustados também por um modelo logístico seguindo a mesma metodologia utilizada anteriormente. O cálculo do consumo foi feito multiplicando-se o valor estimado de IU pelo produto do PIB. A FIGURA 4.4 apresenta os ajustes da IU e do consumo de alumínio no Brasil. A equação do modelo logístico para a IU é a seguinte:

$$IU_t = \frac{1}{0.737362 + 1.02268 \cdot 0.892382^t} \quad R^2 = 0.8924$$

O período escolhido para o truncamento para o ajuste da curva logística foi entre 1950 a 1962. O cálculo do consumo de alumínio para o ano 2000 foi estimado em  $1.068,7 \times 10^3$  toneladas métricas, projetando-se o crescimento do PIB através de um modelo exponencial (PIB = US\$ 800911,50 x  $10^6$  em valores constantes de 1980). Deve-se salientar que o modelo logístico é bastante conservador nas suas previsões (ex-post), na medida que supõe uma certa saturação do consumo, pois a parte final da curva tende a atingir um patamar.

A TABELA 4.2 apresenta os valores reais e estimados em função do modelo logístico, bem como os erros médios absolutos (AAE), o que permite avaliar o desempenho da previsão (ver Cap.IX).

IU - Alumínio ajustado pelo modelo logístico: 1962-1987  
(IU = ton./US\$ $\times 1000000$  em valores const. 1980)



Consumo de Alumínio ajustado pelo modelo Logístico: 1962-1987  
(consumo em 1000 ton. métricas)

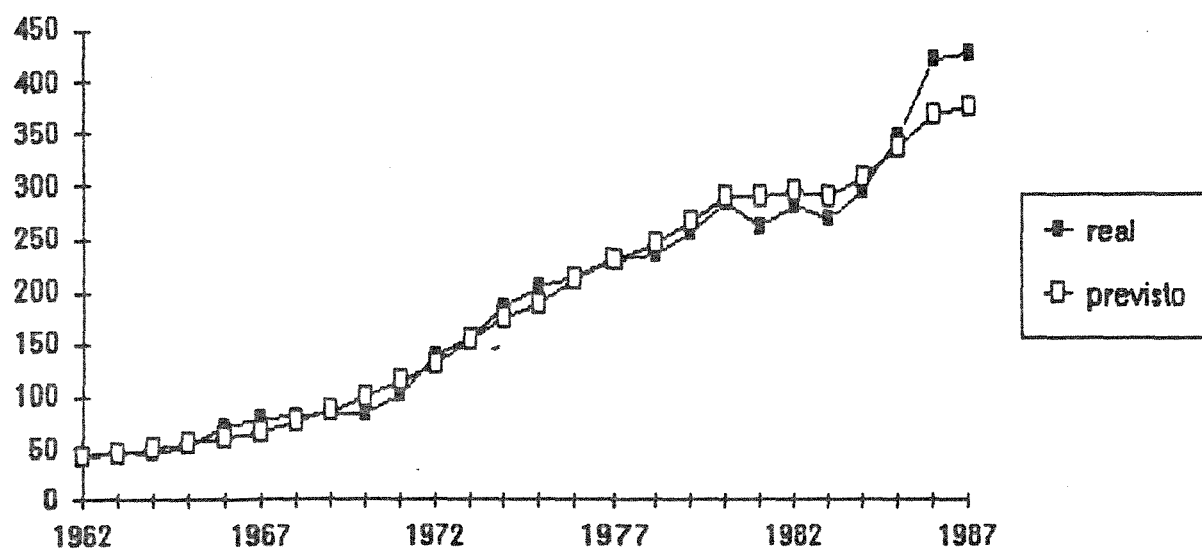


FIGURA 4.4 - MODELO LOGÍSTICO AJUSTADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

**ABELA 2 - Consumo de Alumínio calculado através do  
Modelo Logístico: 1962-1987**

<b>ano</b>	<b>real</b>	<b>previsto</b>	<b>erro</b>
1962	41.20	42.34	0.03
1963	46.70	45.41	0.03
1964	45.10	49.81	0.10
1965	51.60	54.22	0.05
1966	72.10	59.47	0.16
1967	78.00	65.50	0.16
1968	80.50	76.36	0.05
1969	84.00	87.41	0.04
1970	83.50	99.00	0.19
1971	103.30	115.03	0.11
1972	137.80	132.17	0.04
1973	157.60	154.82	0.02
1974	185.20	174.76	0.06
1975	205.00	189.12	0.08
1976	215.50	212.57	0.01
1977	229.50	229.73	0.00
1978	236.50	246.07	0.04
1979	257.10	266.60	0.04
1980	284.90	290.52	0.02
1981	261.70	290.32	0.11
1982	281.90	297.08	0.05
1983	270.60	291.15	0.08
1984	294.00	307.63	0.04
1985	347.50	337.49	0.03
1986	423.70	368.36	0.13
1987	430.30	376.92	0.12
<b>AAE (período observado) =</b>			<b>0.07</b>

**AAE = erro absoluto medio**

## CAPÍTULO V

## INTENSIDADE DE USO E OS MODELOS DE TENDÊNCIA

Conforme visto no Capítulo II, a teoria da intensidade de uso (IU) inicialmente proposta por MALENBAUM (1973, 1975, 1978) apresentava limitações devido à rigidez do seu modelo ao considerar somente a relação da renda com o consumo mineral. Neste capítulo serão evidenciadas diversas extensões do conceito de IU, de modo a superar esta restrição e incrementar a qualidade da previsão da demanda mineral.

Um exame detalhado da definição de IU proposta pelo mencionado autor possibilita estabelecer um paralelo com um simples modelo de renda, expresso da seguinte maneira:

$$d_t = Ay_t^{\alpha} \quad (5.1)$$

onde:  $d_t$  é o consumo per capita de metal e  
 $y_t$  a renda per capita.

*A e  $\alpha$  são parâmetros da função*

Aplicando a definição de MALENBAUM, teremos:

$$IU_t = \frac{D_t/pop_t}{Y_t/pop_t} = \frac{d_t}{y_t}$$

E, em consequência, implica:

$$IU_t = Ay_t^{\alpha-1} \quad (5.2)$$

A equação 5.2 é uma simples decorrência do modelo de Malenbaum de intensidade de uso, embora não se ajuste adequadamente em todo contexto global dos dados, pois se trata de um modelo exponencial. Esta função é crescente e decrescente em relação a  $y_t$ , e se torna constante para  $\alpha = 1$ . Por sua vez, pode-se considerar-se esta função como equivalente da lognormal, na seguinte forma:

$$IU_t = Ay_t^{\alpha_1} e^{\alpha_2(\ln y_t)^2} \quad (5.3)$$

onde:

$$\ln A = K - \ln \sigma - \ln(2\pi) - \mu^2/2\sigma^2$$

sendo:  $\alpha_1 = \frac{\mu}{\sigma^2} \quad e \quad \alpha_2 = \frac{1}{2\sigma^2}$

tem-se:

$$\ln IU_t = \ln A + \alpha_1 \ln y_t + \alpha_2 (\ln y_t)^2 \quad (5.4)$$

A expressão (5.4) indica que a demanda mineral se relaciona com a renda per capita através de uma função exponencial de  $\ln y_t$ . Pode-se obter melhores resultados sobre esta relação retirando-se os logarítmos, e que resulta no Modelo Lognormal de IU:

$$IU_t = Ay_t^{\alpha_1 + \alpha_2 \ln y_t} \quad (5.5)$$

e na forma de consumo mineral, no Modelo Lognormal de Consumo

Mineral:

$$d_t = A y_t^{\alpha_1 + 1 + \alpha_2 \ln y_t} \quad (5.6)$$

As transformações efetuadas anteriormente demonstram que o modelo lognormal representa também uma função translog, que permite utilizar um Modelo Translog de renda per capita no cálculo da demanda mineral. Para a utilização deste modelo se faz necessário submeter a função agregada de produção a um máximo, condicionando-se a função de custo como um modelo mínimo para a demanda derivada em relação ao tempo, através da seguinte expressão:

$$D_t = f(P_t, P_{st}, Y_t, \Gamma_t)$$

onde:

- $P_t$  e  $P_{st}$  = fator-preço da commodity e do seu substituto;  
 $Y_t$  = renda;  
 $\Gamma_t$  = mudança tecnológica no processo de utilização da substância mineral;  
 $f( )$  = função translog

A utilização da função translog  $f( )$  resulta na seguinte expressão para a demanda mineral:

$$D_t = \alpha Y_t^{\beta_Y()} P_t^{\beta_P()} P_{st}^{\beta_{ps}()} \Gamma_t^{\beta_{\Gamma}()} \quad (5.7)$$

Para obter a IU, basta dividir ambos os lados da equação por  $Y_t$ , obtendo-se a seguinte expressão:



$$IU_t = \frac{D_t}{Y_t} = \alpha Y_t^{\beta_{Y0}-1} P_t^{\beta_P} P_{st}^{\beta_{ps}} \Gamma_t^{\beta_\Gamma} \quad (5.8)$$

As equações 5.7 e 5.8 demonstram que no modelo translog a demanda per capita e a IU diferem apenas do expoente de  $Y_t$ :  $\beta_{Y0}$  para a demanda e  $\beta_{Y0} - 1$  para a intensidade de uso (IU).

Estes modelos são consistentes com a teoria proposta por Malenbaum. Para seleccionar o modelo Translog utiliza-se a regressão "stepwise" (passo a passo), que permite seleccionar a melhor equação de acordo com as características de consumo da substância mineral. A presença das componentes preço, tecnologia e demais variáveis possibilita uma melhor análise de sensibilidade do modelo, bem como a descrição de diversos cenários econômicos.

A variável tempo é utilizada como aproximação ("proxy") para a tecnologia. Esta prática é bastante comum nos modelos econométricos e nas previsões de longo prazo, na medida que o seu valor futuro é conhecido. Entretanto, deve-se salientar que este tipo de aproximação contém limitações na medida que caracteriza as mudanças como uma função mecânica e determinística (ver Cap. VIII).

O modelo translog permite também incorporar outros tipos de variáveis e informações, tais como, produtividade, preço e consumo de energia, etc. FAUCETT & CHMELYSKI (1986), analisando os fatores que intervêm na demanda mineral em vários países, utilizaram além do PIB per capita e o preço dos metais, introduzindo também como uma variável explanatória o preço da energia e seus substitutos.

Um trabalho detalhado de previsão do consumo de diferentes substâncias minerais, utilizando o modelo translog, foi realizado por HARRIS & JEON(1987) e JEON(1988).

### 5.1 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS DE INTENSIDADE DE USO VIA MODELOS DE TENDÊNCIA

Para melhor avaliar a performance e a evolução de cada modelo de IU mencionado anteriormente, serão apresentados 3 tipos de ajustes - LINEAR, LOGNORMAL E TRANSLOG - para a IU de alumínio no Brasil, no período compreendido entre 1950-1987 e entre 1950-1980, e utilizando-se a equação dos anos 1950-80 para prever (expost) o período de 1981 a 1987. As equações que cobrem o período entre 1950-1987 serão utilizadas para calcular o consumo do metal no ano 2000. Os tipos de modelos utilizados são os seguintes:

MODELO DE IU	PERIODO	PREVISÃO
LINEAR(IU vs.TEMPO)	1950-1980	1981-1987
LINEAR(IU vs.PIB)	1950-1980	1981-1987
LINEAR(IU vs.PIB)	1950-1987	-
LOGNORMAL (MALENBAUM)	1950-1980	1981-1987
LOGNORMAL (MALENBAUM)	1950-1987	-
TRANSLOG	1950-1980	1981-1987
TRANSLOG	1950-1987	-

Para cada modelo serão apresentadas as curvas de IU e de

consumo, bem como os ajustes e o erro médio absoluto (AAE). Os dados de consumo real (registrado) e de IU encontram-se no ANEXO B.

#### MODELO LINEAR DE IU - ALUMINIO

O modelo linear foi calculado através de uma regressão simples dos dados de consumo em função do tempo e do PIB. As equações obtidas e as suas estatísticas foram as seguintes:

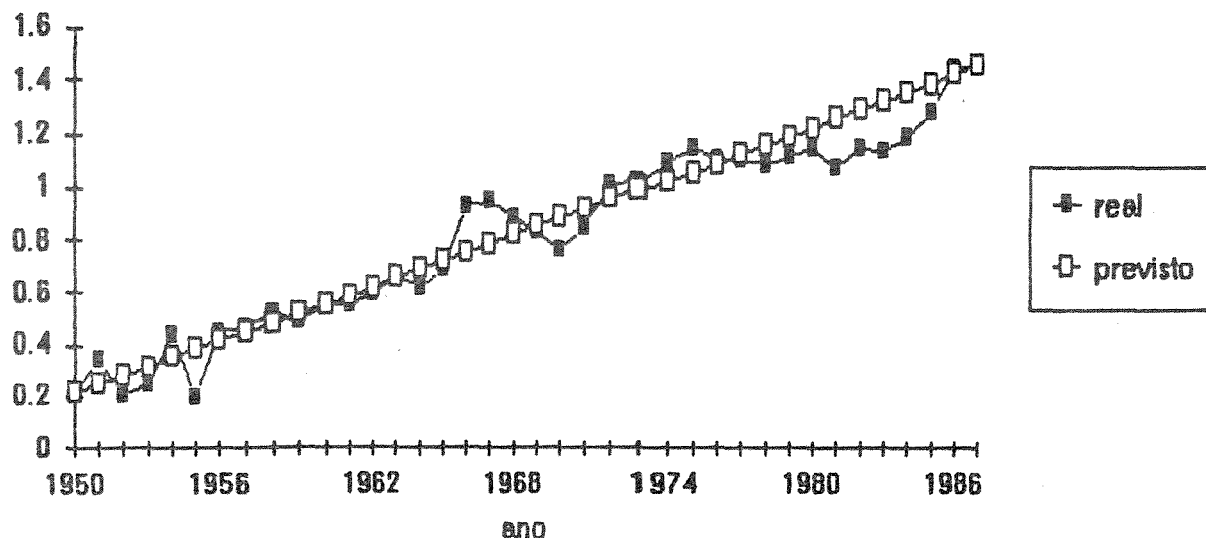
MODELO	EQUAÇÃO	COEF. CORR.
TEMPO 1950-80	$IU_t = -64.9664 + 0.0332t$	$R^2 = 0.94$
PIB 1950-80	$IU_t = 0.2893 + 0.4224 \times 10^{-5}t$	$R^2 = 0.79$
PIB 1950-87	$IU_t = 0.3246 + 0.3732 \times 10^{-5}t$	$R^2 = 0.85$

O resultado dos ajustes para os modelos de IU em relação ao tempo e ao PIB encontram-se na FIGURAS 5.1 e 5.2. A TABELA 5.1 exibe os valores reais (registrados) e os estimados pelas diferentes equações. De maneira análoga aos itens anteriores foi calculado o erro absoluto médio, que fornece uma medida da qualidade da estimativa efetuada. Maiores informações sobre o cálculo do erro médio absoluto ver Capítulo XIX.

Apesar do modelo de IU em função do PIB ser mais flexível e acompanhar as variações de IU (FIGURA 5.2), a previsão do consumo no período de 1981-87 (expost) através do modelo linear em função do tempo apresenta menores flutuações (FIGURA 5.1). Este fato pode

IU - Alumínio ajustado pelo modelo linear (tempo). 1950-1980. expost 1981-87 (U = 1000 ton./milhoesUS\$)

44



Consumo de Alumínio (1000 ton.) ajustado pelo modelo linear de IU (tempo) 1950-1980, expost 1981-1987

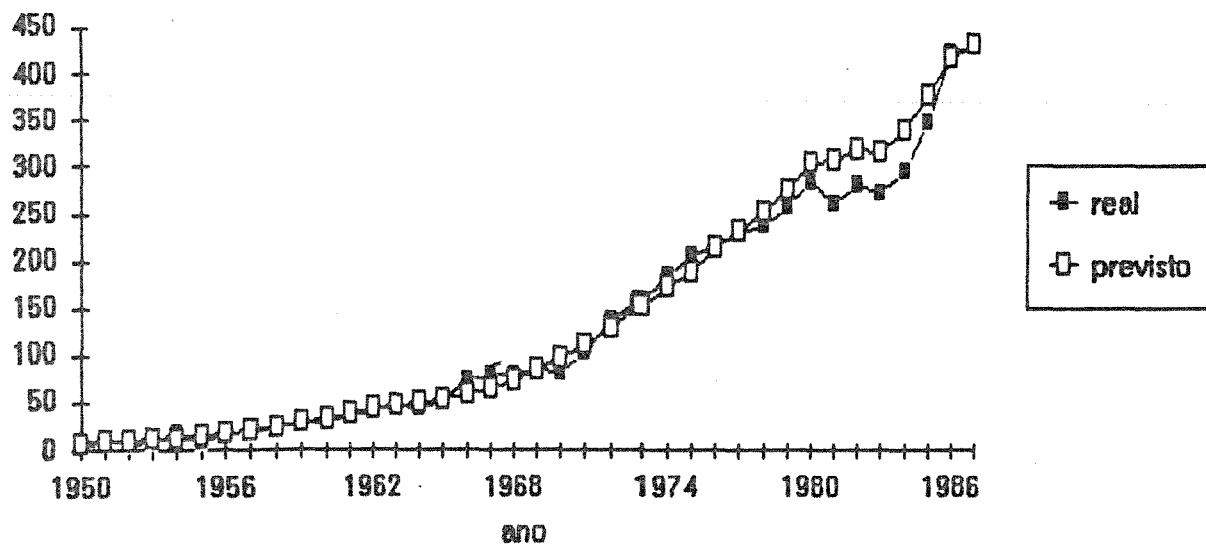
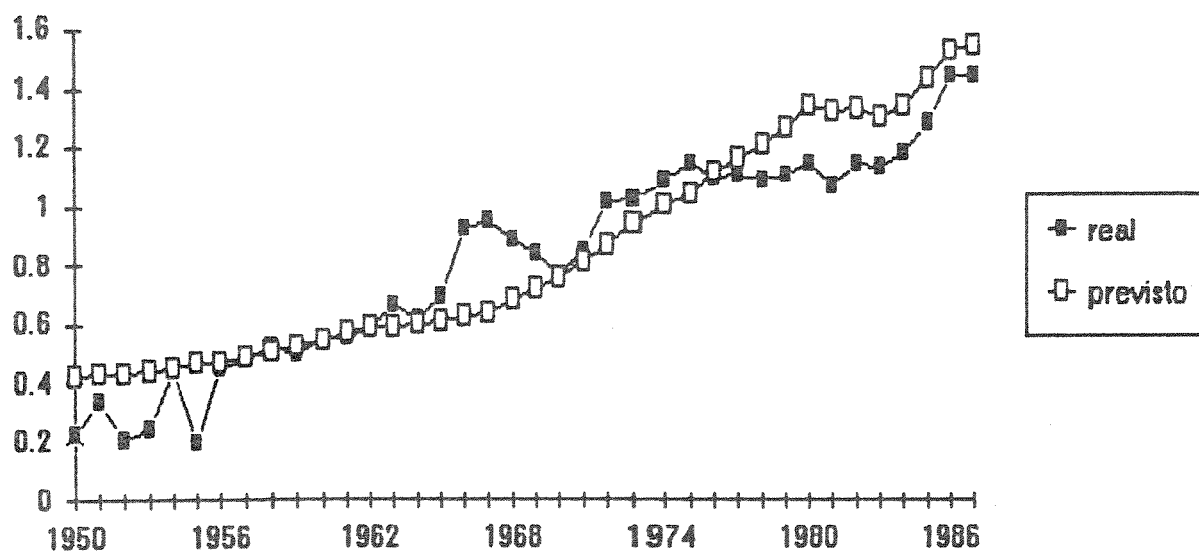


FIGURA 5.1 - MODELO LINEAR (IU vs. TEMPO) AJUSTADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

IU-Alumínio ajustado pelo modelo linear (PIB). 1950-1980, expost 1981-87  
(IU= 1000 ton/milhoes US\$)



Consumo de Alumínio (1000 ton.) ajustado pelo modelo linear de IU (PIB)  
1950-1980, expost 1981-87

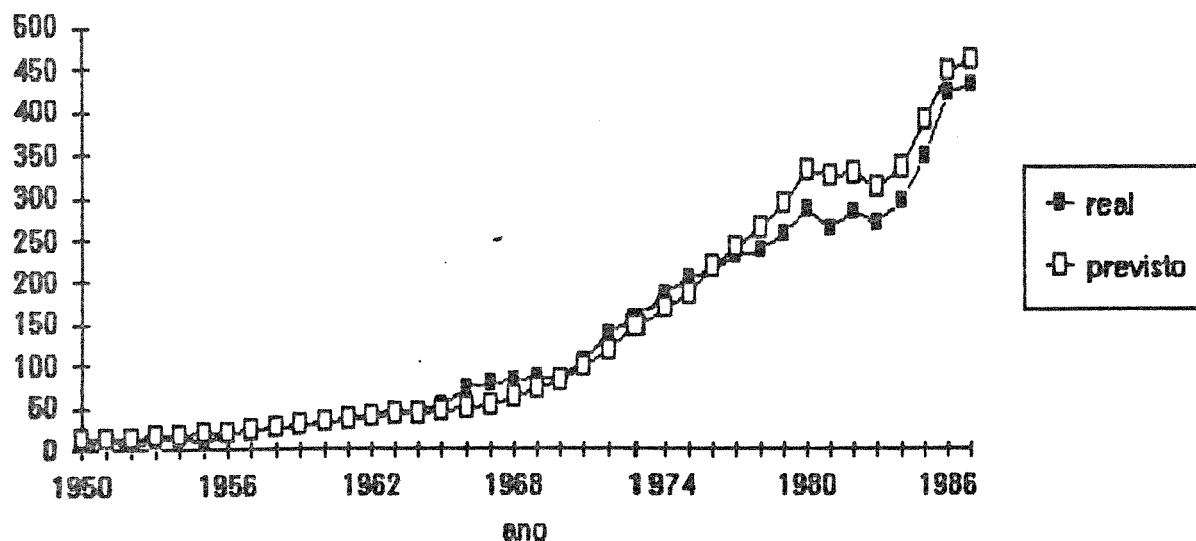


FIGURA 5.1<sup>2</sup> - MODELO LINEAR (IU vs. PIB) AJUSTADO  
AOS DADOS DE ALUMÍNIO

**TABELA 5.1 - Consumo de Alumínio estimado pelos modelos lineares de IV em relação ao tempo e ao PIB (Produto Interno Bruto)**

TEMPO				PIB			
ano	real	estimado 1950-80	erro 1950-80	estimado 1950-80	erro 1950-80	estimado 1950-87	erro 1950-87
1950	6.80	6.64	0.02	12.86	0.09	13.48	0.98
1951	11.30	8.28	0.27	14.25	0.26	14.88	0.32
1952	7.00	9.64	0.38	14.76	1.11	15.39	1.20
1953	8.60	11.05	0.29	15.26	0.77	15.89	0.85
1954	16.70	13.46	0.19	17.38	0.04	18.00	0.08
1955	8.20	15.75	0.92	19.03	1.32	19.64	1.40
1956	19.00	17.67	0.07	19.86	0.05	20.48	0.08
1957	21.60	20.63	0.04	22.13	0.02	22.71	0.05
1958	26.00	24.16	0.07	25.00	0.04	25.53	0.02
1959	27.00	28.36	0.05	28.57	0.06	29.03	0.08
1960	33.00	33.14	0.00	32.73	0.01	33.07	0.00
1961	36.80	38.77	0.05	37.83	0.03	38.01	0.03
1962	41.20	43.12	0.05	40.82	0.01	40.89	0.01
1963	46.70	45.86	0.02	41.36	0.11	41.41	0.11
1964	45.10	49.89	0.11	43.56	0.03	43.52	0.04
1965	51.60	53.93	0.05	45.60	0.12	45.47	0.12
1966	72.10	58.79	0.18	48.53	0.33	48.27	0.33
1967	78.00	64.42	0.17	52.24	0.33	51.82	0.34
1968	80.50	74.83	0.07	61.82	0.23	60.93	0.24
1969	84.00	85.48	0.02	71.63	0.15	70.22	0.16
1970	83.50	86.73	0.16	82.12	0.02	80.09	0.04
1971	103.30	112.46	0.09	98.81	0.04	95.75	0.07
1972	137.80	129.50	0.06	117.80	0.15	113.29	0.18
1973	157.60	152.23	0.03	145.59	0.08	139.30	0.12
1974	185.20	172.66	0.07	170.46	0.08	162.30	0.12
1975	205.00	188.01	0.08	186.66	0.09	177.24	0.14
1976	215.50	212.86	0.01	219.23	0.02	207.22	0.04
1977	229.50	232.02	0.01	241.69	0.05	227.84	0.01
1978	236.50	250.89	0.06	263.31	0.11	247.66	0.05
1979	257.10	274.70	0.07	293.80	0.14	275.56	0.07
1980	284.90	302.76	0.06	332.43	0.17	310.84	0.09
ME(período observado) =			0.12		0.22		0.24
1981	261.70	306.25	0.17	323.31	0.24	302.51	0.16
1982	281.90	317.43	0.13	328.84	0.17	307.57	0.09
1983	278.60	315.31	0.17	310.43	0.15	290.76	0.07
1984	294.80	337.85	0.15	335.75	0.14	313.87	0.06
1985	347.50	378.85	0.08	389.37	0.12	362.73	0.04
1986	423.70	416.62	0.02	448.74	0.06	416.72	0.02
1987	430.30	432.83	0.01	461.81	0.07	427.86	0.01
ME(período previsto) =			0.10		0.13		
ME(período observado : 1950-1987)				=====>			0.21

ser creditado ao próprio comportamento do PIB no período de 1980-87, que apresentou grandes variações, que dificulta um ajuste adequado. Deve-se chamar atenção para o fato de que, apesar das limitações do modelo linear, ele vem sendo ainda amplamente utilizado pelos organismos responsáveis pela previsão da demanda mineral em diversos países (p.ex. Bureau of Mines(EUA), CERNA(França), etc..) em decorrência do seu fácil manuseio.

A previsão do consumo de alumínio no ano 2000 seguiu o mesmo procedimento adotado anteriormente, projetando-se o crescimento do PIB através de um modelo exponencial (ANEXO B), com valor estimado para o ano 2000 de US\$ 800.911,5 x 10<sup>6</sup> e um PIB per capita de US\$ 3965.59 em valores constantes de 1980. Os resultados para o modelo linear foram os seguintes:

MODELO	CONSUMO DE ALUMÍNIO NO ANO 2000 (1000ton)
IU vs. TEMPO	1511.8
IU vs. PIB	2653.9

#### MODELO LOGNORMAL DE IU - MALENBAUM - ALUMINIO

O modelo lognormal de Malenbaum foi calculado utilizando-se a equação 5.4 através da regressão dos dados de consumo em função dos logs da renda per capita. Os valores  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  podem ser facilmente estimados através de simples transformações. Os dados de consumo ajustados (1950-80, expost: 1981-87) por este modelo

encontram-se na FIGURA 5.3, enquanto a TABELA 5.2 exibe os resultados para os períodos 1950-80 e 1950-87 e seus respectivos erros. As equações encontradas foram as seguintes:

1950-1980

$$IU_t = \left( \frac{e^{-58.5603}}{1.0962 \cdot 2\pi} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln PIB_t - 3.5046}{1.0962} \right)^2} \right) PIB_t \quad R^2 = 0.90$$

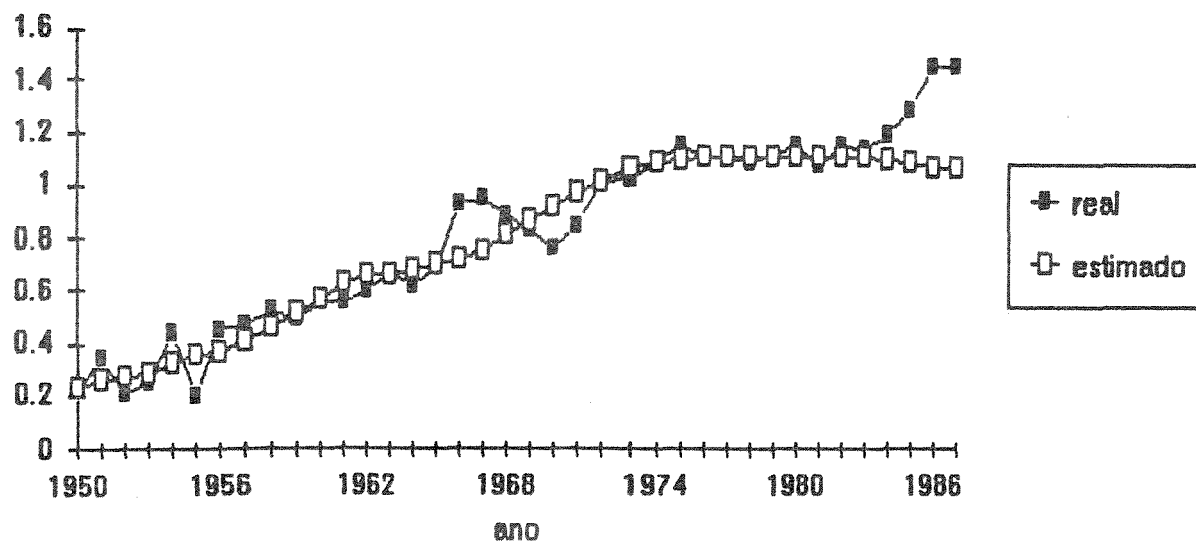
1950-1987

$$IU_t = \left( \frac{e^{-45.6075}}{1.2146 \cdot 2\pi} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln PIB_t - 3.5392}{1.2146} \right)^2} \right) PIB_t \quad R^2 = 0.91$$

O valor do consumo de alumínio através da equação do período 1950-87 para o ano 2000 foi estimado em  $652,7 \times 10^3$  toneladas métricas, o que representa uma estimativa bastante inferior aos demais modelos. A teoria de IU expressa através do modelo lognormal impõe certos limites ao crescimento da demanda mineral, quando a sociedade atinge um determinado nível de renda per capita. Este modelo busca reproduzir o processo de ciclo de vida entre os materiais e a renda mencionado no capítulo anterior. Por outro lado, os ajustes efetuados no período 1950-80 situaram-se na mesma ordem de grandeza dos demais modelos.



IU-Alumínio ajustado pelo modelo Lognormal (Malenbaum)  
1950-1980, expost:1981-87 (IU = 1000ton/milhoes US\$)



Consumo de Alumínio estimado pelo modelo Lognormal de IU (Malenbaum)  
1950-1980, expost:1981-87 (valores em 1000 ton.)

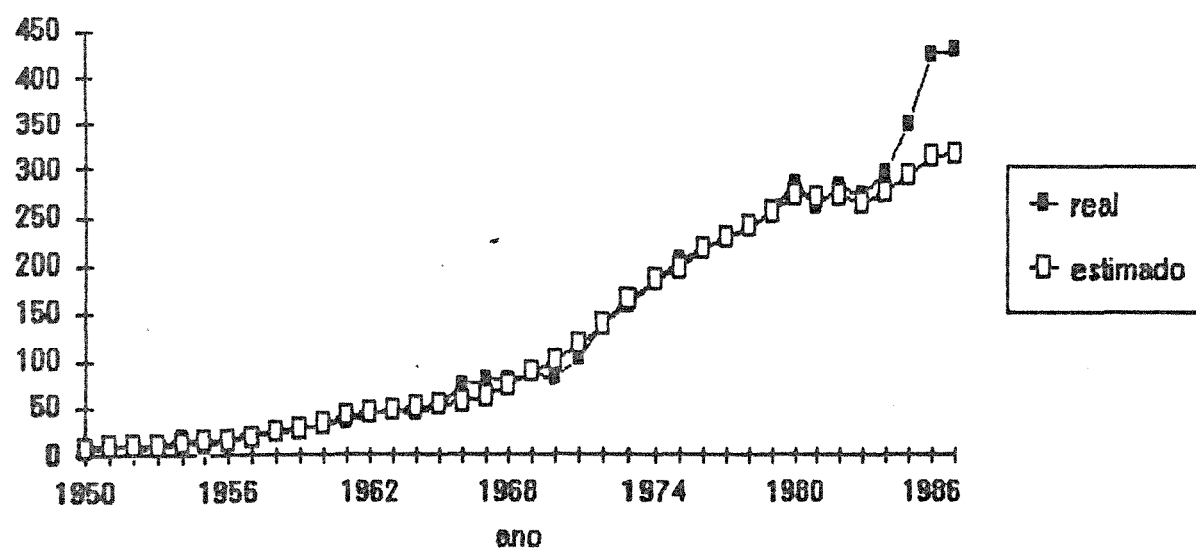


FIGURA 5.3 - MODELO LOGNORMAL (MALENBAUM) AJUSTADO  
AOS DADOS DE ALUMÍNIO

**TABELA 5.2 - Consumo de Alumínio estimado pelo modelo Lognormal de IU  
segundo a definição de Malenbaum**

ano	real	previsto 1950-80	erro 1950-80	previsto 1950-80	erro 1950-80
1950	6.80	6.97	0.02	7.22	0.06
1951	11.30	8.53	0.25	8.74	0.23
1952	7.00	9.12	0.30	9.32	0.33
1953	8.60	9.72	0.13	9.90	0.16
1954	16.70	12.93	0.26	12.43	0.26
1955	8.20	14.47	0.76	14.49	0.77
1956	19.00	15.58	0.18	15.56	0.18
1957	21.60	18.65	0.14	18.52	0.14
1958	26.00	22.66	0.13	22.37	0.14
1959	27.00	27.77	0.03	27.27	0.01
1960	33.00	33.79	0.02	33.05	0.00
1961	36.80	41.18	0.12	40.18	0.09
1962	41.20	45.49	0.19	44.36	0.08
1963	46.70	46.26	0.01	45.11	0.03
1964	45.10	49.40	0.10	48.16	0.07
1965	51.60	52.29	0.01	50.98	0.01
1966	72.10	56.41	0.22	55.00	0.24
1967	78.00	61.57	0.21	60.06	0.23
1968	80.50	74.45	0.08	72.82	0.10
1969	84.00	87.02	0.04	85.41	0.02
1970	83.50	99.72	0.19	98.33	0.18
1971	103.30	118.51	0.15	117.76	0.14
1972	137.80	137.74	0.00	138.09	0.00
1973	157.60	163.15	0.04	165.72	0.05
1974	185.20	183.00	0.01	187.95	0.01
1975	205.00	194.76	0.05	201.42	0.02
1976	215.50	216.08	0.00	226.44	0.05
1977	229.50	229.22	0.00	242.27	0.06
1978	236.50	240.83	0.02	256.57	0.08
1979	257.10	255.72	0.01	275.32	0.07
1980	284.90	272.45	0.04	297.04	0.04
MAE (período observado) =			0.12		0.12
1981	261.70	268.70	0.03	292.10	0.12
1982	281.90	270.99	0.04	295.11	0.05
1983	270.60	263.18	0.03	284.83	0.05
1984	294.80	273.80	0.07	298.81	0.01
1985	347.50	293.60	0.16	325.58	0.06
1986	423.70	312.18	0.26	351.74	0.17
1987	430.30	315.55	0.27	356.75	0.17
MAE (previsão) ==>			0.12		
MAE (período observado)			==>	1950-87	0.12

MODELO TRANSLOG DE IU - ALUMINIO

O modelo translog foi calculado através da regressão "stepwise" (passo a passo), que resultou nas seguintes equações:

---

950-80

$$I_t = -2.8805 + 0.3151 \ln PIB + 0.4578 \ln T - 0.570 \times 10^{-3} Pal - 0.129 \times 10^{-4} Pcu$$

$$R^2 = 0.89 \quad F(4, 30) = 53.9$$


---

950-87

$$I_t = -4.0481 + 0.4028 \ln PIB + 0.4025 \ln T - 0.198 \times 10^{-3} Pal - 0.0.306 \times 10^{-4} Pcu$$

$$R^2 = 0.90 \quad F(4, 37) = 77.96$$


---

nde:  $Z_t = \ln IU_t$

$I_t$  = logaritmo da intensidade de uso;

PIB = produto interno bruto per capita (valores em US\$ de 1980);

$T$  = tecnologia, utilizou-se o tempo como aproximação;

Pal = preço internacional do alumínio (LME);

Pcu = preço do metal competidor ou substituto, no caso do alumínio foi selecionado o cobre (LME).

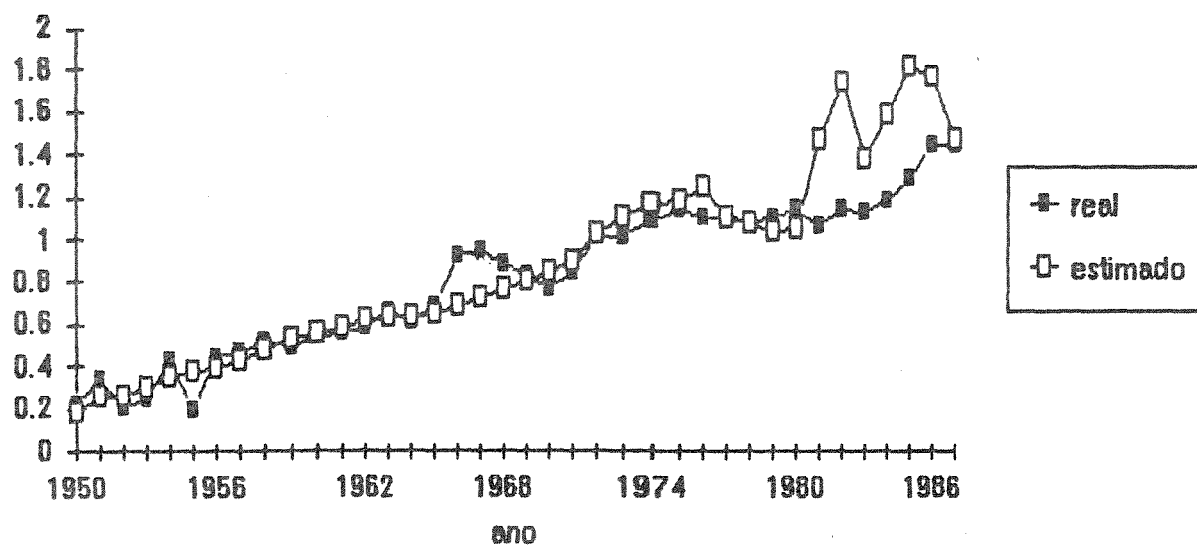
A FIGURA 5.4 e a TABELA 5.3 exibem os resultados encontrados para o modelo translog. Pode-se observar que no caso da previsão 81-87, o modelo não captura integralmente as mudanças do consumo período. Por outro lado, o erro médio absoluto da estimativa 50-87 é o mais baixo (0.11), demonstrando a vantagem de incorporar-se as variáveis preço e tecnologia ao modelo.

**IELA 5.3 - Consumo de Alumínio estimado pela extensão  
do Modelo Translog - valores em 1000 ton.**

52

	real	estimado	erro	estimado	erro
		1950-80	1950-80	1950-87	1950-87
1950	6.80	5.78	0.15	5.71	0.16
1951	11.30	8.88	0.21	8.44	0.25
1952	7.00	8.92	0.27	9.64	0.38
1953	8.60	10.68	0.24	11.11	0.29
1954	16.70	13.47	0.19	13.78	0.17
1955	8.20	15.71	0.92	16.51	1.01
1956	19.00	16.79	0.12	17.61	0.07
1957	21.60	19.56	0.09	19.76	0.09
1958	26.00	24.18	0.07	23.41	0.10
1959	27.00	29.38	0.09	28.14	0.04
1960	33.00	33.54	0.02	32.73	0.01
1961	36.80	39.26	0.07	38.21	0.04
1962	41.20	43.77	0.06	42.15	0.02
1963	46.70	45.41	0.03	43.42	0.07
1964	45.10	46.80	0.04	47.24	0.05
1965	51.60	49.33	0.04	51.35	0.00
1966	72.10	53.81	0.25	56.68	0.21
1967	78.00	59.86	0.23	59.33	0.24
1968	80.50	70.82	0.13	70.33	0.13
1969	84.00	80.59	0.04	82.17	0.02
1970	83.50	82.82	0.11	82.65	0.11
1971	103.30	110.23	0.07	106.52	0.63
1972	137.80	139.23	0.81	127.43	0.88
1973	157.60	178.88	0.08	162.55	0.03
1974	185.28	198.50	0.07	184.78	0.00
1975	205.00	210.84	0.03	188.48	0.08
1976	215.58	245.88	0.14	218.54	0.01
1977	229.50	229.95	0.00	223.46	0.03
1978	236.50	233.52	0.01	234.97	0.01
1979	257.18	239.76	0.07	255.83	0.00
1980	284.80	262.17	0.08	280.26	0.02
AE (período observado) =			0.13		0.12
1981	261.70	368.53	0.38	383.21	0.16
1982	281.80	428.60	0.52	322.30	0.14
1983	278.68	328.83	0.22	286.89	0.06
1984	294.80	395.77	0.34	315.62	0.07
1985	347.50	493.69	0.42	369.20	0.06
1986	423.70	516.91	0.22	483.87	0.05
1987	430.30	437.36	0.02	390.97	0.09
AE (período estimado) =			0.30		0.09
AE (período observado) ==> 1950-1987					0.11

IV - Alumínio estimado pelo Modelo Translog  
1950-1980, expost 1981-87



Consumo de Alumínio estimado pelo modelo Translog de IV  
1950-1980, expost 1981-87 (valores em 1000 ton)

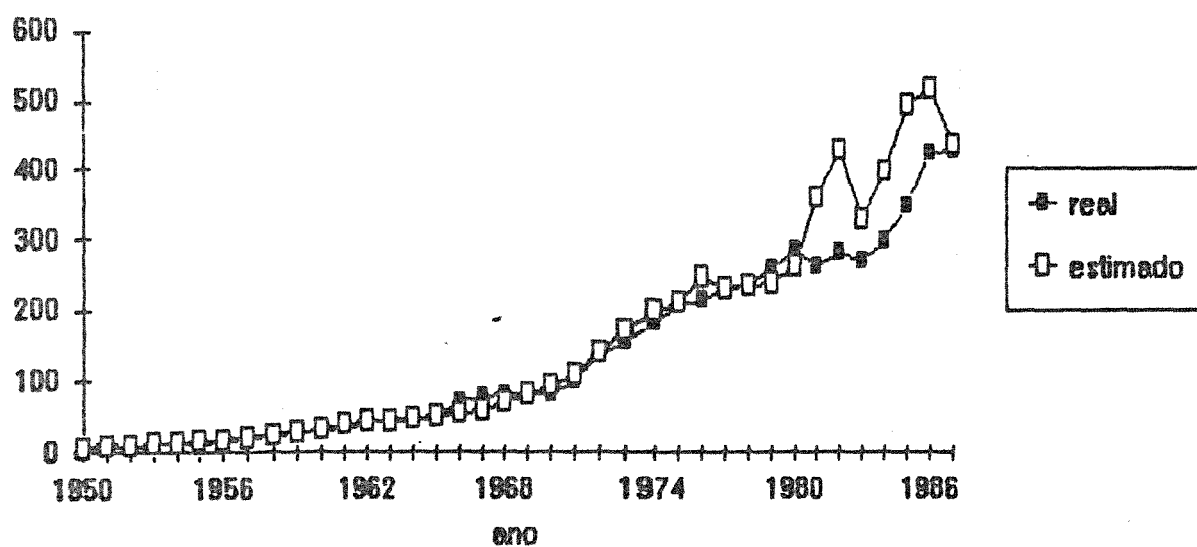


FIGURA 5.4 - MODELO TRANSLOG AJUSTADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

O cálculo do consumo de alumínio no ano 2000 foi estimado em  $1526.9 \times 10^3$  toneladas métricas, supondo-se que os preços médios dos metais serão mantidos constantes nos níveis da década de 80, em torno de US\$1388.68/tonelada e US\$1580.39/tonelada de alumínio e cobre respectivamente em valores corrigidos para 1980, utilizando-se o deflator de preços implícitos para metais do "U.S. Department of Commerce(1988)".

## CAPÍTULO VI

### MÉTODOS DE CURVAS DE CONHECIMENTO ("LEARNING CURVES")

Uma maneira racional de medir e prever os incrementos de produtividade no setor industrial já vem sendo aplicada há algum tempo através do sistema de curvas de conhecimento. Esta técnica descreve a relação empírica entre as quantidades produzidas e certas quantidades de entrada ("input"), onde o aumento de produtividade fruto do "conhecimento" é observável.

A concepção das curvas de conhecimento baseia-se na noção intuitiva que o incremento de produtividade (p.ex. no trabalho) é resultante de um aprendizado e, conseqüentemente, é passível de planejamento e previsão. Os métodos das curvas de conhecimento foram inicialmente aplicados na indústria aeronáutica para a redução do número de homens-hora necessárias para as montagens de peças dos aviões (WRIGHT, 1936). Diversas aplicações desta técnica nas áreas de avaliação e previsão de produtividade, avaliação de custos e tomada de decisão na indústria em geral podem ser encontradas em BELKAOUI (1986). Alguns autores utilizam diferentes denominações para as curvas de conhecimento, tais como, relação custo-quantidade, curva de custo, curva de aperfeiçoamento, curva de experiência dentre outros.

Apesar das enormes vantagens proporcionadas por esta técnica nas áreas de planejamento e controle industrial, são pouco

frequentes às aplicações na indústria mineral e até recentemente quase inexistentes na previsão da demanda mineral.

PIERSON (1981) propôs algumas aplicações para o uso de curvas de conhecimento no controle da produção mineral em plantas metalúrgicas e na análise de acidentes com operários e equipamentos em minas subterrâneas. HARRIS (1984) estimou recursos minerais potenciais (não-descobertos) de mercúrio nos EUA utilizando o conceito das curvas de conhecimento. Na área de previsão da demanda mineral os únicos exemplos conhecidos de utilização das curvas de conhecimento podem ser encontrados em HARRIS & JEON (1987).

Em termos formais, a curva de conhecimento pode ser definida através das seguintes relações que representam simples valores acumulados:

$$\bar{X}_t = \sum_{j=1}^t s_j \quad \text{e} \quad \bar{Z}_t = \sum_{j=1}^t r_j$$

onde :

$$\bar{Y}_t = \bar{Z}_t / \bar{X}_t \quad (6.1)$$

É uma medida do sistema de conhecimento.

O modelo de curva de conhecimento mais utilizado é o potencial simples, cuja relação entre  $\bar{Y}_t$  e  $\bar{X}_t$  pode ser representada pela seguinte relação:

$$\bar{Y}_t = A \bar{X}_t^b \quad (6.2)$$

onde:



$$b = \ln(\theta)/\ln(2)$$

sendo:

$$1 - \theta = \text{índice de conhecimento;} \\ \theta = \text{índice de progresso e} \\ \theta = 2^b.$$

A relação (6.2), quando submetida à transformação logarítmica, é facilmente linearizada através da seguinte expressão que identifica o modelo clássico log-linear utilizado na previsão da demanda mineral:

$$\ln Z_t = \ln A + b \ln X_t^*$$

Diversos modelos ("relações") de curvas de conhecimento foram desenvolvidos para diferentes aplicações em gestão e planejamento, quando a relação log-linear não fornece ajustes adequados. Entre estes modelos estão a função exponencial de Pegel, a função de ajuste de Levy, a fórmula de conhecimento de DeJong com fator de incompressibilidade, o modelo de Stanford-B, a Curva S e a fórmula de conhecimento de Glover com fator de trabalho inicial. Detalhes sobre estes modelos podem ser encontrados em BELKAOUI (1986).

Segundo HARRIS(1989), o interesse despertado pelas curvas de conhecimento na previsão da demanda deve-se à necessidade de projetar as mudanças de produtividade e de câmbio tecnológico, na medida que a maioria das projeções destas variáveis efetuadas através de séries temporais não tem se mostrado suficientemente acurada e representativa. Um exemplo deste tipo de aplicação será abordado no Cap. VIII, que utiliza o sistema de conhecimento para a projeção de índices de produtividade industrial no Brasil.

As indicações para o uso do sistema de curvas de conhecimento na previsão da demanda mineral são essencialmente empíricas e baseiam-se nas observações do padrão das relações entre as variáveis (p.ex. valores acumulados de consumo mineral versus valores acumulados de PIB per capita) utilizadas na sua modelagem. O sistema de curvas de conhecimento é bastante eficaz quando se pretende avaliar a demanda mineral a longo prazo, pois este método reproduz com melhor precisão os padrões globais do que as flutuações cíclicas e erráticas de curto prazo. A seguir apresentaremos dois tipos de estruturas de um sistema de curvas de conhecimento para a previsão da demanda mineral de alumínio.

#### 6.1 SISTEMA DE CURVA DE CONHECIMENTO SIMPLIFICADO

O sistema de curva de conhecimento simplificado baseia-se na relação 6.1 apresentada anteriormente, sendo a variável  $\bar{W}_t$  designada como medida de conhecimento através da seguinte expressão:

$$\bar{W}_t = \bar{D}_t / \bar{Y}_t = L(\bar{Y}_t) \quad (6.3)$$

A demanda pode ser calculada por uma simples transformação algébrica:

$$\bar{D}_t = \bar{W}_t * \bar{Y}_t \quad \text{ou} \quad \bar{D}_t = L(\bar{Y}_t) * \bar{Y}_t$$

onde:

$$\bar{D}_t = \text{consumo de metal acumulado;}$$

$\bar{Y}_t^*$  = valor acumulado de PIB per capita e

$L()$  = função de conhecimento.

A simples análise da expressão 6.3 indica que esta medida de conhecimento pode ser interpretada também como a intensidade de uso acumulada,  $I\bar{U}_t^*$ , onde  $I\bar{U}_t^* = D_t/Y_t$ . Neste sentido, a expressão 6.3 pode reescrita da seguinte forma:

$$I\bar{U}_t^* = L(\bar{Y}_t^*)$$

E conseqüentemente derivando-se em relação ao tempo, obteremos:

$$D_t = \frac{d\bar{D}_t^*}{dt} = L'(\bar{Y}_t^*) \frac{d\bar{Y}_t^*}{dt} \bar{Y}_t^* + L(\bar{Y}_t^*) \frac{d\bar{Y}_t^*}{dt}$$

Assim teremos:

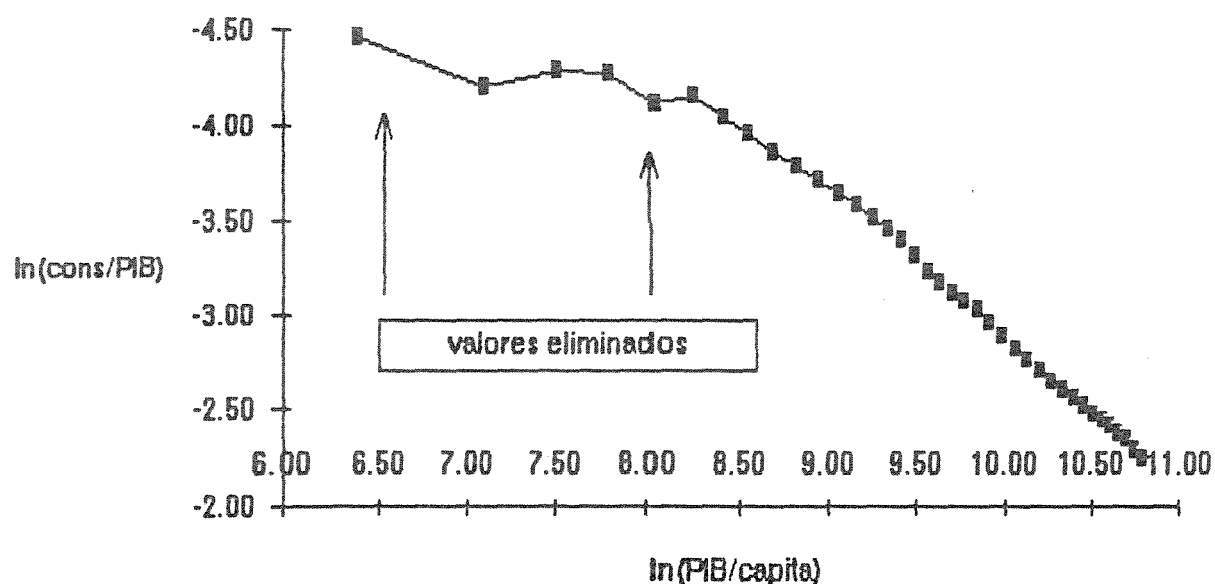
$$D_t = [L'(\bar{Y}_t^*) \bar{Y}_t^* + L(\bar{Y}_t^*)] Y_t \quad (6.4)$$

A expressão 6.4 representa a demanda estimada através do sistema de curvas de conhecimento simples. A relação entre os valores acumulados de consumo/PIB per capita versus o PIB per capita expressos em logaritmos pode ser visualizada na FIGURA 6.1. Eliminando-se os pontos iniciais do gráfico, obtém-se um razoável padrão de curva de conhecimento através de uma relação linear. O ajuste de uma reta por regressão linear simples permite estimar o consumo de alumínio (FIGURA 6.1) por intermédio da seguinte equação:

$$\ln \bar{Z}_t^* = -10.6487 + 0.7763 \ln \bar{Y}_t^* \quad R^2 = 0.995$$

Curva de Conhecimento IU vs. PIB per capita valores em logs acumulados

60



Consumo de Alumínio estimado pela Curva de Conhecimento  
1950-1980, expost 1981-87 (valores em 1000 ton.)

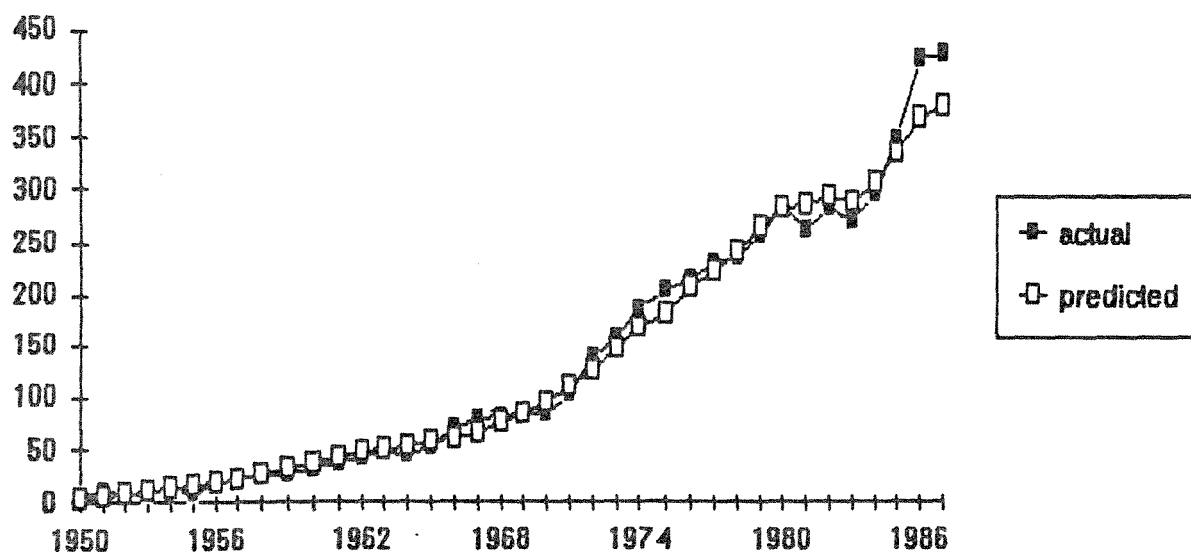


FIGURA 6.1 - SISTEMA DE CURVAS DE CONHECIMENTO APLICADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

onde:

$\bar{Z}_t$  = valor acumulado de IU

$\bar{Y}_t$  = valor acumulado de PIB per capita.

A simples inspecção da TABELA 6.1 permite perceber que os ajustes determinados pelo sistema de curvas de conhecimento não são desprezíveis, face à simplicidade do modelo e a um adequado padrão geral do consumo no período 1950-1987.

O valor projetado do consumo de alumínio para o ano 2000 através da equação anterior é de  $1152.4 \times 10^3$ , utilizando-se o valor do PIB per capita acumulado por meio da função exponencial.

## 6.2 - SISTEMA DE CURVA DE CONHECIMENTO MODIFICADO

O modelo anterior é um instrumento muito importante na previsão da demanda de diversas substâncias minerais. Entretanto, em alguns casos torna-se necessário recorrer a uma extensão deste modelo incorporando outras variáveis (preço do metal, teores, etc..) ligadas à teoria da demanda derivada proposta por NEWCOMB(1976) e HARRIS(1984). Neste sentido, a relação 6.3 pode ser ampliada para:

$$\bar{W}_t = L(\bar{Y}_t, \bar{R}_t, \bar{R}_{st}, \bar{T}_t, \bar{\Gamma}_t) \quad (6.4)$$

$$\bar{D}_t = L(\bar{Y}_t, \bar{R}_t, \bar{R}_{st}, \bar{T}_t, \bar{\Gamma}_t) * \bar{Y}_t$$

$$\bar{W}_t = \bar{D}_t / \bar{Y}_t$$

**ABELA 6.1 - Consumo de Alumínio estimado pelo  
Modelo de Curva de Conhecimento Simples  
(valores em 1000 ton.)**

ano	real	previsto	erro
1950	6.80	1.97	0.71
1951	11.30	5.09	0.55
1952	7.00	7.67	0.10
1953	8.60	9.96	0.16
1954	16.70	13.05	0.22
1955	8.20	16.02	0.95
1956	19.00	18.48	0.03
1957	21.60	21.90	0.01
1958	26.00	25.90	0.00
1959	27.00	30.59	0.13
1960	33.00	35.90	0.09
1961	36.80	42.02	0.14
1962	41.20	46.67	0.13
1963	46.70	49.25	0.05
1964	45.10	53.08	0.18
1965	51.60	56.65	0.10
1966	72.10	61.16	0.15
1967	78.00	66.03	0.15
1968	80.50	75.60	0.06
1969	84.00	85.29	0.02
1970	83.50	95.48	0.14
1971	103.30	109.83	0.06
1972	137.80	125.43	0.09
1973	157.60	147.59	0.06
1974	185.20	167.28	0.10
1975	205.00	181.86	0.11
1976	215.50	205.76	0.05
1977	229.50	223.96	0.02
1978	236.50	241.56	0.02
1979	257.10	263.57	0.03
1980	284.90	282.92	0.01

**AE (período observado) = 0.15**

1981	261.70	284.88	0.09
1982	281.90	293.17	0.04
1983	270.60	288.36	0.07
1984	294.00	305.41	0.04
1985	347.50	336.19	0.03
1986	423.70	369.04	0.13
1987	430.30	379.90	0.12

**AE (período estimado) = 0.07**

onde:

$$\bar{R}_t = \bar{Z}_t / \bar{M}_t \quad = \text{valor acumulado/metal acumulado}$$

$$\bar{Z}_t = \Sigma(P_t \cdot Q_t \cdot T_t) = \text{valor acumulado}$$

$$\bar{M}_t = \Sigma(Q_t \cdot T_t) \quad = \text{metal acumulado}$$

$$\bar{R}_{st} = \bar{Z}_{st} / \bar{M}_t$$

$$\bar{Z}_{st} = \Sigma(P_{st} \cdot Q_{st} \cdot T_{st}) = \text{valor acumulado do metal-substituto}$$

$$\bar{M}_{st} = \Sigma(Q_{st} \cdot T_{st}) \quad = \text{metal-substituto acumulado}$$

$$P_t = \text{preço do metal}$$

$$Q_t = \text{teor médio do metal}$$

$$T_t = \text{tonelagem do metal}$$

$$P_{st} = \text{preço do metal-substituto}$$

$$Q_{st} = \text{teor médio do metal-substituto}$$

$$T_{st} = \text{tonelagem do metal-substituto}$$

$$\bar{Y}_t = \text{renda per capita acumulada}$$

$$\bar{M}_t = \Sigma(Q_t \cdot T_t) = \text{quantidade acumulada de metal consumida}$$

$$\bar{M}_{st} = \Sigma(Q_{st} \cdot T_{st}) = \text{qtade acumulada de metal-substituto consumido.}$$

$$\bar{Z}_t = \text{valor acumulado de metal}$$

$$\bar{Z}_{st} = \text{valor acumulado de metal-substituto}$$

$$\bar{\Gamma}_t = \text{fator tecnológico acumulado, que pode ser expresso por:}$$

$$\bar{\Gamma}_t = \bar{V}_t / \bar{NG}_t = \text{valor acumulado de metal por produto, onde:}$$

$$\bar{V}_t = P_o \bar{M}_t + P_s \bar{M}_{st} = \text{quantidade acumulada de materiais}$$

$$\bar{NG}_t = \text{output acumulado dos produtos}$$

$$P_o \text{ e } P_s = \text{base de preços anuais do metal e seu substituto.}$$

Este modelo ampliado permite que se utilizem formas flexíveis tanto na escolha das variáveis, bem como na determinação dos parâmetros que, após algumas transformações (as quais não cabe aqui apresentar), se reduzem ao modelo translog potencial apresentado no capítulo anterior.

Para exemplificar o uso do sistema de curva de conhecimento ampliado no caso do consumo de alumínio no Brasil, construiu-se um modelo um pouco mais simplificado devido a dificuldade de obtenção de estatísticas confiáveis no período 1950-1987. O modelo utilizado foi o seguinte:

$$\bar{Z}_t = L(\bar{Y}_t, \bar{P}_t, \bar{\Gamma}_t)$$

onde:

$$\bar{Z}_t = \bar{V}_t / \bar{Y}_t$$

$$\bar{V}_t = \sum D_t \cdot P_t \quad \text{valor acumulado}$$

$$\bar{Y}_t = \sum Y_t \quad \text{valor acumulado do PIB/capita}$$

$$\bar{P}_t = \quad \text{preço do alumínio acumulado}$$

$$\bar{\Gamma}_t = \quad \text{tempo como aproximação de tecnologia}$$

As equações finais obtidas através deste modelo foram as seguintes:

1950-1987

$$\ln \bar{Z}_t = 0.6697 + 0.01178 \ln \text{PIB} - 0.850 \times 10^{-6} \text{Pal} - 0.1142 \ln \Gamma \quad R^2 = 0.94$$

1950-1980 com previsão de 1981-1987

$$\ln \bar{Z}_t = 0.9156 + 0.0798 \ln \text{PIB} + 0.611 \times 10^{-6} \text{Pal} - 0.0887 \ln \Gamma \quad R^2 = 0.96$$

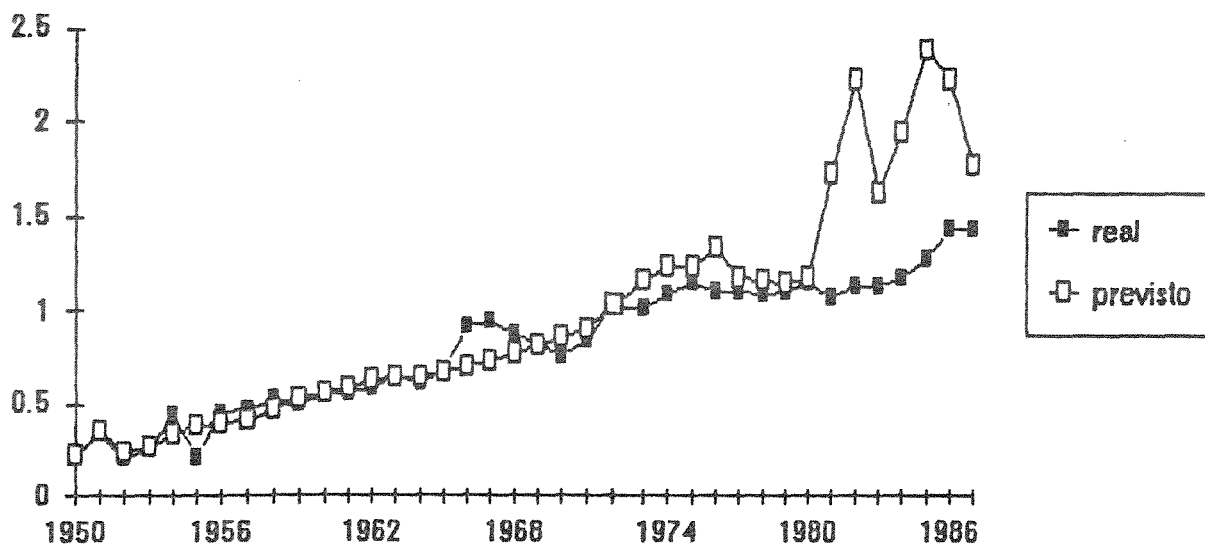


A FIGURA 6.2 mostra os dois tipos de ajustes do consumo, onde pode-se observar que o período 1981-1987(expost) exhibe grandes flutuações (TABELA 6.2), demonstrando que a incorporação do preço não constitui uma variável explicativa para a demanda neste período. Os motivos para este comportamento do consumo interno tem as suas raízes na ação governamental no mercado e na política de fixação de preços (BRAZ-PEREIRA, 1988).

O consumo de alumínio para o ano 2000 foi estimado através da equação do período 1950-1987 em  $1557.9 \times 10^3$  toneladas métricas, fixando-se os preços de alumínio nos patamares atuais do mercado e o PIB per capita em US\$ 3965.59 em valores constantes de 1980.

IV - Alumínio estimado pelo Modelo de Curva de Conhecimento Modificado  
1950-80, expost 1981-87

66



Consumo de Alumínio estimado pelo Modelo de Curva de Conhecimento Modificado, 1950-80, expost 1981-87 (valores em 1000 ton.)

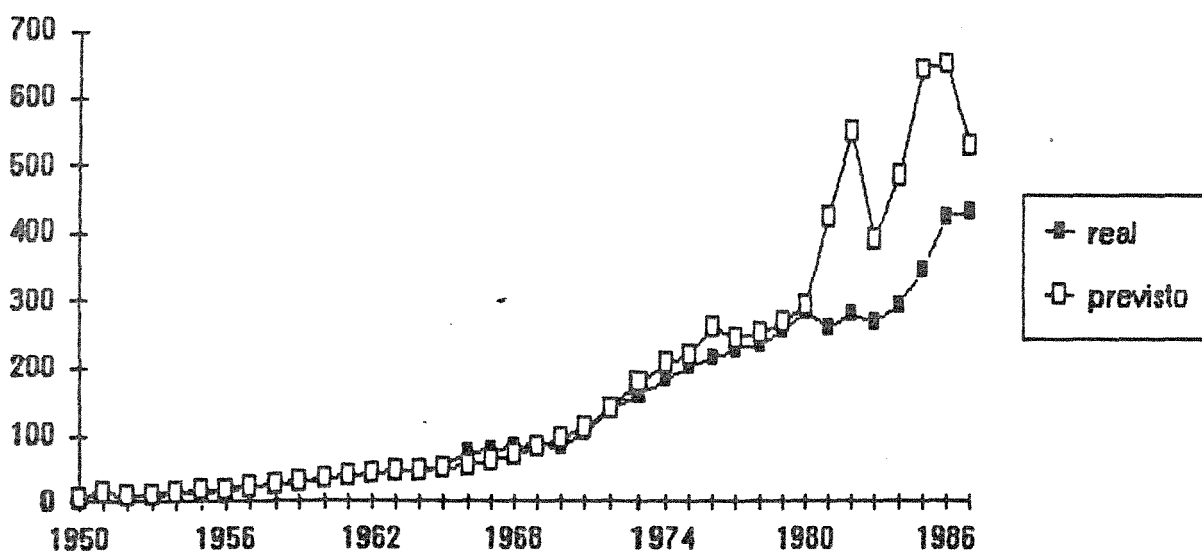


FIGURA 6.2 - MODELO DE CURVAS DE CONHECIMENTO MODIFICADO APLICADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

3ELA 6.2 - Consumo de Alumínio estimado pelo  
delo de Curva de Conhecimento Modificado  
(valores em 1000 ton.)

67

ano	real	previsto 1950-80	erro	previsto 1950-87	erro
1950	6.80	6.55	0.04	6.34	0.07
1951	11.30	11.56	0.02	12.13	0.07
1952	7.00	7.86	0.12	7.65	0.09
1953	8.60	9.41	0.09	9.31	0.08
1954	16.70	12.81	0.23	13.13	0.21
1955	8.20	15.52	0.09	16.10	0.96
1956	19.00	16.53	0.13	17.02	0.10
1957	21.60	19.03	0.12	19.54	0.10
1958	26.00	23.51	0.10	24.22	0.07
1959	27.00	28.78	0.07	29.78	0.10
1960	33.00	32.93	0.00	33.98	0.03
1961	36.80	38.58	0.05	39.76	0.08
1962	41.20	43.29	0.05	44.21	0.07
1963	46.70	44.98	0.04	44.89	0.04
1964	45.10	46.88	0.04	45.70	0.01
1965	51.60	49.89	0.03	47.55	0.08
1966	72.10	55.01	0.24	51.66	0.28
1967	78.00	60.12	0.23	55.55	0.29
1968	80.50	70.32	0.13	65.08	0.19
1969	84.00	81.34	0.03	75.13	0.11
1970	83.50	93.57	0.12	86.14	0.03
1971	103.30	109.76	0.06	101.20	0.02
1972	137.80	140.45	0.02	131.69	0.04
1973	157.60	179.00	0.14	170.65	0.08
1974	185.20	210.02	0.13	200.82	0.08
1975	205.00	220.65	0.08	207.77	0.01
1976	215.50	262.58	0.22	248.44	0.15
1977	229.50	244.17	0.06	221.81	0.03
1978	236.50	253.03	0.07	223.35	0.06
1979	257.10	267.36	0.04	229.54	0.11
1980	284.90	292.15	0.03	245.39	0.14

E(período observado) = 0.12 0.12

1981	261.70	422.77	0.62	371.37	0.42
1982	281.80	550.62	0.95	494.74	0.76
1983	270.60	389.37	0.44	315.76	0.17
1984	294.80	486.46	0.65	404.17	0.37
1985	347.50	645.24	0.06	555.76	0.60
1986	423.70	651.14	0.54	550.27	0.30
1987	430.30	528.31	0.23	410.49	0.05

E(período observado) = 0.61 0.38  
E(período estimado) ==> 1950-1987 0.17

## CAPÍTULO VII

## MODELOS FATORIAIS E A PROJEÇÃO DOS VETORES MACROECONÔMICOS

Um dos aspectos essenciais da economia é a inter-relação de suas variáveis, que nem sempre é levado em consideração pelos métodos econométricos usuais, devido às limitações impostas pela dinâmica da regressão e pelos determinantes da teoria do equilíbrio geral.

Dentro de um contexto ideal, a previsão de uma variável econômica deve sempre que possível contemplar os efeitos produzidos pelas variáveis correlacionadas ou por aquelas diretamente vinculadas ao contexto econômico considerado.

Os métodos de tendência são bastante precisos na avaliação ou extrapolação de uma única atividade econômica dentro do âmbito da teoria do equilíbrio, mas nem sempre incluem os efeitos gerados pelas interações das diversas variáveis na economia.

A maioria das previsões de longo prazo da oferta e demanda das matérias-primas minerais envolve a interdependência de diferentes variáveis. A previsão de uma variável dependente baseada na projeção isolada de cada variável explicativa é muito complexa e problemática, tendo em vista que os valores previstos são bastante estáveis.

Para contornar estas dificuldades e incorporar a interdependência das variáveis visando incrementar as previsões

parciais utilizam-se os Modelos Fatoriais. Estes modelos baseiam-se na técnica da análise fatorial desenvolvida nos anos 30 pela psicologia experimental para medir níveis de inteligência a partir de observações multivariadas.

Desde então, diversas variações metodológicas vêm sendo desenvolvidas. Consequentemente, esta técnica foi aperfeiçoada e estendida para diferentes áreas de conhecimento. Uma excelente abordagem teórica da análise fatorial é encontrada em HARMAN(1967) e diversas aplicações na quantificação das variáveis geológicas em JÖRESKOG et al.(1976) e DAVIS(1986) e na avaliação da potencialidade mineral em SUSLICK (1986).

Neste trabalho nos restringiremos a uma simples aplicação desta técnica à previsão da demanda mineral. Estudos mais aprofundados sobre diversas variantes da técnica de análise fatorial podem ser encontrados em JEON(1988) e HARRIS(1989). LANNAN & TORRIES (1989) utilizaram a análise fatorial para investigar a estrutura industrial e os efeitos do excesso de capacidade na produção de diversas commodities minerais. Na área econômica, GANDOLFO(1980) e SCHOONBEEK(1987) discutem num extenso trabalho teórico o uso de autovetores em modelos macroeconômicos.



Os coeficientes  $a_{ij}$  e  $w_i$  são denominados cargas fatoriais da  $i$ -ésima variável sobre o  $j$ -ésimo fator comum e do  $i$ -ésimo fator único respectivamente. A medida  $h_i^2$  é conhecida como comunalidade, que representa a fração da variância da  $i$ -ésima variável explicada pelos  $k$ -ésimos fatores comuns:

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^k a_{ij}^2$$

Utilizando a notação matricial e ajustando a expressão 7.2, o modelo fatorial adquire a seguinte forma:

$$Z_{(m \times 1)} = A_{(m \times m)} \cdot \bar{F}_{(m \times 1)}$$

onde:

$$F^{-1} = [F_1, \dots, F_m].$$

e por sua vez:  $\bar{F} = A^{-1} Z$

fazendo:  $\beta = A^{-1}$

têm-se:  $\bar{F} = \beta Z$

Neste caso, se a matriz  $A$  é conhecida e inversa, os valores das variáveis podem ser calculados em função do vetor  $Z$  dos valores ortogonalizados para as  $m$  variáveis, onde  $F_i$  são os escores fatoriais.

A primeira condição na análise fatorial é especificar as comunalidades com valor 1.0, isto é, as  $m$  variáveis originais produzirão o mesmo número de fatores. Este fato implica que as  $m$  variáveis são perfeitamente explicadas por  $m$  variáveis

conceituais. Esta condição é raramente encontrada no mundo real, mas por outro lado auxilia amplamente no cálculo da matriz  $A$  através de uma simples transformação linear.

Para a aplicação da análise fatorial na previsão da demanda mineral, a série histórica dos dados será representada pelos valores de  $Z$  sendo  $Z_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, m$ . Em termos matriciais teremos a seguinte relação:  $\bar{Z} = A \bar{F}$  e consequentemente  $\bar{F} = A^{-1} \bar{Z}$  ou  $\bar{F}_t = \beta Z_t$ .

## 7.2 - MODELO FATORIAL NA PREVISÃO DO CONSUMO DE ALUMÍNIO

Para facilitar o entendimento da complexidade da análise fatorial apresentaremos um exemplo desenvolvido pelo autor no caso da previsão do consumo de alumínio. Os dados disponíveis constituem a série histórica de 3 variáveis  $x_{1t}$ ,  $x_{2t}$  e  $x_{3t}$  com  $t = 1, 2, \dots, 38$

isto é, cobrindo o período de 1950 a 1987. As 3 variáveis utilizadas são as seguintes:

$x_{1t} = Y_t$  = renda per capita (PIB per capita);

$x_{2t} = P_{0t}$  = preço do alumínio no período  $t$  e

$x_{3t} = P_{st}$  = preço do cobre no período  $t$ .

O modelo fatorial pode ser escrito da seguinte forma:



$$Y = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + a_{13}F_3$$

$$P_0 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + a_{23}F_3$$

$$P_s = a_{31}F_1 + a_{32}F_2 + a_{33}F_3$$

ou também pode-se utilizar a notação matricial:

$$X = A \bar{F} = \begin{vmatrix} Y \\ P_0 \\ P_s \end{vmatrix}$$

O primeiro passo consiste em estimar a matriz  $A$ , submetendo-se a série histórica de dados  $X$  à análise fatorial para extrair-se os 3 principais fatores. As communalidades são fixadas em 1.0. A sequência dos cálculos pode ser resumida nos seguintes passos:

**Matriz de Correlação:**

	Y	P <sub>0</sub>	P <sub>s</sub>
Y	1.0000	-0.5084	-0.4539
P <sub>0</sub>	-0.5084	1.0000	0.3706
P <sub>s</sub>	-0.4539	0.3706	1.0000

**Autovalores:**

FATOR	AUTOVALOR	%VARIANÇA	%ACUMULADA
1	1.890981	63.03	63.03
2	0.635011	21.17	84.20
3	0.474008	15.80	100.0

**Matriz Fatorial:**

	FATOR1	FATOR2	FATOR3
Y	-0.8352	0.1139	0.5380
P <sub>0</sub>	0.7903	-0.4782	0.3831
P <sub>s</sub>	0.7542	0.6272	0.1943

**Matriz Fatorial Rotacionada:** matriz fatorial dos coeficientes padronizados após a rotação Varimax:

	FATOR1	FATOR2	FATOR3
Y	0.2127	0.2647	1.1833
P <sub>0</sub>	-0.1355	1.1408	0.2742
P <sub>s</sub>	1.1104	-0.1376	0.2254

*verifica se a  
normalidade não é  
igual a 1*

Os fatores são submetidos ao método de rotação Varimax visando facilitar a sua interpretação através de um procedimento que maximiza as diferenças entre as variâncias, tornando possível assinalar as cargas fatoriais para cada variável. Por exemplo, no primeiro fator o preço do metal-substituto é mais importante que as demais variáveis (preço do alumínio e renda per capita) enquanto no segundo e terceiro fatores o preço do alumínio e a renda per capita constituem respectivamente as variáveis preponderantes.

O programa de análise fatorial calcula os coeficientes padronizados que permitem estimar os escores fatoriais para cada ano através das seguintes expressões:

$$F_{1t} = 0.2127 \left( \frac{Y_t - 1280.}{542.885} \right) - 0.1355 \left( \frac{P_0 - 1469.}{211.843} \right) + 1.1104 \left( \frac{P_s - 2417.}{833.140} \right)$$

$$F_{2t} = 0.2647 \left( \frac{Y_t - 1280.}{542.885} \right) + 1.1408 \left( \frac{P_0 - 1469.}{211.843} \right) - 0.1377 \left( \frac{P_s - 2417.}{833.140} \right)$$

$$F_{3t} = 1.1833 \left( \frac{Y_t - 1280.}{542.885} \right) + 0.2742 \left( \frac{P_0 - 1469.}{211.843} \right) + 0.2254 \left( \frac{P_s - 2417.}{833.140} \right)$$

De posse destas informações, pode-se realizar agora a previsão da demanda mineral através da regressão linear da IU em função dos escores fatoriais padronizados dos 3 fatores no período 1950-87 e 1950-80 projetando o mesmo modelo para o intervalo 1981-87. Os ajustes e os erros médios encontrados estão na FIGURA 7.1 e na TABELA 7.1 respectivamente. Pode-se observar que os erros médios encontrados para este tipo de modelo são bastante significativos, possuindo a mesma magnitude que o modelo de curva de conhecimento.

A previsão do consumo de alumínio no ano 2000 é de  $2923.0 \times 10^3$  toneladas, baseando-se nas mesmas condições utilizadas para o cálculo do modelo translog, ou seja, o PIB per capita é estimado em US\$ 3965.59 em valores constantes de 1980 e o preço do alumínio e cobre mantidos nos patamares atuais.

IU - Alumínio estimado pelo Modelo Fatorial 1950-80, expost 1981-87

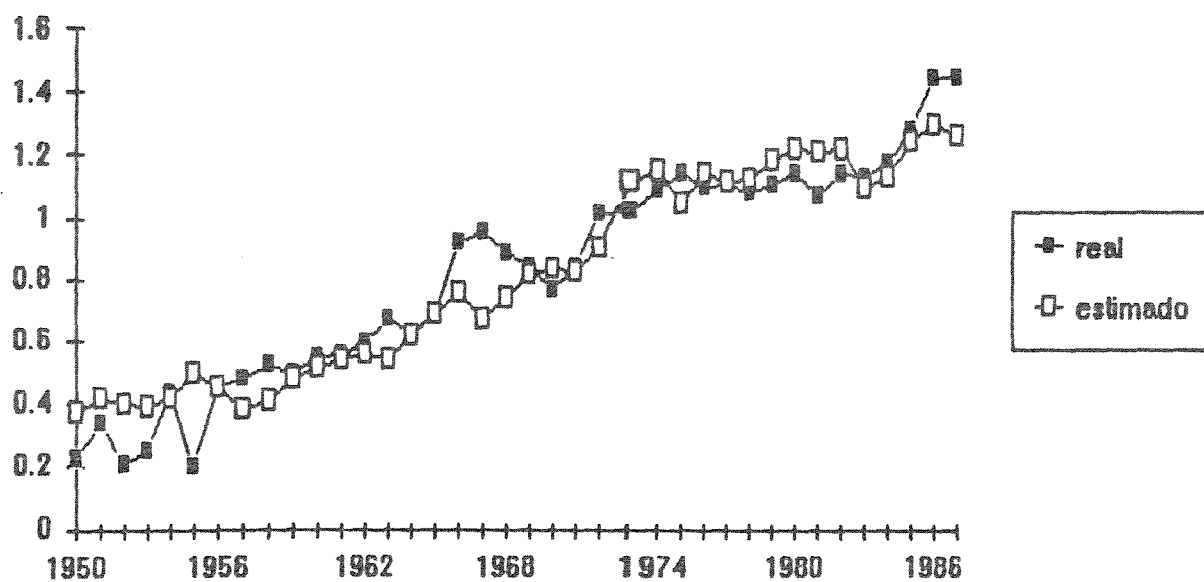
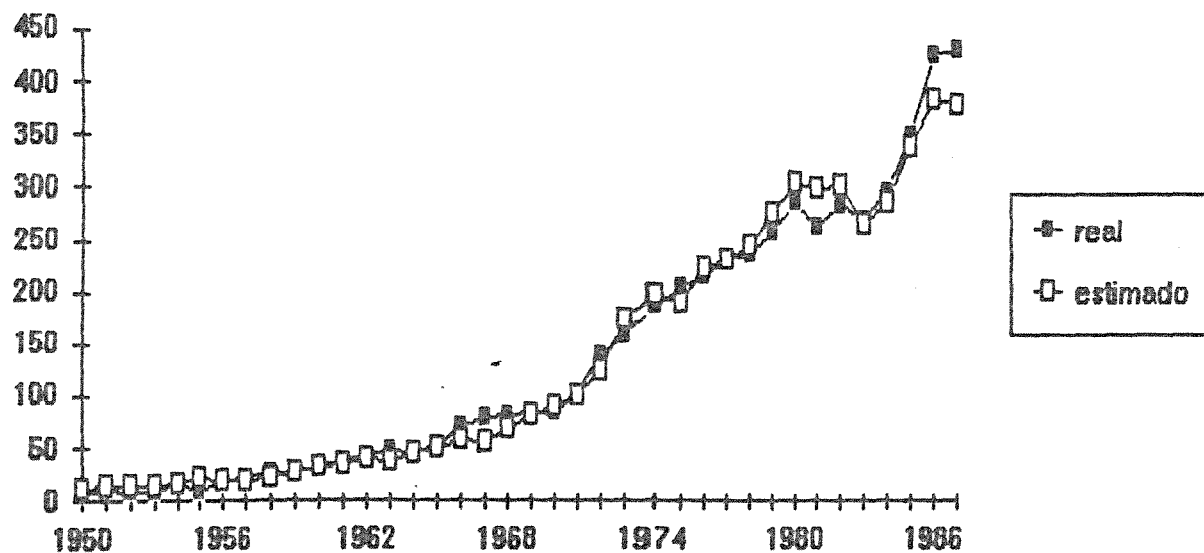
Consumo de Alumínio pelo Modelo Fatorial de IU, 1950-80; expost 1981-87  
(valores em 1000 ton.)

FIGURA 7.1 - MODELO FATORIAL AJUSTADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

ABELA 7.1 - Consumo de Alumínio estimado pelo  
Modelo Fatorial - valores em 1000 ton.

ano	real	estimado 1950-87	erro 1950-87	estimado 1950-80	erro 1950-80
1950	8.8	11.4	0.67	11.5	0.69
1951	11.3	13.6	0.21	13.8	0.22
1952	7.0	13.4	0.91	13.5	0.94
1953	8.6	13.4	0.56	13.6	0.58
1954	16.7	16.8	0.05	16.9	0.05
1955	8.2	20.1	1.45	20.4	1.49
1956	19.8	18.8	0.01	19.8	0.00
1957	21.6	17.7	0.18	17.5	0.19
1958	26.8	28.6	0.21	28.4	0.21
1959	27.0	26.2	0.03	26.1	0.03
1960	33.0	30.7	0.07	30.5	0.07
1961	36.8	35.7	0.03	35.4	0.04
1962	41.2	38.9	0.06	38.6	0.06
1963	46.7	38.3	0.18	38.1	0.19
1964	45.1	44.6	0.01	44.7	0.01
1965	51.6	50.8	0.02	51.3	0.01
1966	72.1	57.8	0.20	58.7	0.19
1967	78.0	54.4	0.30	54.7	0.30
1968	80.5	67.0	0.17	67.3	0.16
1969	84.0	81.3	0.03	81.8	0.03
1970	83.5	90.2	0.08	90.5	0.08
1971	103.3	101.2	0.02	100.7	0.03
1972	137.8	123.0	0.11	122.3	0.11
1973	157.6	172.4	0.09	172.6	0.09
1974	185.2	196.1	0.08	195.6	0.08
1975	205.0	190.0	0.07	187.6	0.08
1976	215.5	226.7	0.05	224.0	0.04
1977	229.5	235.4	0.03	231.5	0.01
1978	236.5	249.2	0.05	244.6	0.03
1979	267.1	268.6	0.09	275.9	0.07

IAE (período observado) = 0.20 0.20

1980	284.9	308.0	0.08	302.8	0.06
1981	261.7	301.8	0.15	297.5	0.14
1982	281.8	305.4	0.08	301.3	0.07
1983	278.6	267.7	0.01	263.3	0.03
1984	284.8	288.1	0.02	284.5	0.03
1985	347.5	342.4	0.01	337.5	0.03
1986	423.7	387.8	0.09	388.8	0.10
1987	430.3	383.4	0.11	376.8	0.12

IAE(período estimado) = 0.07 0.07  
IAE(período observado) ==>1950-1987 0.17

### 7.3 - MODELO DE COEFICIENTES VARIADOS NO TEMPO: PROJEÇÃO VETORIAL

Este tipo de modelo foi desenvolvido por HARRIS(1989) e permite que as mudanças da variável dependente em relação às diferentes variáveis explicativas possam variar em função do tempo. O modelo linear geral pode ser descrito da seguinte maneira:

$$d_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \dots + \beta_m x_{mt}$$

onde  $d_t$  é a variável dependente descrita pelos níveis das variáveis explicativas  $x$  e

$X_t = \{x_{1t}, \dots, x_{mt}\}$ , baseando-se na condição que os coeficientes  $\beta = \{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m\}$ , permaneçam constantes em relação ao tempo.

Na maioria dos casos esta condição é atingida, na medida que o modelo é estimado a partir de um conjunto de dados ajustados para satisfazer esta exigência. Entretanto, quando as mudanças nas relações representadas por  $\beta$  se processam de maneira contínua e gradual, um modelo possuindo variáveis com parâmetros de tempo pode ser bastante útil, principalmente se o objetivo é estimar a demanda baseando-se na projeção vetorial conforme a expressão 7.4:

$$d_t = \beta_{0t} + \beta_{1t} x_{1t} + \dots + \beta_{mt} x_{mt} + U_t \quad (7.4)$$

onde:

$d_t$  = variável dependente (p.ex.: a demanda mineral);

$\beta_{0t} = a_0 \cdot k_t$

$$\beta_{1t} = a_1 \cdot f'(d/x_1)_t$$

$$\beta_{mt} = a_m \cdot f'(d/x_m)_t$$

$x_{1t}, \dots, x_{mt}$  = variáveis explanatórias

$U_t$  = termo aleatório (erro)

$f'()$  = derivada parcial

Substituindo-se na expressão 7.4, tem-se, então:

$$d_t = a_0 \cdot k_t + a_1 \cdot f'(d/x_1)_t x_{1t} + \dots + a_m \cdot f'(d/x_m)_t x_{mt} + U_t \quad (7.5)$$

Suponhamos que  $k_t, f'(d/x_1)_t, \dots, f'(d/x_m)_t$  são funções do tempo  $(t)$ , que podem ser representadas por:

$$\begin{aligned} k_t &= f_0(t); \\ f'(d/x_1)_t &= f_1(t); \\ &\vdots \\ f'(d/x_m)_t &= f_m(t) \end{aligned}$$

então, tem-se finalmente:

$$d_t = a_0 f_0(t) + a_1 f_1(t) x_{1t} + \dots + a_m f_m(t) x_{mt} + U_t \quad (7.6)$$

A expressão 7.6 assume que as variáveis explicativas são estatisticamente independentes, embora na prática sempre exista um vínculo (relações colineares) entre elas. Um artifício utilizado para torná-las independentes é substituí-las pelos escores

fatoriais ortogonais. Trata-se de uma transformação linear de variáveis originalmente intercorrelacionadas, para um conjunto ortogonal em função dos escores fatoriais:

$$d_t = a_0 f_0(t) + a_1 f_1(t) F_{1t} + \dots + a_m f_m(t) F_{mt} + U_t \quad (7.7)$$

onde:

$F_1, \dots, F_m$  = escores fatoriais;

$a_i f_i(t)$  = coeficientes variáveis de tempo da  $i$ -ésima variável

$U_t$  = termo aleatório.

O cálculo dos coeficientes variáveis de tempo é feito em função dos escores fatoriais, considerando-se uma janela móvel onde a base de dados é reduzida de  $n$  para  $n-(L-1)$ , sendo  $L$  ímpar o comprimento da janela. Em função destes cálculos  $(L-1)/2$ , observações são descartadas da série de dados. Para a execução deste procedimento, utiliza-se o programa SLOPE em linguagem FORTRAN desenvolvido pela equipe do Prof. HARRIS e que foi adaptado por SUSLICK(1989) ao sistema IBM-PC compatível (ANEXO C).

Os dados de escores fatoriais obtidos no item anterior foram submetidos ao programa SLOPE para uma janela móvel de valor igual a 3, obtendo-se as seguintes equações de variação de coeficientes para a modelagem da demanda do alumínio para os períodos 1952-1980 e 1952-1985, após um ajuste por regressão linear:

#### 1952-1980

$$l_t = -2.4510 + 1.0341z_{0t} + 1.2324z_{1t} + 1.0117z_{2t} + 1.0523z_{3t} \quad R^2 = 0.995$$



1952-1985

$$d_t = -0.9644 + 1.0045z_{0t} + 1.0447z_{1t} + 0.9607z_{2t} + 0.9765z_{3t} \quad R^2 = 0.996$$

onde:

$d_t$  = consumo de alumínio no período  $t$ ;

$z_{0t} = a_0 f_0(t)$

$z_{1t} = a_1 f_1(t) F_{1t}$

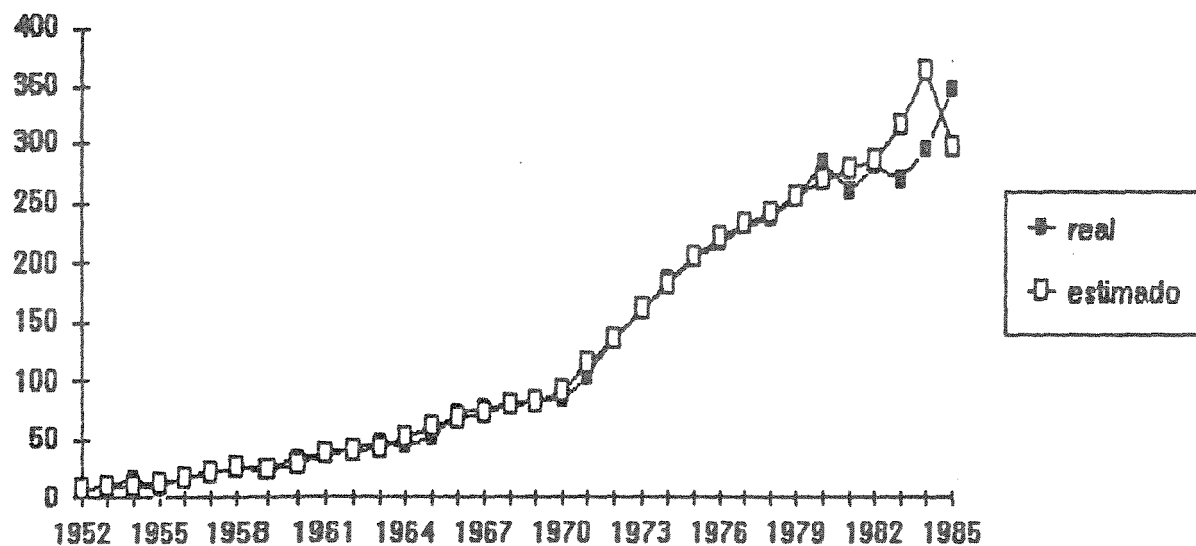
$z_{2t} = a_2 f_2(t) F_{2t}$

$z_{3t} = a_3 f_3(t) F_{3t}$

Os valores previstos pelas duas equações para o modelo de variação de coeficientes encontram-se na FIGURA 7.2, enquanto os resultados da qualidade do ajuste através dos erros médios estão na TABELA 7.2. Pode-se observar que, apesar de sua complexidade, o ganho em exatidão proporcionado por este método é bastante significativo.

A previsão do consumo de alumínio no ano 2000 é calculada através da projeção das 4 componentes  $z_{it}$ , substituindo-as na equação do período 1952-85, o que resulta no valor de  $2085,46 \times 10^3$  toneladas.

Consumo de Alumínio pelo Modelo de Variação de Coeficientes  
1952-80; ex post 1981-85



Consumo de Alumínio estimado pelo Modelo de Variação de Coeficientes  
1952-85

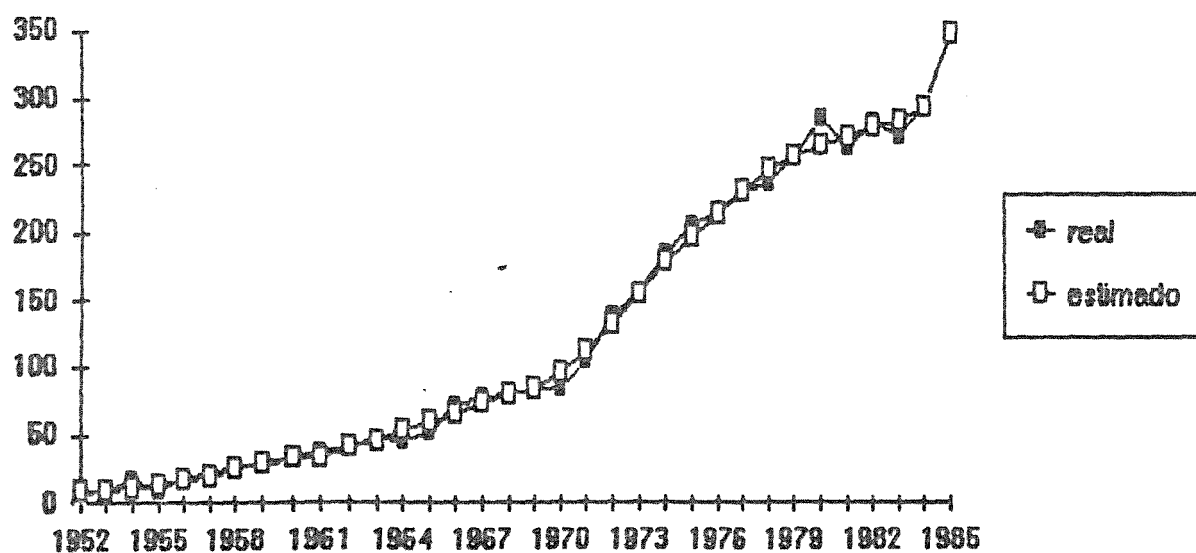


FIGURA 7.2 - MODELO DE VARIAÇÃO DE COEFICIENTES NO TEMPO AJUSTADO AOS DADOS DE ALUMÍNIO

**TABELA 7.2 - Consumo de alumínio estimado pelo Modelo  
de Variação de Coeficientes (valores em 1000 ton.)**

ano	real	previsto 1952-85	erro 1952-85	previsto 1952-80	erro 1952-80
1952	7.0	8.2	0.32	8.0	0.14
1953	8.6	9.3	0.08	8.5	0.02
1954	16.7	10.7	0.36	10.8	0.40
1955	8.2	13.4	0.63	11.8	0.44
1956	19.0	16.6	0.13	16.1	0.15
1957	21.6	19.0	0.12	20.4	0.06
1958	26.0	24.6	0.05	25.0	0.04
1959	27.0	28.8	0.07	24.4	0.10
1960	33.0	32.7	0.01	28.6	0.13
1961	36.8	32.8	0.11	38.3	0.04
1962	41.2	40.9	0.01	39.2	0.05
1963	46.7	44.6	0.04	43.0	0.08
1964	45.1	52.5	0.16	51.9	0.15
1965	51.6	59.6	0.15	61.0	0.18
1966	72.1	65.4	0.09	68.3	0.05
1967	78.0	72.8	0.07	73.1	0.06
1968	80.5	78.8	0.02	79.1	0.02
1969	84.0	84.3	0.00	82.2	0.02
1970	83.5	95.2	0.14	91.9	0.10
1971	103.3	113.1	0.09	115.2	0.11
1972	137.8	132.8	0.04	135.1	0.02
1973	157.6	155.6	0.01	160.4	0.02
1974	185.2	180.0	0.03	180.7	0.02
1975	205.0	197.6	0.04	206.8	0.00
1976	215.5	213.4	0.01	221.8	0.03
1977	228.5	230.2	0.00	232.8	0.01
1978	236.5	247.4	0.05	242.8	0.02
1979	257.1	256.2	0.00	255.3	0.01
1980	284.9	264.8	0.07	278.8	0.05
AAE(período observado) =			0.10		0.09
1981	261.7	271.2	0.04	278.7	0.06
1982	281.9	278.9	0.01	287.3	0.02
1983	278.6	282.7	0.04	317.5	0.17
1984	294.8	292.8	0.01	361.8	0.23
1985	347.5	347.5	0.00	298.4	0.14
AAE(período estimado) =			0.02		0.13
AAE(observado) ==> 1952-1985			0.09		

## CAPÍTULO VIII

## A PREVISÃO DA DEMANDA MINERAL E A MUDANÇA TECNOLÓGICA

Um dos principais elementos críticos na avaliação da demanda das substâncias minerais é a mudança tecnológica. Suas componentes constituem eventos discretos que ocorrem em intervalos irregulares, o que torna difícil em algumas situações a sua previsão e incorporação na análise dos impactos provocados na demanda mineral.

Dentro do contexto tecnológico participam inúmeros fatores que induzem novos usos, substituições e reciclagem dos materiais, criando novas possibilidades desde a redução dos custos à viabilização de novos mercados. Neste ambiente o homem "apreende" a fabricar uma determinada mercadoria com menor quantidade de materiais e trabalho, o que certamente produzirá impactos significativos na demanda.

Em se tratando da oferta, as mudanças técnicas podem provocar a substituição do capital pelo trabalho viabilizada pelos preços relativos, empréstimos, capital adicional ou pelo aprimoramento de velhas tecnologias.

Segundo TILTON(1989), as alterações nas curvas de intensidade de uso observadas em relação ao tempo induzidas pela tecnologia, pela substituição dos materiais e demais fatores não apresentam grandes correlações com as mudanças de renda per capita. A regra geral indica que as novas tecnologias apresentam uma tendência

oltada à economia de matérias-primas, que aliada a outras componentes, provocam um deslocamento das curvas de intensidade de uso real para valores inferiores quando analisadas em relação ao tempo, conforme ilustrado pela curvas  $C_1, C_2, \dots, C_n$  na FIGURA 8.1.

O caso do alumínio em embalagens para bebidas (latas, etc..) constitui uma exceção, onde a substituição e as novas tecnologias deslocaram para cima as curvas de intensidade de uso, principalmente nos EUA, criando um novo mercado para o alumínio.

O deslocamento das curvas de intensidade de uso cria inúmeras dificuldades para a previsão da demanda mineral, pois os impactos provocados pelas novas tecnologias e demais fatores possuem diferentes magnitudes e comportamentos quando analisados em função do tempo. Em consequência, as mudanças que aconteceram no passado podem não se repetir na sua totalidade no futuro, o que torna o exercício da previsão do consumo mineral bastante árduo e complexo.

Alguns autores utilizam abordagens distintas da intensidade de uso para incorporar os efeitos da mudança tecnológica, recorrendo às funções de demanda medidas por técnicas econométricas (BOZDOGAN & HARTMAN, 1979). A estimativa da demanda através deste tipo de abordagem é bastante complexa, tendo em vista a dificuldade de se prever adequadamente o comportamento das variáveis como preço e a variabilidade da relação uso/preço dos metais.

Uma outra alternativa envolve a estimativa das funções de produção, quer dirigidas para a análise dos impactos de substituição em usos individuais dos metais ou materiais (VALDES, 1987) ou voltadas para uma análise macroeconômica de um

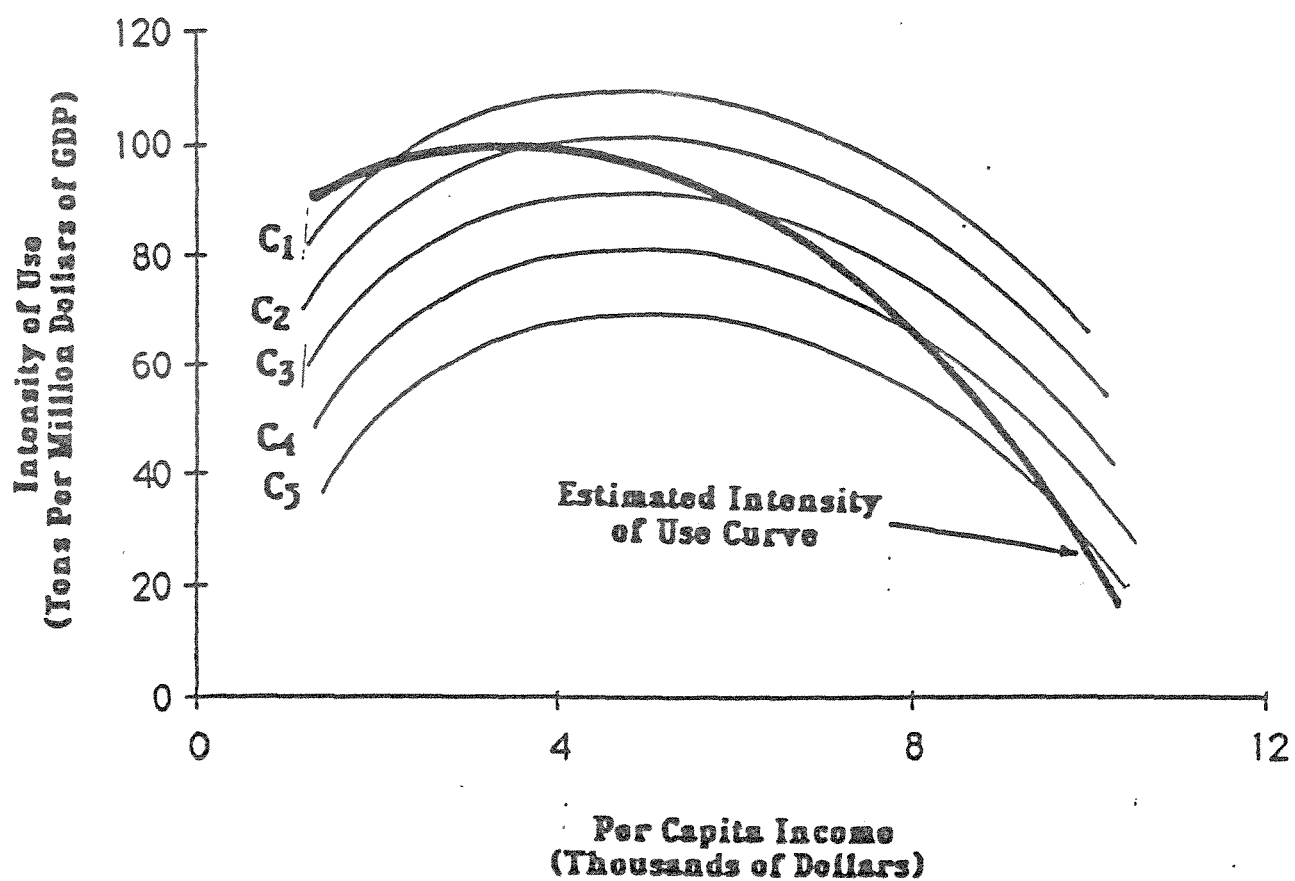


FIGURA 8.1 - RELAÇÃO ENTRE AS CURVAS REAIS E ESTIMADAS DE INTENSIDADE DE USO

fonte: TILTON(1989)

setor industrial ou da economia globalmente (KOPP & SMITH,1980; SLADE,1981; FIELD & BERNDT,1981). Estes estudos tratam as substâncias minerais como fator de produção único e avaliam os níveis em que constituem substitutos para o trabalho, capital e demais fatores agregados.

Uma outra abordagem do impacto das mudanças tecnológicas pode ser feita através das técnicas de input-output de LEONTIEF et. al.(1983) e MYERS(1986) mencionadas no Cap.II. As maiores limitações da matriz de input-output são a necessidade de uma matriz suficientemente desagregada para identificar os metais de maneira isolada, a disponibilidade de informações recentes e atualizadas das tabelas e a compatibilização de tabelas de diferentes países. Algumas análises de impactos gerais na área mineral no Brasil através desta técnica podem ser encontradas nos trabalhos de DAMÁSIO(1986).

Uma análise interessante da competição entre os materiais e a demanda é através de suas propriedades e funções, proposta por GIGET(1987). Os materiais são analisados com base em critérios técnicos( preço, resistência mecânica, comportamento mecânico, etc..) que independem de sua natureza física original (metal, plástico, etc..).

Dentro desta nova abordagem, observa-se que as mudanças atuais impostas pela tecnologia caracterizam-se por uma multiplicação das possibilidades de materiais. Não se trata mais de um simples processo de substituição ou de disputa entre materiais tradicionais e novos, mas sim de um fenômeno definido por T. GAUDIN (COHENDET

et. al., 1987 e GIRAUD, 1988) como super-escolha de materiais ("hyperchoix des matériaux").

A resultante desses processos de mudança tecnológica via redução de custos combinada com altas performances dos produtos possui grandes impactos no consumo das substâncias minerais. Diversos trabalhos analisam estes impactos de modo qualitativo na indústria mineral em geral (IWASE, 1980; ABELSON, 1987; FRAZER et. al., 1987; BALAZIK & KLEIN, 1987; CHAMBERLAIN, 1989; DRESHER, 1989 e TRIGUEIRO & SUSLICK, 1989). A dificuldade de incorporação e quantificação da componente tecnológica na demanda mineral, porém, tem restringido os trabalhos nesta área de conhecimento.

Na área de política científica e tecnológica vêm sendo desenvolvidas algumas pesquisas significativas sobre os impactos dos novos materiais na economia brasileira através dos trabalhos de NPCT/UNICAMP (1987) e QUEIROS & MITLAG (1989).

Conforme visto anteriormente, a inexistência de dados abrangentes e precisos impede a construção de índices confiáveis que permitam atestar os diferentes níveis de mudança técnica tanto pelo lado da oferta como da demanda mineral. Para superar estes obstáculos utilizam-se aproximações (proxy) para quantificar o impacto da componente tecnológica. Neste trabalho detalharemos dois tipos de aproximações para quantificar o impacto da tecnologia na demanda mineral: o tempo e a produtividade, que serão discutidos no item 8.1.



## .1 - TEMPO E PRODUTIVIDADE COMO APROXIMAÇÃO PARA QUANTIFICAR A MUDANÇA TECNOLÓGICA

Em todos os métodos utilizados para a previsão da demanda mineral do alumínio definiu-se o tempo como substituto do câmbio tecnológico. Um exame detalhado de todas as projeções realizadas mostra claramente que a variável tempo não consegue capturar de maneira adequada toda a dinâmica da variação tecnológica.

O comportamento mecânico e inexorável da componente "tempo" aliada à sua extrema regularidade constituem fatores que limitam a incorporação dos efeitos da tecnologia na demanda mineral.

Um outro tipo de parâmetro que possibilita medir a mudança tecnológica é a produtividade. Segundo KENDRICK(1984), a produtividade pode ser definida como uma família de indicadores expressa através da razão entre a quantidade de input e output utilizados no processo de produção. Existem diferentes índices para medir a produtividade, mas os principais são a produtividade global, fator global de produtividade e a produtividade do trabalho (ANEXO A). Este último índice mede a razão entre o volume produzido (output) pelo número de horas trabalhadas. É importante não confundir produtividade com a eficiência no trabalho, que se trata de um caso particular de produtividade que avalia somente as mudanças na eficiência do trabalho per si, dentro de um determinado cenário tecnológico.

A diferença entre o fator global de produtividade e a produtividade global é que no primeiro, no numerador são ponderados

o capital e o trabalho como output líquidos, enquanto no segundo índice o output bruto é relacionado a uma combinação de todos os inputs: energia, materiais, dentre outros, incluindo-se os dois principais fatores: trabalho e capital.

A incorporação dos índices de produtividade representa uma vantagem em relação à variável tempo, na medida que a componente tecnológica é avaliada não somente pelo seu lado quantitativo mas também pelo seu progresso em qualidade e eficiência no consumo mineral.

Diversas experiências indicam que os índices de produtividade podem ser previstos através dos modelos de curvas de conhecimento apresentados no Cap. VI. A projeção da produtividade através do sistema de curvas de conhecimento possibilita capturar com mais precisão as mudanças da produtividade do que a simples projeção por mínimos quadrados da série temporal.

Um sistema econômico pode ser definido por seu nível de atividade  $PIB_t$ , pelo seu nível de resposta  $r_t$  e pelo seus inputs  $I_t$ , através das seguintes relações:

$$I_t^* = \sum_{j=1}^t I_j^*$$

$$PIB_t^* = \sum_{j=1}^t PIB_j^*$$

$$Y_t^* = I_t^* / PIB_t^* \implies FGP_t^*$$

A medida do conhecimento  $Y_t^*$  é o fator global de produtividade acumulado  $FGP_t^*$ . A produtividade pode ser prevista através do modelo de curva de conhecimento, quando a relação entre o logaritmo de  $Y_t^*$  e o logaritmo acumulado do PIB apresentam uma forte linearidade conforme mostra o gráfico da FIGURA 8.2. Os dados de produtividade foram obtidos a partir do WORLD BANK(1987) e da FGV e se referem ao fator global de produtividade na indústria entre 1966 e 1983. Os parâmetros da reta podem ser estimados através da regressão linear:

$$\ln(FGP_t^*) = \ln(I_t^*/PIB_t^*) = - 2.36317 - 0.05122 \ln(PIB_t^*)$$

e eliminando-se os logs temos:

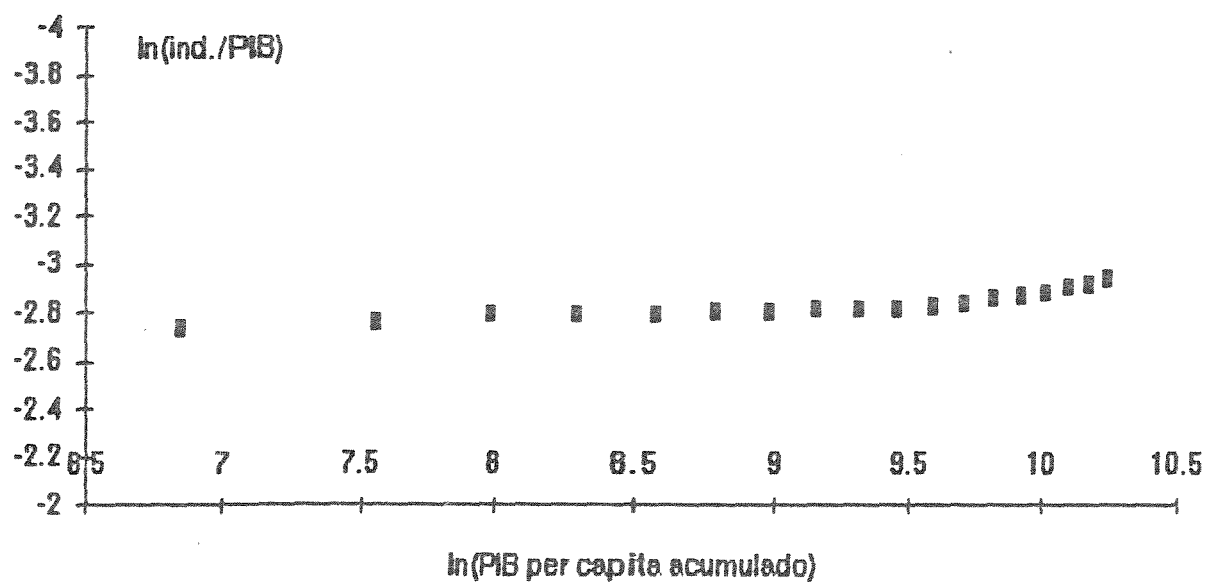
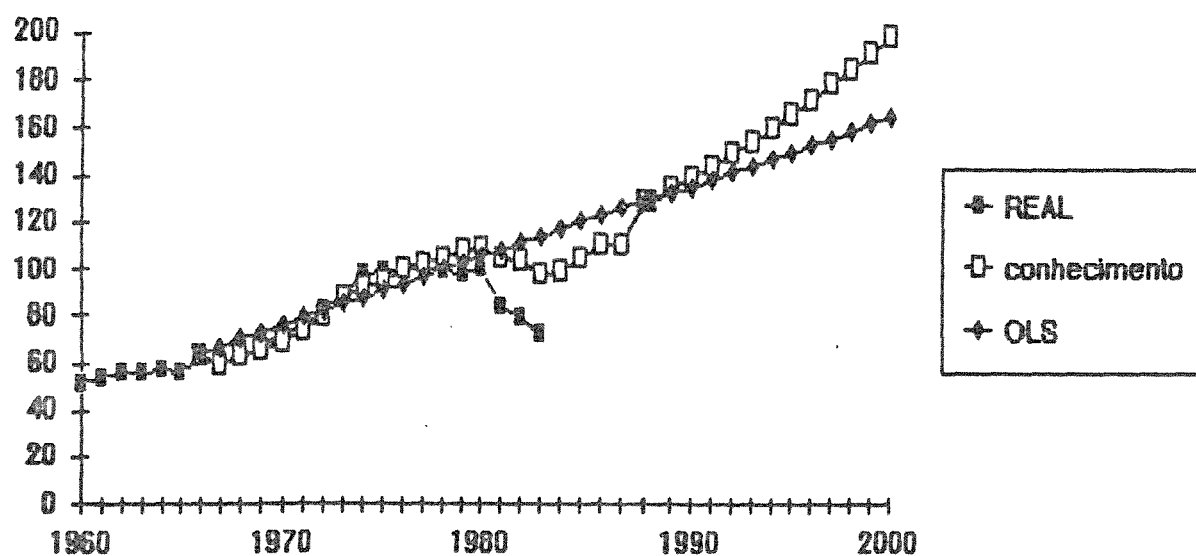
$$FGP_t^* = 0.09412 \cdot PIB_t^{*-0.05122} \quad (8.1)$$

A taxa de conhecimento da produtividade industrial na economia de maneira global pode ser estimada em 96% por intermédio da seguinte relação:

$$\Phi = 2^b = 2^{-0.05122} = 0.96$$

A FIGURA 8.2 apresenta também a projeção da produtividade entre 1983-2000 estimada através do regressão linear simples (OLS) e do sistema de curvas de conhecimento com a equação acima. Pode-

Curva de Conhecimento da Produtividade: 1966-1983

Projeção da Produtividade: Ano 2000  
índice 1980=100FIGURA 8.2 - PROJEÇÃO DOS ÍNDICES DE PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL  
ATRAVÉS DO SISTEMA DE CURVAS DE CONHECIMENTO

se observar, facilmente, que no período de 1966-1983 a curva de conhecimento acompanha integralmente as mudanças de produtividade, enquanto a da regressão linear projeta uma simples regularidade.

No período projetado (1983-2000) a curva de conhecimento exhibe valores superiores aos da regressão indicando que, se os padrões de crescimento econômico do passado prevalecerem (1966-1983), a produtividade estimada pelo sistema de conhecimento retrata com mais confiabilidade o ciclo econômico futuro.

Segundo JEON(1988), o uso dos índices de produtividade como aproximação da componente tecnológica nos métodos de demanda apresentados nos capítulos anteriores neste trabalho, exhibe um incremento significativo na previsão daqueles produzidos pela variável tempo. Infelizmente, a dificuldade de obtenção de dados confiáveis de fatores de produtividade industrial cobrindo todo o período 1950-1987 impossibilitou a verificação formal no contexto brasileiro do consumo de alumínio.

## CAPÍTULO XIX

### AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PREVISÃO

Um dos aspectos mais importantes na avaliação de qualquer previsão é a capacidade do método empregado reproduzir as condições reais do processo da demanda mineral. Esta restrição obriga a recorrer-se aos critérios de validação, que consistem em testes para avaliar se o método é uma representação adequada dos elementos e relações do sistema em referência.

ADAMS(1989), analisando o papel desempenhado pelos diversos tipos de métodos de previsão da oferta e da demanda mineral, conclui que o grande avanço da ciência da previsão é no reconhecimento do impacto da incerteza das suas previsões nas decisões econômicas. Este fato não implica assumir um limite inferior e superior em torno de um valor de previsão aceitável, mas sim testar os pressupostos fundamentais dos métodos de previsão e construir cenários alternativos adequados que possam sensibilizar os responsáveis pelo processo de decisão.

As principais constatações no lado da demanda mineral foram os erros de previsão cometidos, a incapacidade de prever os principais choques macroeconômicos e a tendência em subestimar a elasticidade do preço da demanda, que conduziu a uma retração, em parte, do consumo mineral após os anos 70 em escala internacional.

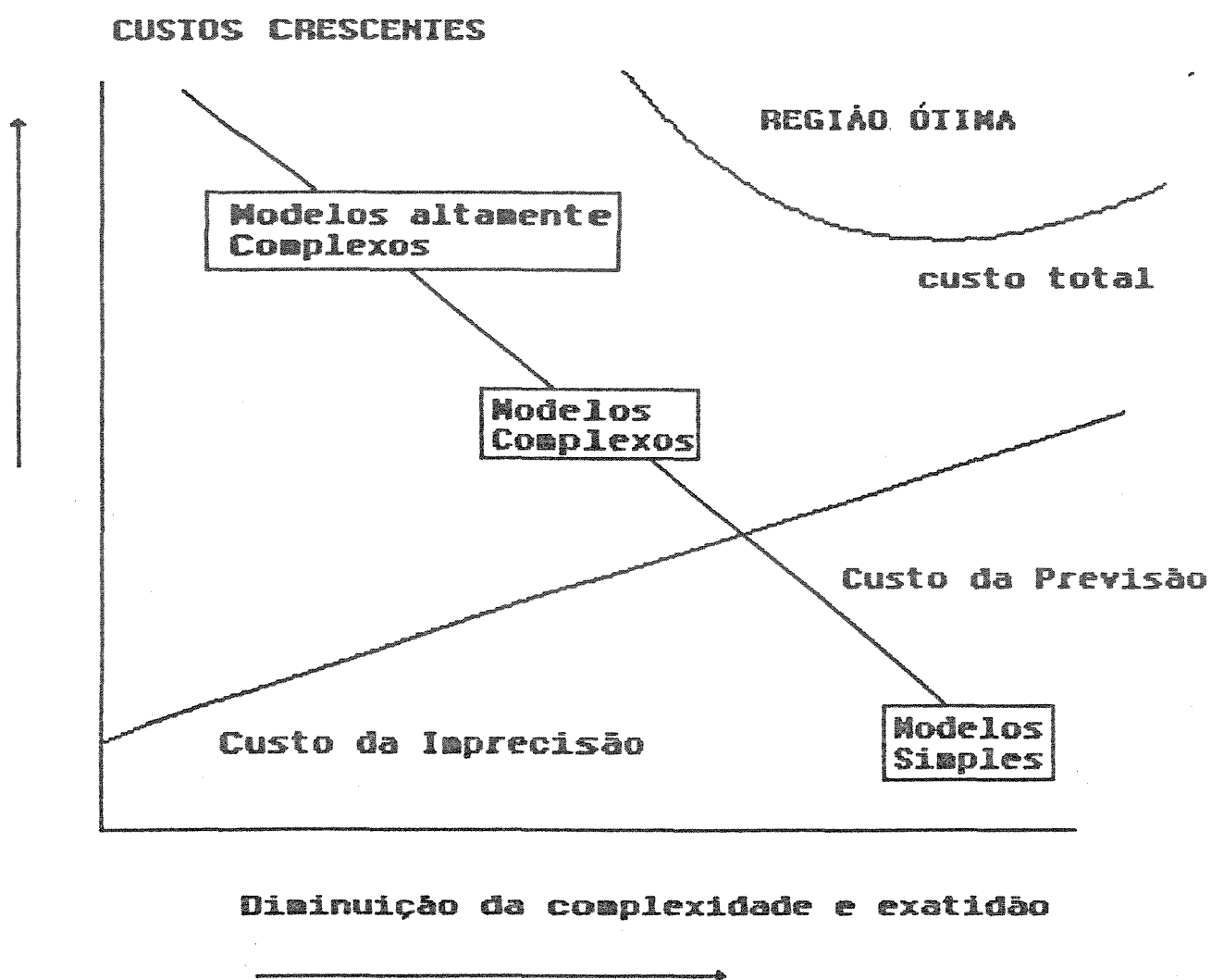
De uma maneira geral, os elementos essenciais que devem compor o processo de validação podem ser resumidos nos seguintes:

- a- significado estatístico dos parâmetros configurados no método;
- b- correspondência entre os valores estimados ("ex-ante" e "expost") pelo método proposto e os valores reais ou medidos e
- c- sensibilidade do método em identificar possíveis mudanças no ritmo do consumo.

Um outro aspecto importante no processo de validação é a relação entre o custo e a exatidão. Segundo CHAMBERS et al.(1971) e LABYS & POLLACK(1984), na avaliação e na seleção das metodologias utilizadas na previsão deve-se inicialmente fixar um nível de exatidão aceitável. A FIGURA 9.1 mostra que a decisão de incrementar a exatidão implica sempre custos proporcionalmente crescentes. Este gráfico indica que a justificativa em ganhos de exatidão (ou em termos econômicos) para a utilização de um método mais sofisticado na previsão das commodities minerais deve se localizar na região onde a soma dos dois custos é mínima.

No contexto da previsão mineral esta relação nem sempre é direta, ou seja, a simples utilização de um método mais complexo não implica ganhos consideráveis na exatidão. Outros parâmetros devem participar na avaliação, tais como, pré-requisitos e qualidade dos dados, natureza das técnicas estatísticas de validação, facilidade de manuseio e compreensão por indivíduos não diretamente envolvidos no processo de previsão, dentre outros parâmetros.

Dentro deste contexto, ARMSTRONG(1985) identificou os



**FIGURA 9.1—Balanço do Custo da  
Previsão versus Exatidão**

fonte: adaptado de LABYS & POLLACK(1984)



principais elementos (ou descritores) que podem afetar a exatidão no processo de previsão, agrupando-os em três áreas: complexidade, conhecimento prévio sobre a situação e mudança no ambiente a ser objeto da previsão. Infelizmente, o autor reconhece as limitações dos próprios descritores em prover a seleção do método de previsão ideal. Uma síntese destes descritores pode ser visualizada a seguir:

---

#### COMPLEXIDADE

1. Número de fatores importantes
2. Relações Lineares
3. Interações

---

#### CONHECIMENTO PRÉVIO DA SITUAÇÃO

1. Nível de conhecimento a priori das relações
2. Quantidade de dados disponíveis
3. Extensão dos erros de medida
4. Escala dos dados

---

#### MUDANÇAS ANTECIPADAS NO AMBIENTE DA PREVISÃO

1. Proporção da mudança (qualitativa e quantitativa)
  2. Horizonte da previsão
- 

Tendo em vista a inexistência de um critério único para a avaliação e seleção dos métodos de previsão, optou-se neste trabalho pela utilização do critério de exatidão (AAE) acompanhado de fatores (ou descritores) qualitativos em termos de vantagens e desvantagens do respectivo método empregado. Nestes fatores qualitativos estarão incluídos elementos considerados essenciais no processo de decisão da demanda mineral: mudança tecnológica, testes de sensibilidade do método, aceitabilidade, custo, etc..

entre outros.

O critério de exatidão para avaliar a performance dos valores simulados é o erro médio absoluto (AAE), definido através da seguinte expressão:

$$AAE = \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{Rc - Pr}{Rc} \right| \right)_i / n \quad (9.1)$$

onde:

Rc = valor real ou observado;

Pr = valor previsto ou simulado pelo método de previsão e

n = intervalo de tempo.

O erro médio absoluto (AAE) é semelhante ao desvio médio absoluto (MAD) e ao erro médio da previsão (MFE), exceptuando-se que o AAE é adimensional. O cálculo do MAD e do MFE é feito através das expressões 9.2 e 9.3 descritas a seguir:

$$MAD = \sum_{i=1}^n | Rc - Pr |_i / n \quad (9.2)$$

$$MFE = \sum_{i=1}^n ( Rc - Pr )^2_i / n \quad (9.3)$$

A vantagem do AAE sobre os demais critérios é a representação dos erros, na medida que estes são hierarquizados em porcentagem ao invés de valores unitários. Outro aspecto importante do AAE é que este reflete o que se define por "erro típico", ou seja, não distingue entre variância e viés. Trata-se de uma vantagem adicional, na medida que possibilita comparar previsões em diferentes situações.

Além destes critérios, existem inúmeros outros tipos de aferições das qualidades das simulações ou previsões que podem ser encontrados em MAKRIDAKIS et. al.(1984) e ARMSTRONG(1985).

A seguir apresentaremos a síntese dos resultados dos ajustes para o consumo do alumínio no Brasil cobrindo o período de 1950-1987 (TABELA 9.1), obtidos com os diferentes métodos de previsão da demanda mineral neste trabalho, utilizando o critério do erro médio absoluto (AAE).

Os resultados indicam que no tocante à descrição do consumo de alumínio no período de 1950-87, os métodos Lognormal(Malenbaum) e Translog que utilizam o PIB como referência (variável explicativa) e o Logístico são os que exibem os valores mais baixos de AAE. Isto indica que no período parte significativa do consumo de alumínio teve uma forte componente associada ao PIB, confirmando os resultados encontrados por SUSLICK & HARRIS(1989).

TABELA 9.1 - SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS PELOS DIFERENTES MÉTODOS NA PREVISÃO DO CONSUMO DE ALUMÍNIO, COM BASE NO CRITÉRIO DO ERRO MÉDIO ABSOLUTO (AAE).

MÉTODO	PERÍODO OBSERVADO	AAE	PERÍODO EXPOST	AAE
LOGÍSTICO	1962-87	0.07		
LINEAR (TEMPO)	1950-80	0.12	1981-87	0.10
LINEAR (PIB)	1950-80	0.22	1981-87	0.13
LINEAR (PIB)	1950-87	0.21		
LOGNORMAL (MALENBAUM)	1950-80	0.12	1981-87	0.12
LOGNORMAL (MALENBAUM)	1950-87	0.12		
TRANSLOG	1950-80	0.13	1981-87	0.30
TRANSLOG	1950-87	0.11		
CONHECIMENTO	1950-80	0.15	1981-87	0.07
CONHECIMENTO MODIFICADO	1950-80	0.12	1981-87	0.61
CONHECIMENTO MODIFICADO	1950-87	0.17		
ESCORES FATORIAIS	1950-80	0.20	1981-87	0.07
ESCORES FATORIAIS	1950-87	0.17		
COEFICIENTES (TEMPO)	1952-80	0.09	1981-85	0.13
COEFICIENTES (TEMPO)	1952-85	0.09		

Um outro efeito do PIB pode ser visualizado nos resultados da sequência evolutiva variando dos modelos Linear ao Translog, onde se dá um ganho significativo na exatidão em 50% na descrição do consumo no ajuste do período 1950-87, conforme mostra o quadro a seguir:

MODELO	LINEAR(PIB) ==>	LOGNORMAL(MALENBAUM) ==>	TRANSLOG
AAE	0.21	0.12	0.11

A avaliação do período "expost" (1981-87) mostra que os métodos das Curvas de Conhecimento e dos Escores Fatoriais são os que apresentam os melhores desempenhos. Este fato se justifica pois ambos os métodos ponderam os efeitos do preço e do PIB, quando no período, além das significativas variações no crescimento do PIB per capita, observaram-se alterações na oferta e no consumo do alumínio e intervenções governamentais na regulamentação dos preços (BRAZ-PEREIRA, 1988).

O efeito oposto pode ser observado nos modelos de Curvas de Conhecimento Modificado e Translog, onde os valores de AAE são os mais altos, 0.61 e 0.30 respectivamente. Em ambos as flutuações dos preços e do PIB dificultam um ajuste adequado da IU, redundando em valores discrepantes dos registrados no consumo mineral no período 1981-87.

A TABELA 9.2 sintetiza os resultados obtidos com a projeção

do consumo de alumínio para o ano 2000, utilizando as equações do período 1950-87.

TABELA 9.2 - PROJEÇÃO DA DEMANDA DO ALUMÍNIO PARA O ANO 2000 GERADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS  
(valores em 1000 toneladas métricas)

MÉTODO	CONSUMO DE ALUMÍNIO
LOGÍSTICO	1068.7
LINEAR(TEMPO)	1511.8
LINEAR(PIB)	2653.9
LOGNORMAL(MALENBAUM)	652.7
TRANSLOG	1526.9
CONHECIMENTO SIMPLES	1152.4
CONHECIMENTO MODIFICADO	1557.9
ESCORES FATORIAIS	2923.0
COEFICIENTES(TEMPO)	2085.5

A projeção baseada na teoria de intensidade de uso no modelo proposto por MALENBAUM(1973, 1975, 1978) apresenta valor inferior às demais estimativas. Este modelo impõe certas restrições ao crescimento da demanda mineral, quando a sociedade atinge um certo nível de renda per capita. Segundo o autor, neste momento o consumo aumenta gradaditivamente na direção do setor de serviços, que possui uma intensidade de uso em metais inferior.

O modelo Logístico, apesar de apresentar bons resultados quando analisado sob a ótica do critério AAE, também mostra uma estimativa bastante conservadora do consumo do alumínio para o ano 2000 ( $1068.7 \times 10^3$  ton.). Este fato deve-se às restrições impostas pelos modelos da família exponencial modificada que supõe uma saturação do consumo na parte final da série temporal.

Considerando-se o outro extremo das estimativas, observa-se que o modelo Linear (IU versus PIB) e os Escores Fatoriais exibem os valores mais altos. Este fato resulta no papel desempenhado pelo PIB nestes métodos que induzem a um crescimento excessivamente alto do consumo mineral.

Os resultados dos demais métodos que incorporam os preços do metal e de seus substitutos e a mudança tecnológica apresentam maior grau de confiabilidade, levando a estimar o consumo de alumínio para o ano 2000 no intervalo compreendido entre  $1500-2000 \times 10^3$  toneladas métricas.

Este intervalo coincide com estimativas do WORLD BANK(1983) para diversos países e blocos para o consumo de alumínio no ano 2000 conforme mostra a TABELA 9.3, onde as previsões se situaram

entre 1407.0 e  $1549.0 \times 10^3$  toneladas métricas.

Os dados da TABELA 9.3 mostram claramente que a amplitude das previsões se apresenta bastante variada devido aos diversos enfoques na definição do consumo (aparente, primário, secundário, total, etc...). Nem sempre as distinções se mostram visíveis, o que dificulta a comparação dos resultados. O intervalo de tempo e os pontos considerados geram também diferentes estimativas e tendências no consumo mineral.

A partir da discussão desses resultados fica demonstrado que não existe uma única técnica de previsão que contemple todos os requisitos exigidos pela demanda mineral: definição do consumo, qualidade dos dados, substituição, mudança tecnológica, preços, custos, dentre outros.

Um outro aspecto importante que frequentemente é deixado à margem é o papel desempenhado pelo analista no processo de previsão. Ou seja, o analista é mais importante que a própria técnica utilizada. Se o analista não possuir um bom conhecimento da técnica, das forças que controlam o mercado e dos efeitos das mudanças tecnológicas, os resultados serão confusos e inconsistentes.

Em função destes aspectos, optou-se por uma avaliação final qualitativa dos métodos propostos, cotejando-se os principais fatores vinculados ao universo da previsão da demanda mineral:



**TABELA 9.3 - CONSUMO DE ALUMÍNIO PROJETADO PARA O ANO 2000  
SEGUNDO DIVERSAS FONTES - DADOS EM MILHARES DE  
TONELADAS MÉTRICAS (\*)**

FONTE	MUNDO	EUA	BRASIL
FISCHMAN(1)	46200.0	11100.0	-
LEONTIEF(2)	nd	14340.0	-
MALENBAUM(3)	36516.0	13073.0	1270.0 (5)
RIDKER(4)	55307.4	14962.4	-
USBM(4)	57788.6	15603.0	-
WORLD BANK(a)	52835.0	15623.0	1549.0
WORLD BANK(b)	43572.0	14407.0	1407.0

(1) Consumo Aparente

(2) Consumo Primário pressupondo mudança tecnológica

(3) Consumo Primário

(4) Consumo Total = primário + secundário

(5) Consumo Estimado para A.Latina

(a) Estimativa Superior(otimista)

(b) Estimativa Inferior(pessimista)

(\*) Listagem das Fontes = Referências Bibliográficas

exatidão(AAE), custo, complexidade, identificação das mudanças tecnológicas, pré-requisitos (dados, etc...) e facilidade de manuseio e compreensão.

Estabeleceu-se uma escala arbitrária entre alta, média e baixa para a performance dos métodos em relação aos fatores, conforme mostra a TABELA 9.4. Apesar desta avaliação ser essencialmente subjetiva na atribuição dos pesos, pode-se observar que não existe um único método que atenda integralmente as exigências de todos os fatores.

A FIGURA 9.2 busca equilibrar as ponderações entre complexidade, exatidão e custo em parte refletidas na curva do custo da previsão, onde os métodos simples sempre carecem de um nível de exatidão compatível. Algumas exceções foram constatadas, como o caso dos Métodos Logístico, Linear em Função do Tempo e de Conhecimento. Talvez as especificidades do alumínio e do seu padrão de consumo em relação às elasticidades dos preços praticados no Brasil justificam em parte este comportamento.

Os métodos baseados na projeção dos vetores macroeconômicos-Escores Fatoriais e Variação dos Coeficientes em relação ao Tempo-apresentam excelente performance na previsão, apesar de situados na parte superior do gráfico (grande complexidade, alta precisão e alto custo). Estas técnicas levam em conta as correlações entre as variáveis econômicas e tecnológicas e mudanças dos parâmetros ao longo do tempo. Segundo JEON(1988), as características destes modelos permitem a previsão dos preços das commodities minerais e outras componentes associadas à demanda mineral.

MÉTODO	EXATIDÃO		Custo	Complexidade	Tecnologia	Requisitos	Manuseio
	1950-87	ex-post					
Gráfico	A	nd	B	B	B	B	B
Var(Tempo)	M	A	B	B	B	B	B
Var(PIB)	B	M	B	B	B	B	B
Normal(Malenbaum)	M	M	M	B	B	B	B
Log	A	B	A	A	A	M	M
Incremento Simples	M	A	B	M	B	B	B
Incremento Modificado	M	B	M	M	M	M	M
Séries Fatoriais	M	A	A	A	A	M	A
Indicadores(Tempo)	A	A	A	A	A	M	A

Legenda: Alta(A) Média(M) e Baixa(B)  
 Informação não disponível

## CUSTOS CRESCENTES

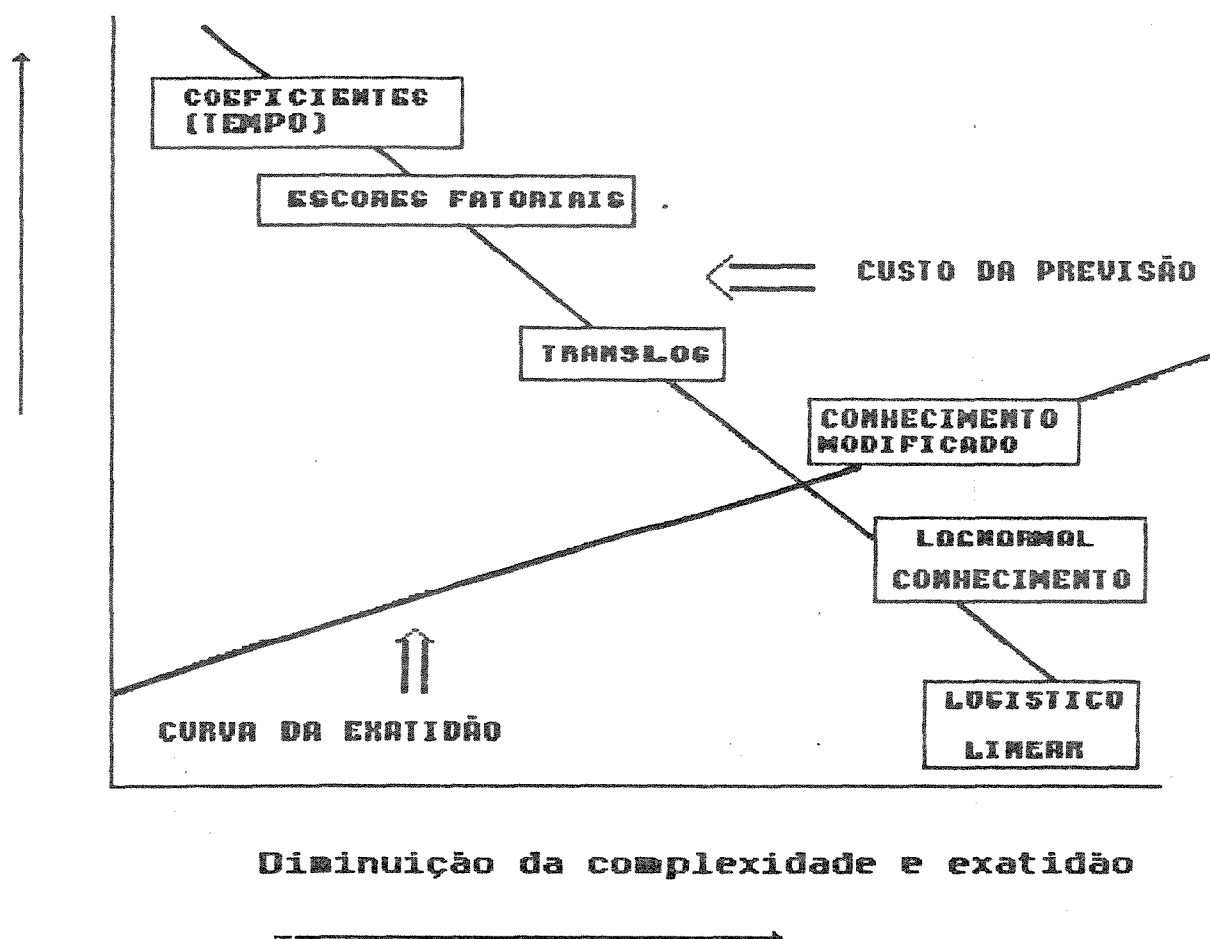


FIGURA 9.2 - AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PREVISÃO

## CAPÍTULO X

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A previsão da demanda mineral possibilita o reconhecimento e a análise futura do comportamento de variáveis econômicas, que constituem instrumentos essenciais no auxílio ao planejamento das atividades das empresas privadas e estatais e organismos governamentais do setor mineral.

O elemento crucial que determina a necessidade da previsão está diretamente relacionado aos riscos inerentes ao setor mineral - que não são desprezíveis face ao montante de investimentos - que devem ser considerados na tomada de decisões políticas e econômicas que afetarão o futuro das empresas, do país e da sociedade em geral.

Este trabalho busca apresentar um panorama sobre os principais métodos de previsão da demanda mineral a longo prazo com base na técnica da intensidade de uso, envolvendo desde os aspectos ligados ao seu formalismo e exatidão até fatores qualitativos de complexidade e facilidade de manuseio. Apesar de cobrir um amplo espectro de aplicações, constata-se que estas técnicas apresentam certas limitações em preencher todos os requisitos exigidos na previsão, tais como definição do consumo, qualidade dos dados, substituição, mudança tecnológica, preços, custos, dentre outros.

Um outro aspecto importante, que nem sempre é considerado, refere-se ao papel desempenhado pelo analista na previsão da demanda mineral. Ou seja, o analista é mais importante que a própria técnica utilizada. Se o analista não possuir também um sólido conhecimento da técnica, das especificidades das substâncias minerais enfocadas, das forças que controlam o mercado e dos efeitos das mudanças tecnológicas no consumo mineral, os resultados da previsão serão confusos e inconsistentes.

Na análise do consumo de alumínio no Brasil utilizou-se o critério do erro médio absoluto (AAE), que possibilita comparar previsões em diferentes situações e os erros são hierarquizados em porcentagem ao invés de valores unitários. Os resultados obtidos pela comparação dos diversos métodos podem ser resumidos nos seguintes:

- Os modelos que utilizam o PIB como referência, (variável explicativa) tais como, os Modelos Translog, Modelo Lognormal (Malenbaum) e Modelo Linear são os que exibem valores mais altos de exatidão. Exceção feita ao Modelo Logístico, que utiliza o trend em função do tempo. Esta constatação vem confirmar os trabalhos de SUSLICK & HARRIS(1989), que enfatizam o peso preponderante do PIB como determinante do consumo de alumínio no período;

- O Modelo Translog resulta num ganho significativo em exatidão em 50% em relação ao Modelo Linear em função do PIB na descrição do consumo no período de 1950-87, passando de 0.21 para 0.11;

- A avaliação do período "expost" (1981-87) mostra que os métodos baseados no sistema de Curvas de Conhecimento e dos Escores Fatoriais são os que apresentam os melhores resultados. Este fato se justifica, pois ambos os métodos ponderam os efeitos do preço dos metais e seus substitutos e os efeitos do PIB. Neste período, além das significativas variações do PIB per capita, observaram-se alterações importantes na oferta e demanda de alumínio, fruto das intervenções governamentais na regulamentação dos preços internos e no incentivo ao consumo doméstico do metal.

Na projeção do consumo de alumínio para o ano 2000, o modelo de intensidade de uso proposto por Malenbaum apresenta as estimativas mais conservadoras em relação aos demais métodos. Este modelo impõe restrições ao crescimento da demanda mineral quando a sociedade atinge níveis elevados de renda per capita. Neste momento, a hipótese de Malenbaum pressupõe que o consumo passa a ter uma maior componente ligada ao setor de serviços que possui uma menor intensidade de uso em metais.

A classificação dos métodos utilizando os critérios de exatidão, complexidade, identificação das mudanças tecnológicas, pré-requisitos e facilidade de manuseio identificou os métodos baseados na projeção dos vetores macroeconômicos (Escore Fatorial e de Variação dos Coeficientes Temporais) como os que apresentam melhores performances, embora envolvam maior complexidade e custos mais elevados. A grande vantagem dos vetores macroeconômicos é a incorporação das correlações entre as variáveis econômicas e tecnológicas e as variações dos parâmetros ao longo do tempo.

JEON(1988) obteve excelentes resultados ao utilizar esta propriedade para efetuar a previsão do preço de diversas substâncias minerais e outras componentes associadas à demanda mineral.

Em seguida na escala decrescente de avaliação, aparecem os métodos Translog, Conhecimento e os demais baseados na projeção das séries temporais com igual peso. Deve-se ressaltar que, com exceção da função Translog, as demais técnicas possuem um custo variando de médio a baixo e um nível de exatidão tolerável, considerados os objetivos da previsão final. Embora o método Translog produza excelentes previsões, a identificação de alguns modelos torna-se difícil, pois o sinal da variável preço na equação da demanda apresenta-se positivo. Este fato é uma indicação que as mudanças na demanda dominaram o mercado, caracterizando mais a curva da oferta que propriamente a da demanda. Entretanto, mais pesquisas nesta área serão necessárias para formular um modelo Translog adequado que possa estimar simultaneamente a oferta e a demanda e compensar os efeitos do preço.

Um outro aspecto importante deste trabalho foi demonstrar que a técnica de intensidade de uso proposta por MALENBAUM é capaz de acomodar uma estrutura mais complexa que incorpore os efeitos das mudanças tecnológicas, preço dos metais e seus substitutos através dos modelos Translog.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELSON, P.H. 1987. Science and Technology Affecting Demand for Materials and Energy. In: D.J.McLAREN & B.J. SKINNER(eds.) Resources and World Development, John Wiley and Sons, S.Bernhard, Dahlem Konferenzen, p.65-77.

ADAMS,R.G.1989. Metals Industry Forecasting: Information, Expectations and the Questions of Capacity. In: J.A.CORDES & T.F.TORRIES(eds.),Surplus Capacity in the International Metals Industry, SME, P.55-66.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). 1988. Basic Petroleum Data Book: Petroleum Industry Statistics, API, vol.IX, n.1, January.

ARANHA,A.C. 1988. A Indústria do Alumínio: Um Histórico e Perspectivas para os Anos 90. Palestra proferida no IG/UNICAMP em 20/11/1988. 16p.

ARMSTRONG, J.S. 1985. Longe-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer. Wiley-Interscience. Second ed. New York, 687p.

AUTY,R. 1985. Materials intensity of GDP-Research issues on the measurement and explanation of change. Resources Policy, 11, p. 275-283

BALAZIK,R.F. & KLEIN, B.W. 1987. The Challenge of New Materials. Minerals and Materials, dec.1986/Jan.1987., Bureau of Mines, U.S.Department of Interior, p.6-12.

BELKAOUNI, A. 1986. The Learning Curve: A Management Accounting Tool. Quorum Books. London. 245p.

BERNDT,E.T. & WOOD,D.O. 1974. An Economic Interpretation of the Energy-GNP Ratio. In: M.S. Macrakis, editor, Energy: Demand, Conservation, and Institutional Problems, Cambridge: MIT Press, pp21-30.

BOX,G.E.P. & JENKIS,G.M. 1976. Time Series Analysis. Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day, Inc.

BOZDOGAN,K. & HARTMAN,R.S. 1979. U.S. Demand for Copper: An Introduction to Theoretical and Econometric Analysis. In: R.F.Mikesell,ed.,The World Copper Industry, Resource for the Future and Johns Hopkins Press, Baltimore.

BRAZ-PEREIRA, E. 1988. Brazil: The Transition to An Export Industry. In: Merton J. Peck, ed., The World Aluminum Industry in a Changing Energy Era., Resource for the Future, Washington, D.C., p.148-174.

CAMPBELL, G.A. 1985. Theory of Mineral Demand. In: William Vogely (ed.) Economics of Mineral Industries., 4th ed., AIME, pp.161-179.

CAMPBELL, G.A. 1986. Reflections on the Derived Demand for Metals. Materials and Society, Vol.10, No.3, pp.345-349.

CANAVAN, P.D. 1983. The determinants of intensity-of-use: a case study of tin solder end uses. PhD. dissertation, Pennsylvania State University, University Park.

CASTRO, S.Z., 1988. Changing Trends in World Metal Demand: The Case of Tin. Natural Resources Forum, vol.12, No.2, pp 149-158.

CHAMBERLAIN, P.G. 1989. Technological Improvements Needed by the U.S. Mineral Industry by the year 2000. In: Mineral Issues-1989 Competitiveness and Regulation, Bureau of Mines, U.S. Department of Interior, pp.1-7,

CHAMBERS, J.C.; MULLICK, S.K. & SMITH, D.D. 1971. How to Choose the Right Forecasting Technique. Harvard Business Review, 45-74.

COHENDET et. al. 1987. Les Matériaux Nouveaux, Economica. Paris. 360p.

COLE, S. Global Models-A Review of recent developments. Futures, 1987. August, p.403-430.

CONSIDINE, T.J. 1987. Understanding Trends in Metal Demand. Materials and Society, Vol.11, No.3, pp.349-370.

DAMASIO, J. 1986. Impacto da Mineração sobre os Agregados da Economia Baiana. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. SME. Salvador.

DAMASIO, J.; VALVERDE, R. & CRUZ, R.C. 1987. Construção de Matrizes Interindustriais Regionais: O exemplo da Bahia. XV Encontro Nacional de Economia. Anais. Salvador. p.427-441.

DAVIS, J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons. N.York. 2nd ed. 646p.

DRESHER, W.H. 1988. Impacts of Technology Changes on Long-Term Minerals Availability. In: American Mining Congress, vol.II:Policy, April-24-28. Chicago, pp.201-212.

ECLA/UN. Economic Survey of Latin America and Caribbean. Economic Commission for Latin America and the Caribbean (several issues).

ECLA/UN. Statistical Yearbook for Latin America. Economic Comission for Latin America and the Caribbean. (several issues).

EGGERT, R.G. and TILTON, J.E., 1989. Metal Demand: Secular Change and Long-Run Prospects. In: J.A. CORDES and T.F. TORRIES (eds), Surplus Capacity in the International Metals Industry. SME, 1989, chapter 5, pp33-41

FAUCETT, J. & CHMELYNISKI, H.J. 1986. Changes in Worlwide Demand for Metals. Bureau of Mines Open file Report, 92-86. Contract No. J0156030, Division of Minerals Policy and Analysis. Washington, D.C. 155p.

FGV. CONJUNTURA ECONÔMICA. Fundação Getúlio Vargas. Diversos números.

FIELD, B.C. & BERNDT, E.R. 1981. An Introductory Review of Research on the Economics of Natural Resource Substitution. In: E.R. BERNDT & B.C. FIELD, eds, Modeling and Measuring Natural Resource Substitution, MIT Press, Cambridge, Mass., pp.1-14.

FISCHMAN, L.I. 1980 World Mineral Trends and US Supply Problems, Resources For The Future, Washington, DC. 535p.

FRAZER, S.; ROGICH, D. & BARSOTTI, A. 1987. Competition Among Materials: Implications For The Domestic Mineral Industry. Minerals and Materials, Apr/May 1987., Bureau of Mines, U.S. Department of Interior, p.7-14.

GANDOLFO, G. 1980. Economics Dynamics: Methods and Models, North-Holland, Amsterdam.

GIGET, M. 1987. Le Développement Fonctionnell du Marché des Matériaux vers les Hautes Performances et Hautes Fonctionnalités. Euroconsult. Seminar d'Economie et Strategie Minière. Paris. CERNA. 18p.

GIRAUD, P.N. 1985. The Consumption of eight Mineral Resources. Retrospective Analysis 1950-1985 and Lessons for forecasting. Seminar. CERNA. Centre des Ressources Naturelles. Paris. 48p.

GIRAUD, P.N. 1988. La Competition entre Materiaux. Conferência pronunciada no Club Español de Minería. Madrid. 7.8.88. CERNA. Paris. 15p.

GORDON, R.B. et al. 1987 Toward a New Iron Age? Quantitative Modeling of Resource Exhaustion. Harvard University Press. 173p.

GREEN, R.D. 1984. Forecasting With Computer Models. Praeger. N.York 256p.

GREGG, J.V. et. al. 1968. Mathematical Trend Curves: An Aid To Forecasting. Monograph No.1, D. Van Nostrand Co. Toronto. 99p.

GRUNWALD, J. and MUSGROVE, P. 1970. Natural Resources in Latin American Development. Resources for the Future, Inc. Johns Hopkins Press. London. 271p.

HANNAN, M.J. & TORRIES, T.J. 1989. Industry Structure and Capacity. In: J.A. CORDES and T.F. TORRIES (eds), Surplus Capacity in the International Metals Industry. SME, 1989, chapter 5, pp43-51.

HARMAN, H.H. 1967. Modern Factor Analysis. Univ. Chicago Press., 2nd edition, Chicago, 474p.

HARRIS, D.P. 1984. Mineral Resources Appraisal - Mineral Endowment, Resources and Potential Supply: Concepts, Methods and Cases. Clarendon Press, Oxford, 445p.

HARRIS, D.P. & JEON, G.J. 1987. Improved Methods for Long-Range Forecasting. Research Project. Mineral Economics, Department of Mining and Geological Engineering, College of Engineering and Mines, University of Arizona. 161p.

HARRIS, D.P. 1989. Forecasting of Mineral Industries. Mineral Economics. University of Arizona. Anotações do Curso MN665. 220p.

HELMER, O. 1968. Analysis of the Future: The Delphi Method. Technological Forecasting for Industry and Government. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

HUMPHREYS, D. 1982. A mineral commodity life-cycle? Relations between production, price and economic resources. Resources Policy, vol.8, n.3, pp.215-229.

HUMPHREYS, D. 1987. Perspectives on Intensity of Use. Materials and Society, vol.11, No.3, pp.333-347.

IBGE. 1980. Anuário Estatístico do Brasil.

IMF. 1988, Yearbook 88. International Finance Statistics. International Monetary Fund.

IWASE, N. 1980. Recycling and Substitution. In: S.SIDERI & S.JOHNS (eds). Mining Development in the Third World. Pergamon Press. NY. p.266-282.

JEON, G.J. 1988. Innovative methods for Long-Term Mineral Forecasting. PHD. Dissertation, Department of Mining and Geological Engineering, University of Arizona, 250p.

JÖRESKOG, K.G.; KLOVAN, J.E. & REYMENT, R.A. 1976. Geological Factor Analysis. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 178p.

KOPP,R.J. & SMITH,V.K. 1980. Measuring Factor Substitution with Neoclassical Models: An Experimental Evaluation. Bell Journal of Economics and Management Science, vol.11, pp.631-655.

KENDRICK, J.W. 1984. Improving Company Productivity. Johns Hopkins University Press. Baltimore. 220p.

LABYS,W.C. & POLLAK,P.K.1984. Commodity Models for Forecasting and Policy Analysis. Croo Helm. London.1984. 209p.

LABYS, W.C. et al. 1985. Mineral Models. In: W.Vogely (ed.), Economics of Mineral Industries., 4th.ed.AIME, pp.337-379.

LABYS,W.C. 1987 Primary Commodity Markets and Models. Gower Publs.Co. Great Britain. 290p. 1987

LEONTIEF, W. 1982. Techniques for Consistent Forecasting of Future Demand for Major Minerals Using an Input-Output Framework. Bureau of Mines, JO188147, Washington, DC.

LEONTIEF, W.; KOO,C.M.J.; NASAR,J. & SOHN,I. 1983. The Future of Nonfuel Minerals in the U.S. and World Economy. Lexington Books., Mass., 452p.

LINSTONE,H.A. & TUROFF,M. 1975. The Delphi-Method: Techniques and Applications. Reading, Mass.,Addison-Wesley.

LOWRY,M.N. 1986. Assessing Future Metals Demand in Less Developed Countries: Another Look at the Leapfrog Effect. Materials and Society., vol.10, No.3, pp.513-527.

MAKRIDAKIS,S.; WHEELWRIGHT,S.C. & MCGEE,V.E. 1983. Forecasting: Methods and Applications. 2 ed.,Wiley, New York, 923p.

MAKRIDAKIS,S.; WHEELWRIGHT,S.C. & STEVEN,C. 1984. Forecasting Methods for Management, 4th ed., Chichester, England, Wiley, 320p.

MALENBAUM, W. 1973. Material Requirements in the United States and Abroad in the Year 2000. A Research project prepared for the National Commission on Materials Policy, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.

MALENBAUM, W. 1975. Law of Demand for Minerals. Proceedings of the Council of Economics, 104th Annual Meeting of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, pp.147-155.

MALENBAUM, W. 1978. World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000. New York:McGraw-Hill. 126p.

MARTINO, J.P. 1983. Technological Forecasting For Decision Making. Elsevier. N.York.

METALLGESELLSCHAFT AKTIENGESELLSCHAFT, Metal Statistics, annual, Metallgesellschaft AG., Frankfurt-am-Main: (various issues)

MIKESELL, R.F. & WHITNEY, J.W. 1987 World Mining Industry: Investment Strategy and Public Policy. Allen & Unwin. London. 187p.

MORRISON, W.E. 1976. Projecting and Forecasting Methods. Quantitative Economic Analysis Applied to the Mineral Industries. In: Economics of Mineral Industries, 3rd ed., William Vogely (ed.), AIME, pp. 271-316.

MYERS, J.G. 1986. Testing for Structural Change in Metals Use. Materials and Society, vol.10, n.3, pp.271-283.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. NAS. 1982. Mineral Demand Modelling. Committee on Nonfuel Mineral Demand Relationships, National Research Council, Washington, DC., National Academy Press. 130p.

NEWCOMB, R. 1969. Toward a Dynamic Theory of Substitution and Technological Change in the Materials Market. Proceedings of the Council of Economics, 98th annual meeting of the AIME, feb. 16-20, pp.168-188.

NEWCOMB, R. 1976. Mineral Industry Demands and General Equilibrium. In: Economics of Mineral Industries, 3rd ed., William Vogely (ed.), AIME, pp. 271-316

NPCT/UNICAMP. 1987. Novos Materiais: Subsídios para uma Estratégia de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Relatório ao Ministério de Ciência e Tecnologia, NPCT. Núcleo de Política Científica e Tecnológica. UNICAMP. 47p.

PAN, G. & HARRIS, D.P. 1988. A New Iterative and Weighting Forecasting Technique - The Latest Trend Tracing Model And Its Application. Mineral Economics Program. University of Arizona. Unpublished paper. 32p.

PIERSON, G. 1981. Learning Curves Make Productivity Gains Predictable. Eng. & Mining Journal, pp.56-64., August-1981.

QUEIROZ, S.R.R. & MITLAG, H. 1989. A Emergência dos Novos Materiais: Seu Significado e Impacto Econômico no Brasil. Interciência, mar-apr., vol.14, n.2, pp.59-67.

RADCLIFFE, S.V.; FISCHMAN, L.L. & SCHANTZ, R. 1981. Materials Requirements and Economic Growth: A Comparison of Consumption Patterns in Industrialized Countries. Resources for the Future, Contract JO177118, Washington, DC.

RADETZKI, M. 1986. Issues in Measuring and Forecasting Metal Consumption in LDC's. Materials and Society, vol.10, No.3, pp.491-511.

RIDKER, R.G. & WATSON, W.D. 1980. To Choose a Future, John Hopkins Press, 463p.

ROBERTS, M.C. 1985. Theory and Practice of the Intensity of Use Method of Mineral Consumption Forecasting, PhD. Dissertation, The University of Arizona, Tucson, Az. unpublished paper.

ROBERTS, M.C. 1987 The Consumption of Metals and International Trade. Materials and Society, vol.11, N.3, pp.391-406.

ROBERTS, M.C. 1988 What caused the slack demand for metals after 1974? Resources Policy, vol. 14, N.3, pp.231-246.

ROBERTS, M.C. 1988. Forecasting Mineral Consumption For Mine Project Evaluation. School of Business and Engineering Administration. Michigan Technol. University. Working Paper, WP-88-018, october 18p.

SAS (1988). Language Guide for Personal Computers, Release 6.03 Ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 558p.

SAS (1988). SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1028p.

SCHOONBEEK, L. 1987. On The Eigenvectors of Macro-Economic Models. Annales D'Economie et Statistique. N.6/7 INSEE. Paris. p.335-345.

SLADE, M.E. 1981. Recent Advances in Econometric Estimation of Materials Substitution. Resources Policy, vol.7, june, pp.103-109.

SOLADAY, J. 1988. Structural Change in the Metals Industry: A Quantitative Assessment. Natural Resources Forum, United Nations, N.Y., vol.12, n.4, november 1988.

SUSLICK, S.B. 1986. Quantificação da Potencialidade Mineral Com Base Em Dados Geoquímicos. Tese de Doutorado. IG-USP.

SUSLICK, S.B. et al. 1988. Recursos Minerais na America do Sul. Brasil Mineral. vol. 5, No.59, pp.48-59.

SUSLICK, S.B. 1988. Quantificação da Demanda Mineral: Uma abordagem preliminar. III Simpósio de Quantificação em Geociências. IGCE-UNESP, Rio Claro (SP), Anais, p.112-122.

SUSLICK, S.B. 1989. Programas Computacionais de Ajuste de Curvas de Demanda Mineral. IG/UNICAMP. Campinas. 10p.



- SLICK, S.B. & HARRIS, D.P. 1989. Latin American Metal Consumption-  
cent Trends and Determinants. unpublished paper, Mineral  
onomics Program, Department of Mining and Geological Engineering,  
iversity of Arizona, 15p.
- LTON, J.E. 1985. Atrophy in Metal Demand. Earth and Mineral  
ience. vol 54, No.2, pp15-18.
- LTON, J.E. 1986. Beyond Intensity of Use. Materials and Society,  
1.10, No.3, pp.245-250.
- LTON, J.E. 1989. World Metal Demand: Past Trends and Future  
ospects. Unpublished manuscript, Colorado School of Mines,  
neral Economics Department, Golden, CO, 1988.
- LTON, J.E. 1989a. Changing Trends in Metal Demand and the Decline  
mining and mineral processing in North America. Resources  
olicy, vol.15, No.1, march 1989, pp.12-23.
- OMOPOULOS, N.T. 1980. Applied Forecasting Methods. Prentice-Hall,  
ic., Englewood Cliffs, N.J. 369p.
- RIGUEIRO, W & SUSLICK, S.B. 1989. Novos Materiais e seus Impactos  
o Setor Mineral: Elementos para Discussão. IBRAM. Anais. III  
ongresso Brasileiro de Mineração. São Paulo, 21p.
- VICAMP 1982. Modelo de Demanda de Recursos Minerais. Instituto de  
ociências. Contrato UNICAMP-IG/PRÓ-MINÉRIO-SICCT n.345-0. 142p.
- UNITED NATIONS. Statistical Yearbook, annual, various issues.
- UNITED NATIONS. National Accounts Statistics, annual, several  
ssues.
- .S.BUREAU OF MINES(1986) - Mineral Consumption Forecasting:  
standardizing and Comparing Forecasts. Information Circular, 9082,  
7p.
- ALDES, R.M. 1987. Substitution in the Insulated Cable Market: A  
tudy of Copper-Aluminum Materials Substitution. Materials and  
ociety, vol.11, n.3, pp.259-277.
- OGELY, W.A. 1975. Mineral Materials Modeling: A State-of-Art  
eview. Resources for the Future. Washington, D.C. 1975.388p.
- OGELY, W.A. 1976. Is there a Law of Demand for Minerals? Earth and  
ineral Sciences. v.45, n.7, April, p.49-53.
- OGELY, W.A. & BONCZAR, E. 1977. The Demand for Natural Resources  
evisited. Proceedings of the Council of Economics, 106th annual  
eeting of the AIME, march 6-10, pp. 165-172.



WADDELL, L.M. & LABYS, W.C. 1988. Transmaterialization: Technology and Materials Demand Cycles. Materials and Society, vol.12, No.1, pp.59-86.

WORLD BANK. 1983 Brazil: Industrial Policies and Manufactured Exports. A World Bank country study. 163p.

WORLD BANK. 1983 Worldwide Investment Analysis: The Case of Aluminum. A World Bank Staff Working Paper. Number 603269p.

WORLD BANK. 1987 World Bank Data Tape: National Accounts, Prices, Exchange Rates and Population for the Period 1960-84. Washington, DC.

WRIGHT, T.P. 1936. Factors Affecting The Cost of Airplanes. Journal of Aeronautical Science, vol.3, n.2, Feb.

WRIGHT, S. 1977. Long-Term Resource Demand: Models for Projection. Resources Policy, vol.3, No.4, pp.261-267.

**ANEXOS**

**ANEXO A - GLOSSÁRIO**

**ANEXO B - BASES DE DADOS**

**ANEXO C - LISTAGEM DOS PROGRAMAS: CARDMA1, GOMES E SLOPE**

**ANEXO D - SÍNTESE SOBRE O CONSUMO DE ALUMÍNIO NO BRASIL  
E NO MUNDO**

## ANEXO A - GLOSSÁRIO

**demanda** = representa as diferentes quantidades de uma substância mineral que os consumidores gostariam de adquirir sob diferentes condições de preço e renda (ou lucro). A demanda é a relação temporal preço-quantidade - e pode ser diferenciada do consumo - que representa a quantidade da substância mineral que é realmente utilizada ou consumida. O consumo é determinado pelas condições de oferta e demanda. A demanda pode ainda ser distinguida das **necessidades** (ou "requirements"), possuindo esta última uma certa invariância e inflexibilidade em relação ao preço, enquanto que a demanda é caracterizada por diferentes elasticidades.

**demanda de consumo (ou dos consumidores) e demanda derivada** = A teoria econômica distingue estes dois tipos de demanda. A primeira procura explicar como os indivíduos satisfazem suas necessidades adquirindo os produtos finais, enquanto a demanda derivada mostra como os produtores avaliam suas entradas iniciais (inputs) e investimentos para atingir uma determinada demanda de um produto (output). Por exemplo, o consumo de aço avaliado através de uma curva de demanda de um produto final: automóveis. No setor mineral é difícil definir a demanda de consumo pelos usuários

finais (p.ex.: construção civil), razão pela qual sempre recorre-se à demanda derivada.

**função de demanda** = Esta função identifica as variáveis significativas que determinam a demanda de um determinado bem, tais como o preço da substância mineral, o preço do substituto mais próximo e o nível da atividade econômica. A função de demanda qualifica a natureza das relações entre estas variáveis e as quantidades do bem mineral demandado. A **curva de demanda** é derivada da função de demanda e mostra como a demanda de um bem mineral em particular varia em função do preço, pressupondo que as demais variáveis que caracterizam a demanda permaneçam num determinado nível. A **quantidade demandada** é determinada no ponto de intersecção da curva de demanda com a respectiva curva da oferta. Diferentemente da curva e da função de demanda, a quantidade demandada constitui uma entidade observável. A sua variação pode ser provocada tanto pelas mudanças na curva de oferta (a um dado preço menor será a quantidade oferecida, por motivos de aumento de salários, interrupção da produção, etc..) como na curva de demanda (a um dado preço menor será a quantidade demandada) motivada por um declínio geral da economia, introdução de novas tecnologias e outros fatores.

**Produtividade** = É a razão entre a quantidade física de output em relação a uma ou mais categoria de quantidades de input, utilizada no processo produtivo usualmente expressa em termos de índices.

**Produtividade Global** é a razão entre o output real bruto e as correspondentes combinações de input: trabalho, capital e produtos intermediários adquiridos externamente à indústria ou à empresa.

**Fator Global de Produtividade** é a razão entre o produto real gerado na economia, na indústria ou na empresa pelo soma dos inputs de trabalho e capital a ela associados.

ano	consumo	PIB	População	IU	PIB per capita
1950	6.8	30694	52.18	0.22154	588.23
1951	11.3	33183	53.68	0.34054	618.16
1952	7.0	34067	55.1	0.20548	618.28
1953	8.6	34931	56.74	0.24620	615.63
1954	16.7	38461	58.44	0.43421	658.13
1955	8.2	41099	60.18	0.19952	682.93
1956	19.0	42405	61.98	0.44806	684.17
1957	21.6	45824	63.83	0.47137	717.91
1958	26.0	49961	65.74	0.52041	759.98
1959	27.0	54847	67.7	0.49228	810.15
1960	33.0	60211	69.72	0.54807	863.61
1961	36.8	66399	71.94	0.55423	922.98
1962	41.2	69856	74.17	0.58978	941.84
1963	46.7	70469	76.53	0.66270	920.80
1964	45.1	72922	78.73	0.61847	926.23
1965	51.6	75152	81.01	0.68661	927.69
1966	72.1	78274	82.93	0.92112	943.86
1967	78.0	82121	85.24	0.94982	963.41
1968	80.5	91487	87.62	0.87991	1044.13
1969	84.0	100407	90.07	0.83660	1114.77
1970	83.5	109328	92.52	0.76376	1181.67
1971	103.3	122485	95.17	0.84337	1287.01
1972	137.8	136088	97.85	1.01258	1390.78
1973	157.6	154542	99.92	1.01979	1546.66
1974	185.2	169539	102.4	1.09237	1655.65
1975	205.0	178738	104.94	1.14693	1703.24
1976	215.5	196132	107.54	1.09875	1823.81
1977	229.5	207394	110.21	1.10659	1881.81
1978	236.5	217763	112.94	1.08604	1928.13
1979	257.1	231701	115.74	1.10962	2001.91
1980	284.9	248370	121.27	1.14708	2048.07
1981	261.7	244524	124.02	1.07024	1971.65
1982	281.9	246865	126.81	1.14192	1946.73
1983	270.6	239004	129.66	1.13220	1843.31
1984	294.8	249759	132.58	1.18034	1883.84
1985	347.5	271291	135.56	1.28091	2001.26
1986	423.7	293487	138.49	1.44368	2119.19
1987	430.3	297889	141.45	1.44450	2105.97

Consumo: 1000 toneladas métricas

fonte: METALLGESELLSCHAFT (diversos anos)

PIB: valores constantes expressos em milhares de dólares de 1980

População: milhares de habitantes

fonte: ECLA/UN(diversos anos), IMF(1988), WORLD BANK(1987)

IU= Intensidade de Uso : tonelada consumida/milhares US\$ PIB

**ANEXO B - PREÇOS MÉDIOS LME (LONDON METAL EXCHANGE)**  
(valores em US\$/tonelada métrica)

127

ANO	Alumínio corrente	Cobre corrente	Óleo corrente	Deflator	Alumínio constante	Cobre constante
1950	313.60	492.54	2.51	23.2	1351.72	2123.02
1951	339.43	603.20	2.53	25.8	1315.62	2337.98
1952	430.72	716.96	2.53	25.8	1669.46	2778.91
1953	433.47	694.77	2.68	26.6	1629.59	2611.92
1954	431.09	686.95	2.78	26.8	1608.54	2563.25
1955	458.66	965.16	2.77	28.6	1603.71	3374.69
1956	523.55	904.74	2.79	31.2	1678.04	2899.81
1957	541.40	603.21	3.09	31.8	1702.52	1896.89
1958	509.32	545.62	3.01	31.6	1611.77	1726.65
1959	498.10	657.02	2.90	32.2	1546.89	2040.43
1960	511.47	677.69	2.88	32.2	1588.42	2104.63
1961	511.47	634.26	2.89	32.1	1593.36	1975.89
1962	498.02	645.51	2.90	31.8	1566.10	2029.91
1963	498.91	646.39	2.89	31.9	1563.98	2026.30
1964	526.02	969.80	2.88	32.7	1608.62	2965.75
1965	540.13	1281.09	2.86	33.7	1602.76	3801.45
1966	540.13	1528.23	2.88	34.5	1565.59	4429.65
1967	540.13	1123.24	2.92	34.9	1547.65	3218.45
1968	552.91	1237.88	2.94	35.8	1544.44	3457.77
1969	579.59	1464.74	3.09	37.9	1529.26	3864.75
1970	614.20	1411.83	3.18	40.7	1509.09	3468.87
1971	627.87	1080.69	3.39	41.5	1512.94	2604.07
1972	590.17	1070.99	3.39	43.1	1369.30	2484.90
1973	599.21	1776.47	3.89	46.3	1294.19	3836.87
1974	764.78	2055.35	6.74	60	1274.63	3425.58
1975	868.39	1236.78	7.56	64.7	1342.18	1911.56
1976	890.00	1403.01	8.14	68.4	1301.17	2051.18
1977	1143.75	1309.75	8.57	72.9	1568.93	1796.64
1978	1324.96	1365.09	8.96	79.3	1670.82	1721.42
1979	1602.74	1972.90	12.51	90.5	1770.98	2180.00
1980	1774.92	2185.20	21.59	100	1774.92	2185.20
1981	1262.79	1742.74	31.77	104.8	1204.95	1662.92
1982	991.63	1481.71	28.52	105.3	941.72	1407.13
1983	1438.50	1592.38	26.19	107.2	1341.88	1485.43
1984	1251.55	1376.99	25.88	110.3	1134.68	1248.40
1985	1040.79	1417.34	24.09	109.9	947.03	1289.66
1986	1149.70	1369.72	12.51	108.6	1058.66	1261.25
1987	1565.05	1781.10	15.41	112.7	1388.69	1580.39

Fonte: Engineering and Min. Journal, Metallgesellschaft, IMF(1988)

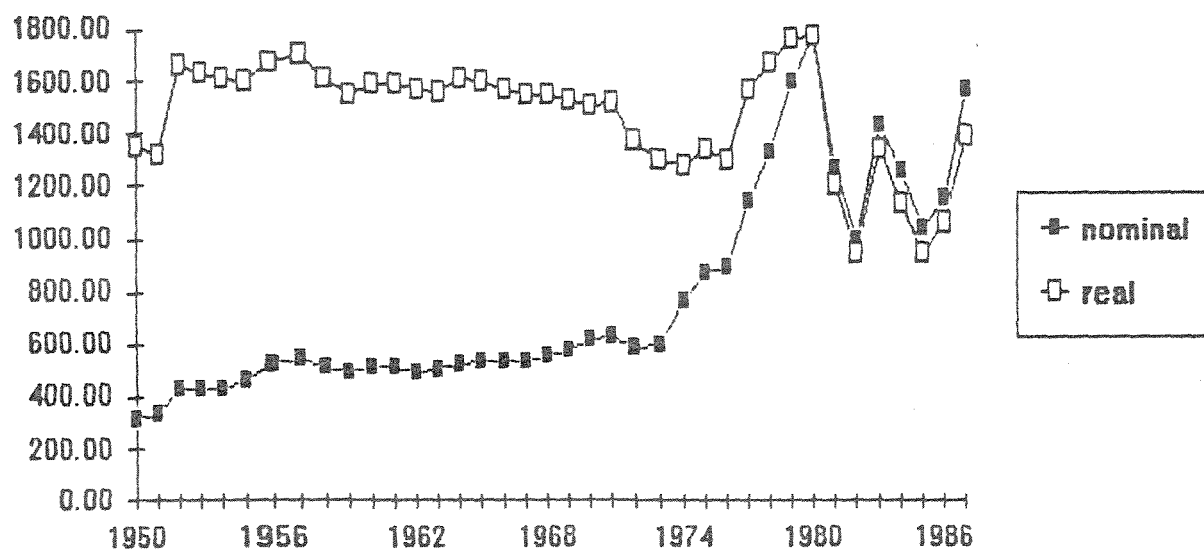
Deflator 1980=100, implicit prices index for metals

fonte: Department of Commerce, 1988

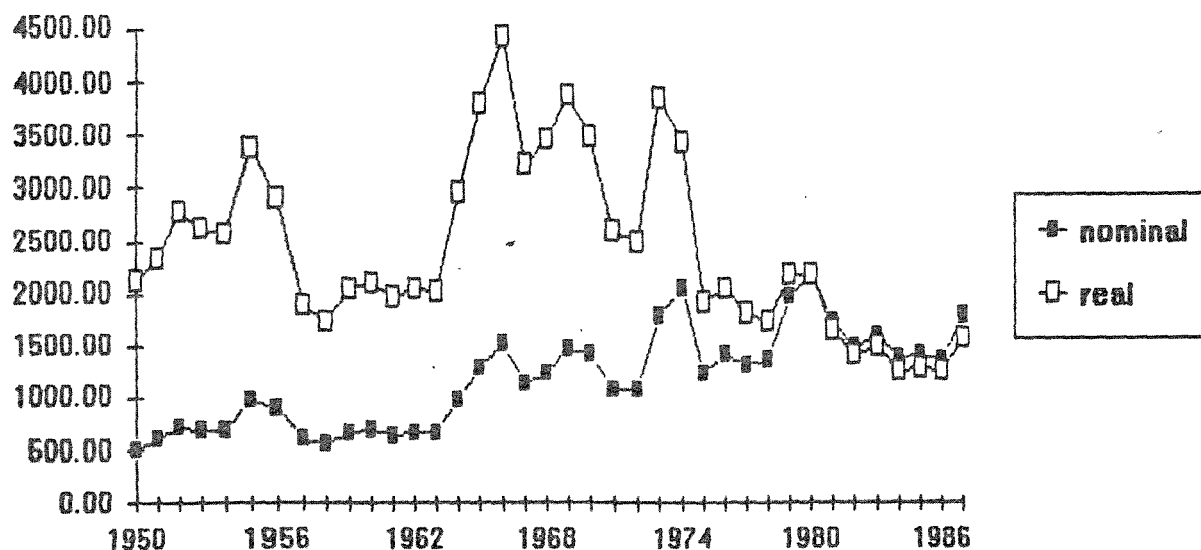
Preço do óleo baseado no barril US c/ 42 galoes

Fonte: Basic Petroleum Data Book, Petroleum Industry Statistics(1988)

**Preços de Alumínio em US\$/tonelada**  
valores corrigidos p/ US\$ constante - 1980



**Preços Médios de Cobre (LME) expressos em US\$/tonelada**  
valores constantes em US\$ 1980

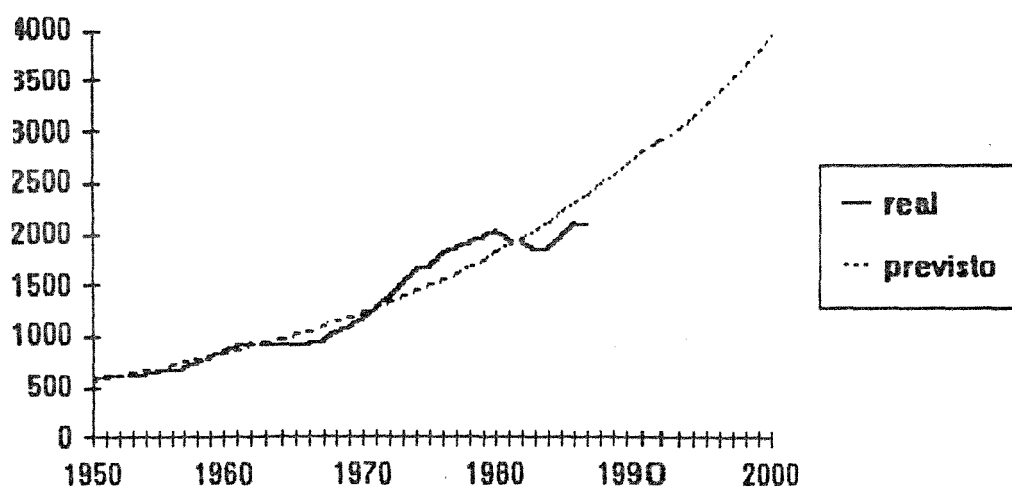




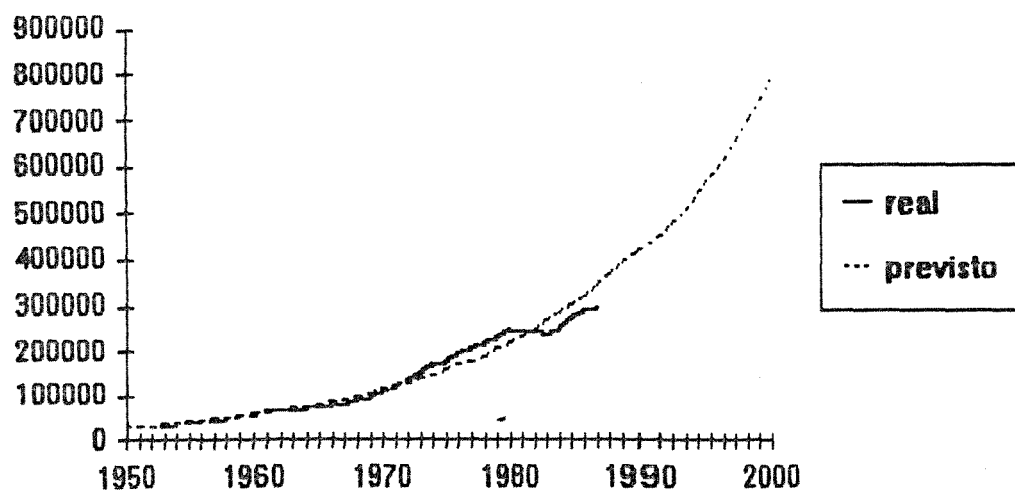
	real	previsto		real	previsto
1950	30694	31151.22	52.18	588.23	571.82
1951	33183	33241.24	53.68	618.16	594.50
1952	34067	35471.49	55.10	618.28	617.98
1953	34931	37851.37	56.74	615.63	642.38
1954	38461	40390.93	58.44	658.13	667.75
1955	41099	43100.87	60.18	682.93	694.12
1956	42405	45992.63	61.98	684.17	721.53
1957	45824	49078.40	63.83	717.91	750.02
1958	49961	52371.21	65.74	759.98	779.63
1959	54847	55884.94	67.70	810.15	810.42
1960	60211	59634.41	69.72	863.61	842.42
1961	66399	63635.45	71.94	922.98	875.69
1962	69856	67904.94	74.17	941.84	910.27
1963	70469	72460.87	76.53	920.80	946.21
1964	72922	77322.47	78.73	926.23	983.58
1965	75152	82510.25	81.01	927.69	1022.41
1966	78274	88046.09	82.93	943.86	1062.79
1967	82121	93953.35	85.24	963.41	1104.76
1968	91487	100256.95	87.62	1044.13	1148.38
1969	100407	106983.47	90.07	1114.77	1193.73
1970	109328	114161.29	92.52	1181.67	1240.86
1971	122485	121820.69	95.17	1287.01	1289.86
1972	136088	129993.98	97.85	1390.78	1340.80
1973	154542	138715.64	99.92	1546.66	1393.74
1974	169539	148022.46	102.40	1655.65	1448.78
1975	178738	157953.70	104.94	1703.24	1505.99
1976	196132	168551.25	107.54	1823.81	1565.46
1977	207394	179859.83	110.21	1881.81	1627.27
1978	217763	191927.13	112.94	1928.13	1691.53
1979	231701	204804.06	115.74	2001.91	1758.33
1980	248370	218544.94	121.27	2048.07	1827.76
1981	244524	233207.73	124.02	1971.65	1899.93
1982	246865	248854.29	126.81	1946.73	1974.96
1983	239004	265550.62	129.66	1843.31	2052.94
1984	249759	283367.15	132.58	1883.84	2134.01
1985	271291	302379.05	135.56	2001.26	2218.28
1986	293487	322666.50	138.49	2119.19	2305.87
1987	297889	344315.10	141.45	2105.97	2396.93
1988		367416.17			2491.58
1989		392067.15			2589.97
1990		418372.03			2692.24
1991		446441.78			2798.55
1992		476394.81			2909.06
1993		506357.47			3023.93
1994		542464.59			3143.34
1995		578860.06			3267.46
1996		617697.40			3396.49
1997		659140.45			3530.61
1998		703364.03			3670.02
1999		750554.69			3814.95
2000		800911.51			3965.59

nte:IMF(88).ECLA/UN(diversos numeros)

Ajuste do PIB per capita pelo Modelo Exponencial



Ajuste do PIB pelo Modelo Exponencial



## PROGRAM CA

\$DEBUG

C

C

C

C

PROGRAM CARDMA1 FOR IBM-PC COMPATIBLE 5/8/89

INTEGER CUM,PTMA,PTMB

REAL CDATA(300),LDATA(3000)

C DIMENSION A(300),B(300),RLBBSA(300)

INTEGER CUM,IOS,IVIR,LOGIS,IVIRG

CHARACTER INP\*20, OUT\*20

C DIMENSION RLB(300),BBYA(300),RLBBYA(300)

COMMON A(300),B(300),BBYA(300),RLB(300),

1RLBBYA(300),RLBBSA(300)

COMMON T(300),DATA(300),NUMBER

C COMMON A,B,BBYA,RLB,RLBBYA,RLBBSA,T,DATA,NUMBER

WRITE (\*,'(A)') ' Enter Input File Name ='

READ (\*,'(A)') INP

WRITE (\*,'(A)') ' Enter Output File Name ='

READ (\*,'(A)') OUT

OPEN(5,FILE=INP,STATUS='OLD')

OPEN(6,FILE=OUT,STATUS='NEW')

ICTR=0

1 WRITE (\*,'(A)') 'Enter (0) for not cumulated data(1)other='

READ (\*,\*) CUM

IF ((CUM.NE.0).AND.(CUM.NE.1)) GOTO 1

WRITE (\*,'(A)') 'Beginning order movingaverage(oddnumber)='

READ (\*,\*) PTMA

WRITE (\*,'(A)') ' Ending order for moving average ='

READ (\*,\*) PTMB

WRITE (\*,'(A)') 'Enter (1) logtransformation (0)otherwise

='

READ (\*,\*) LOGIS

WRITE (\*,'(A)') 'Enter (1) TO SAVE WITH CSV (0)otherwise

='

READ (\*,\*) IVIRG

I=1

12 READ(5,\*,IOSTAT=IOS) DATA(I)

IF(IOS.LT.0) GOTQ 13

I=I+1

GOTO 12

13 NUMBER=I-1

C=====

IF(LOGIS.EQ.0) GOTO 7001

DO 7010 I=1,NUMBER

7010 DATA(I)=LOG(DATA(I))

C GOTO 7001

C 7000 DO 7040 I=1,NUMBER

C 7040 DATA(I)=LDATA(I)

ICTR=1

7001 IF(CUM.EQ.0) GO TO 251

```
7001 IF(CUM.EQ.0) GO TO 251
      CDATA(1)=DATA(1)
      DO 56 I1=2,NUMBER
        J1=I1-1
        CDATA(I1)=CDATA(J1)+DATA(I1)
56    CONTINUE
      DO 57 I=1,NUMBER
        DATA(I)=CDATA(I)
57    CONTINUE
251   CONTINUE
      KCON=1
      DO 20 I=PTMA,PTMB,2
        DO 250 JN=1,NUMBER
          A(JN)=0.0
          B(JN)=0.0
          RLBSA(JN)=0.0
          RLB(JN)=0.0
          BBYA(JN)=0.0
          RLBBYA(JN)=0.0
          T(JN)=0.0
250   CONTINUE
      MA=I
      IDIV=(MA/2)+1
      T(IDIV)=0
      IF=IDIV+1
      NP=1
      DO 30 IJ=IF,MA
        J=IJ
        T(J)=NP
        NP=NP+1
30    CONTINUE
      NPP=-1
      IFF=IDIV-1
      JJ=IFF
      DO 40 IK=1,IFF
        T(JJ)=NPP
        JJ=JJ-1
        NPP=NPP-1
40    CONTINUE
      SUM1=0.
      SUM2=0.
      SUM3=0.
      DO 50 NT=1,MA
        SUM1=SUM1+(T(NT)**2)
        SUM2=SUM2+DATA(NT)
        SUM3=SUM3+(DATA(NT)*T(NT))
99    FORMAT(10X,'SUM1 = ',F10.0,'SUM2=',F10.0,'SUM3=',F10.0)
50    CONTINUE
C      WRITE(6,99) SUM1,SUM2,SUM3
C      A(1)=0.00
C      B(1)=0.00
```

```

C      RLB(1)=0.0
C      BBYA(1)=0.0
C      RLBBYA(1)=0.0
C      RLBSA(1)=0.0
      I5=MA-KCON
      A(I5)=SUM2/MA
      B(I5)=(SUM3/SUM1)
      BBYA(I5)=B(I5)/A(I5)
      IF(B(I5).LT.0.) THEN
          RLB(I5)=0.0
          RLBBYA(I5)=0.0
          RLBSA(I5)=0.0
      ELSE
          RLB(I5)=ALOG(B(I5))
          RLBBYA(I5)=ALOG(BBYA(I5))
          RLBSA(I5)=ALOG(B(I5)/(A(I5)**2))
      END IF
105      KP=NUMBER-KCON
      ISTAR=2
      IEND=MA+1
C      WRITE (6,66) A(2),B(2),KP,IEND
66      FORMAT (20X,'A(2),B(2),KP,IEND = ',2F10.5,2I10)
      I6=I5+1
      DO 60 IN=I6,KP
C      WRITE (6,67) ISTAR,IEND
67      FORMAT (10X,'ISTAR = ',I10,'IEND = ',I10)
      SUM2=0.
      SUM3=0.
      J2=1
      DO 70 J1=ISTAR,IEND
          SUM2=SUM2+DATA(J1)
          SUM3=SUM3+(DATA(J1)*T(J2))
          J2=J2+1
70      CONTINUE
C      WRITE (6,98) SUM1,SUM2,SUM3
98      FORMAT (15X,'SUMS 1,2,3 = ',3F10.0)
      A(IN)=SUM2/MA
      B(IN)=(SUM3/SUM1)
      BBYA(IN)=B(IN)/A(IN)
      IF(B(IN).LE.0.) THEN
          RLB(IN)=0.0
          RLBBYA(IN)=0.0
          RLBSA(IN)=0.0
      ELSE
          RLB(IN)=ALOG(B(IN))
          RLBBYA(IN)=ALOG(BBYA(IN))
          RLBSA(IN)=ALOG(B(IN)/(A(IN)**2))
      END IF
.06      ISTAR=ISTAR+1
      IEND=IEND+1
.0      CONTINUE

```

```

C=====
      IF(ICTR) 7051,7051,7052
7051  WRITE(6,2) MA
      GOTO 7055
7052  WRITE(6,7053) MA
7055  WRITE(6,7054)
2     FORMAT (////////1H1,10X,'MOVING AVERAGE FOR PERIODS OF',
$2X,I5/)
7053  FORMAT(////////1H1,10X,'MOVING AVERAGE FOR PERIODS',
$ 'OF',2X,I5,&' FOR LOGARITHM OF THE DATA'/)
7054  FORMAT(1X,'*****'////////
*1X,'TIME',6X,'DATA',9X,'A',9X,'B',8X,'B\A',
&5X,'LOG(B)',3X,
*'LOG(B/A)', ' LG(B/A**2)'//'*****',
&'*****',
&9(1H*)//)
      ILIM=NUMBER-1
      IF(IVIRG.EQ.1) GOTO 9990
      DO 80 I3=1,NUMBER
          WRITE(6,3) I3,DATA(I3),A(I3),B(I3),BBYA(I3),RLB(I3),
          RLBBYA(I3),RLBBSA(I3)
3     FORMAT (1X,I4,F10.1,2(1X,F9.3),4(1X,F10.4))
2     *3X,E12.5)
30    CONTINUE
      GOTO 9992
9990  CONTINUE
      DO 85 I3=1,NUMBER
WRITE(6,4) I3,DATA(I3),A(I3),B(I3),BBYA(I3),RLB(I3),
*RLBBYA(I3),RLBBSA(I3)
1     FORMAT (I4,' ',F10.1,' ',2(F9.3,' '),4(F10.4,' '))
15    CONTINUE
9992  KCON=KCON+1
:     CALL ONE
10    CONTINUE
:=====
:     IF(ICTR.EQ.1) GOTO 9999
:     IF(LOGIS.EQ.1) GOTO 7000
9999  STOP
      END

```

```
=====
PROGRAM ADJUSTED FOR IBM-PC
AUGUST, 17, 1989
```

```
DIMENSION A(60),Q(30),M(60),H(20,120),G(30),D(30),P(30),
1      W1(30),W2(30),YF(80)
REAL M,MSUM,IG
INTEGER Z,W,CUM,IOS
CHARACTER*20 DAT,OUT,TABLE(13),TB
=====
```

```
TABLE(6)='GOMES6.'
TABLE(7)='GOMES7.'
TABLE(8)='GOMES8.'
TABLE(9)='GOMES9.'
TABLE(11)='GOME11.'
TABLE(13)='GOME13.'
WRITE(*,'(A)') ' ENTER INPUT DATA FILE NAME ='
READ(*,'(A)') DAT
WRITE(*,'(A)') ' ENTER OUTPUT DATA FILE NAME='
READ(*,'(A)') OUT
IN=5
IOUT=3
IT=7
OPEN(5,FILE=DAT,STATUS='OLD')
OPEN(IOUT,FILE=OUT,STATUS='UNKNOWN')
```

```
-----
WRITE(*,'(A)') ' MODEL: 0=EXPONENTIAL    1=GOMPERTZ
=LOGISTIC'
READ(*,*)Z
WRITE(*,'(A)') ' 0=UNGROUPED DATA(small)    1=GROUPED
ATA(LARGE)'
READ(*,*)W
WRITE(*,'(A)') 'ENTER(0) FOR NOT CUMULATED DATA(1) OTHERWISE'
READ(*,*)CUM
I=1
12 READ(5,*,IOSTAT=IOS) A(I)
IF(IOS.LT.0) GOTO13
I=I+1
GOTO 12
13 N=I-1
IF(CUM.NE.1) GOTO 2
DO 3 I=1,N
3      A(I)=A(I)+A(I-1)
TRANSFORM DATA IF NECESSARY
2      IF(Z.EQ.0) GO TO 101
IF(Z.EQ.1) GO TO 5
IF(Z.EQ.2) GO TO 7
5      DO 6 I=1,N
A(I)=LOG(A(I))
```

```
6  CONTINUE
   GO TO 101
7  DO 8 I=1,N
   A(I)=1/A(I)
8  CONTINUE
C  CALCULATION OF R,S,T
C  CALCULATION OF R
101 RSUM=0.0
   DO 10 I=1,5
   RSUM=RSUM+A(I)
10  CONTINUE
   R=RSUM/5.0
C  CALCULATION OF T
   TSUM=0.0
   DO 15 I=N,N-4,-1
   TSUM=TSUM+A(I)
15  CONTINUE
   T=TSUM/5.0
C  CALCULATION OF S
   L=N/2
   NC=L*2
   IF(NC.EQ.N) GO TO 16
   S=(A(L-2)+A(L-1)+A(L)+A(L+1)+A(L+2)+A(L+3))/6.0
16  S=(A(L-1)+A(L)+A(L+1)+A(L+2)+A(L+3))/5.0
C  CALCULATION OF SA,SB,SR
C  CALCULATION OF SR
   V1=(T-S)/(S-R)
   V7=(N-5)*.5
   SR=V1**(1/V7)
C  CALCULATION OF SA
   V2=S**2-(T*R)
   V3=2*S-T-R
   SA=V2/V3
C  CALCULATION OF SB
   V4=5/(SR+SR**2+SR**3+SR**4+SR**5)
   V5=(S-R)**2
   V6=V5/V3
   SB=V4*V6
   SR=SR*100
C  SEE WHETHER N>13,IF SO DISCARD SOME DATA POINTS
   IF(N.GE.52) THEN
       NRJCT=N-52
       NDIV=4
   ELSE IF(N.GE.44) THEN
       NRJCT=N-44
       NDIV=4
   ELSE IF(N.GE.39) THEN
       NRJCT=N-39
       NDIV=3
   ELSE IF(N.GE.33) THEN
       NRJCT=N-33
```



```
        NDIV=3
        ELSE IF (N.GE.26) THEN
            NRJCT=N-26
            NDIV=2
        ELSE IF (N.GE.22) THEN
            NRJCT=N-22
            NDIV=2
        ELSE IF (N.GE.18) THEN
            NRJCT=N-18
            NDIV=2
        ELSE IF (N.GE.16) THEN
            NRJCT=N-16
            NDIV=2
        ELSE IF (N.GE.13) THEN
            NRJCT=N-13
            NDIV=1
        ELSE IF (N.EQ.12) THEN
            NRJCT=1
            NDIV=1
        ELSE IF (N.EQ.10) THEN
            NRJCT=1
            NDIV=1
        ELSE
            NRJCT=0
            NDIV=1
        END IF
C      NOW GROUP THE DATA
        IF (NDIV.EQ.4) GO TO 19
        IF (NDIV.EQ.3) GO TO 23
        IF (NDIV.EQ.2) GO TO 27
        IF (NDIV.EQ.1) GO TO 31
19      NSTART=NRJCT+1
        MSUM=0.0
        JJ=0
        DO 21 I=NSTART,N,4
            JJ=JJ+1
            M(JJ)=(A(I)+A(I+1)+A(I+2)+A(I+3))/4
            MSUM=MSUM+M(JJ)
21      CONTINUE
        NN=JJ
        GO TO 34
23      NSTART=NRJCT+1
        MSUM=0.0
        JJ=0
        DO 25 I=NSTART,N,3
            JJ=JJ+1
            M(JJ)=(A(I)+A(I+1)+A(I+2))/3
            MSUM=MSUM+M(JJ)
25      CONTINUE
        NN=JJ
        GO TO 34
```

```
27  NSTART=NRJCT+1
    MSUM=0.0
    JJ=0
    DO 29 I=NSTART,N,2
    JJ=JJ+1
    M(JJ)=(A(I)+A(I+1))/2
    MSUM=MSUM+M(JJ)
29  CONTINUE
    NN=JJ
    GO TO 34
31  NSTART=NRJCT+1
    MSUM=0.0
    JJ=0
    DO 33 I=NSTART,N
    JJ=JJ+1
    M(JJ)=A(I)
    MSUM=MSUM+M(JJ)
33  CONTINUE
    NN=JJ
    CALCULATION OF W1,W2 AND NEW r (RN)
34  TB=TABLE(NN)
    NNN=NN
    IF(NN.EQ.11) NNN=1
    IF(NN.EQ.13) NNN=2
    OPEN(UNIT=NNN,FILE=TB,ACCESS='SEQUENTIAL',STATUS='OLD')
    NP1=NN+1
    READ(NNN,*) ((H(J,I),J=1,NP1),I=1,101)
    DO 39 I=1,101
    IRC=SR
    IRT=H(1,I)*100
    IF(IRT.LT.IRC) GO TO 39
    IF(IRT.GE.IRC) GO TO 41
39  CONTINUE
41  IFOUND=I
    GO TO 59
59  W1SUM=0.0
    W2SUM=0.0
    DO 60 JJ=1,NN
    W1(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,IFOUND)
    W1SUM=W1SUM+W1(JJ)
60  CONTINUE
    IF(Z.NE.2) GO TO 71
    IF(W1SUM.LT.0) GO TO 66
    DO 61 I=IFOUND-1,1,-1
    W1SUM=0.0
    DO 62 JJ=1,NN
    W1(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I)
    W1SUM=W1SUM+W1(JJ)
62  CONTINUE
    IF(W1SUM.LT.0) GO TO 64
61  CONTINUE
```

```
64 DO 65 JJ=1,NN
   W2(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I+1)
   W2SUM=W2SUM+W2(JJ)
65 CONTINUE
   ERR=W1SUM*W2SUM
   IF(ERR.NE.0) GOTO 201
   WRITE(*,202)
202 FORMAT(//' *** WARNING : Program has been stopped !'/
   &16X,'Check data to make sure that the data set is
satisfied.')
   GOTO 9999
201 RN=H(1,I)+((.01)*(W1SUM/(W1SUM-W2SUM)))
   GO TO 81
66 DO 67 I=IFOUND+1,101
   W2SUM=0.0
   DO 68 JJ=1,NN
   W2(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I)
   W2SUM=W2SUM+W2(JJ)
68 CONTINUE
   IF(W2SUM.GT.0) GO TO 69
   IF(I.EQ.101) GO TO 69
67 CONTINUE
69 W1SUM=0.0
   DO 70 JJ=1,NN
   W1(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I-1)
   W1SUM=W1SUM+W1(JJ)
70 CONTINUE
   ERR=W1SUM*W2SUM
   IF(ERR.NE.0) GOTO 203
   WRITE(*,202)
   GOTO 9999
203 RN=H(1,I-1)+((.01)*(W1SUM/(W1SUM-W2SUM)))
   GO TO 81
71 IF(W1SUM.LT.0) GO TO 76
   DO 72 I=IFOUND+1,101
   DO 73 JJ=1,NN
   W2(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I)
   W2SUM=W2SUM+W2(JJ)
73 CONTINUE
   IF(W2SUM.LT.0) GO TO 74
   IF(I.EQ.101) GO TO 74
72 CONTINUE
74 W1SUM=0.0
   DO 75 JJ=1,NN
   W1(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I-1)
   W1SUM=W1SUM+W1(JJ)
75 CONTINUE
   ERR=W1SUM*W2SUM
   IF(ERR.NE.0) GOTO 204
   WRITE(*,202)
   GOTO 9999
```

```
204      RN=H(1,I-1)+((.01)*(W1SUM/(W1SUM-W2SUM)))
      GO TO 81
76      DO 77 I=IFOUND-1,1,-1
      W1SUM=0.0
      DO 78 JJ=1,NN
      W1(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I)
      W1SUM=W1SUM+W1(JJ)
78      CONTINUE
      IF(W1SUM.GT.0) GO TO 79
77      CONTINUE
79      DO 80 JJ=1,NN
      W2(JJ)=M(JJ)*H(JJ+1,I+1)
      W2SUM=W2SUM+W2(JJ)
80      CONTINUE
      ERR=W1SUM*W2SUM
      IF(ERR.NE.0) GOTO 205
      WRITE(*,202)
      GOTO 9999
205      RN=H(1,I)+((.01)*(W1SUM/(W1SUM-W2SUM)))
C      CALCULATE NEW VALUES OF SA,SB
C      CALCULATE Pnt FOR t=1 tp t=N
C      FIRST CALCULATE Pn n
81      KL=NN/2
      NC1=KL*2
      PnSUM=1.0
      IF(NC1.NE.NN)GO TO 86
      DO 87 I=1,NN-2
      RNU=RN**I
      PnSUM=PnSUM+RNU
87      CONTINUE
      GO TO 91
86      DO 90 I=2,NN-3,2
      RNU=RN**I
      PnSUM=PnSUM+RNU
90      CONTINUE
C      CALCULATION OF (RN)t-1 FOR t=1 to t=N
91      RTSUM=0.0
      J1=0
      DO 95 I=1,NN
      J1=J1+1
      D(J1)=RN**(I-1)
      RTSUM=RTSUM+D(J1)
95      CONTINUE
C      CALCULATE OTHER ELEMENTS OF Pnt
      IF(NC1.NE.NN) GO TO 102
      PNTSUM=PNSUM
      G(NN)=PNSUM
      DO 100 J=NN-1,1,-1
      G(J)=G(J+1)-(D(J+1)+D(J))
      PNTSUM=PNTSUM+G(J)
100     CONTINUE
```

```

      GO TO 200
102  PNTSUM=PNSUM
      G(NN)=PNSUM
      DO 110 J=NN-1,1,-1
      G(J)=G(J+1)-D(J)
      PNTSUM=PNTSUM+G(J)
110  CONTINUE
C    CALCULATE M(JJ)*PNT AND SUM
200  ESMQP=0.0
      DO 125 J=1,NN
      EX=M(J)*G(J)
      ESMQP=ESMQP+EX
125  CONTINUE
C    CALCULATION OF FINAL ESTIMATES OF a,b
      a2=ESMQP/PntSUM
      ERR=W1SUM*W2SUM
      IF(ERR.NE.0) GOTO 206
      WRITE(*,212)
212  FORMAT(//' *** WARNING : Program has been stopped !'/
      & 16X,'Check data to make sure that the data set is
satisfied. '/
      & 10X,' (LABEL 125, RTSUM*RN=0)?')
      GOTO 9999
206  IF(N.GT.13) GO TO 126
      B2=((NN*A2)-MSUM)/(RTSUM*RN)
      R5=RN
      GO TO 128
126  B2=((NN*A2)-MSUM)/(RTSUM*RN)
      IG=NDIV
      AM=0.0
      XL=1/IG
      R5=RN**XL
      DO 127 I=1,IG
      RT=R5**I
      AM=AM+RT
127  CONTINUE
      B2=(IG*B2*R5**IG)/AM
C    FITTING AND FORECASTING
128  IF(Z.EQ.0) GO TO 409
      IF(Z.EQ.1) GO TO 400
      IF(Z.EQ.2) GO TO 413
400  IF(W.EQ.0) GO TO 700
      MN=N-NRJCT+15
      DO 402 J=1,MN
      YF(J)=(A2-(B2*R5**J))
      YF(J)=EXP(YF(J))
402  CONTINUE
      GO TO 500
700  DO 702 J=1,N+15
      YF(J)=(A2-(B2*R5**J))
      YF(J)=EXP(YF(J))

```

```
702 CONTINUE
GO TO 500
409 IF(W.EQ.0) GO TO 900
MN=N-NRJCT+15
DO 411 J=1,MN
YF(J)=(A2-(B2*R5**J))
411 CONTINUE
GO TO 500
900 DO 902 J=1,N+15
YF(J)=(A2-(B2*R5**J))
902 CONTINUE
GO TO 500
413 IF(W.EQ.0) GO TO 910
MN=N-NRJCT+15
DO 415 J=1,MN
YF(J)=1/(A2-(B2*(R5**J)))
415 CONTINUE
GO TO 500
910 DO 912 J=1,N+15
YF(J)=1/(A2-(B2*R5**J))
912 CONTINUE
500 IF(Z.EQ.0) GO TO 473
IF(Z.EQ.1) GO TO 460
IF(Z.EQ.2) GO TO 470
460 DO 462 I=NSTART,N
A(I)=EXP(A(I))
462 CONTINUE
GO TO 473
470 DO 472 I=NSTART,N
A(I)=1/A(I)
472 CONTINUE
473 WRITE(IOUT,490)
490 FORMAT(' ','ORIGINAL DATA',20X,'FITTED DATA'//)
DO 520 I=1,N-NRJCT
520 WRITE(IOUT,510) A(I+NRJCT),YF(I)
MN=N-NRJCT+15
LJ=N-NRJCT+1
510 FORMAT(2X,F17.4,15X,F17.4)
WRITE(IOUT,133)
133 FORMAT('//23X,' FORECASTING FOR NEXT 15 PERIODS'//)
DO 530 I=LJ,MN
530 WRITE(IOUT,531) YF(I)
531 FORMAT(27X,F17.4)
WRITE(IOUT,130) A2,B2,R5
130 FORMAT(' ','EQUATION PARAMETERS'//' ','A=',
1 E15.6,2X,'B=',E15.6,2X,'R=',E15.6)
9999 STOP
END
```

## PROGRAM SLOPE

PROGRAM FOR COMPUTED SLOPE OF FACTOR SCORES  
ADJUSTED FOR IBM-PC SEPTEMBER, 22, 1989

DIMENSION D(150), Y(150), P(150), SP(150), DH(150),  
ODLDH(150),  
1 YH(150), PH(150), SPH(150), YF(150), SPF(150),  
2 PF(150), DDH(150)  
INTEGER IOS  
CHARACTER INP\*20, OUT\*20  
DIMENSION Z1(100), Z2(100), Z3(100), Z4(100), DB(100)

## SLOPE COMPUTATION PROGRAM

INTEGER XX  
WRITE(\*, '(A)') ' ENTER INPUT FILENAME ='  
READ(\*, '(A)') INP  
WRITE(\*, '(A)') ' ENTER OUTPUT FILENAME ='  
READ(\*, '(A)') OUT  
OPEN(5, FILE=INP, STATUS='OLD')  
OPEN(3, FILE=OUT, STATUS='NEW')

N= NUMBER OF DATA POINTS  
JK= DATA WINDOW FOR MOVING AVERAGE

WRITE (\*, '(A)') ' ENTER DATA WINDOW FOR MOVING AVERAGE (odd) '  
READ(\*, \*) JK

I=1

12 READ(5, \*, IOSTAT=IOS) D(I), Y(I), P(I), SP(I)  
IF(IOS.LT.0) GOTO11  
I=I+1  
GOTO12  
11 N=I-1

## COMPUTATION OF DHAT, YHAT, PHAT, SPHAT

DO 15 I=1, N-JK+1  
DSUM=0.0  
YSUM=0.0  
PSUM=0.0  
SPSUM=0.0  
DYS=0.0  
DPS=0.0  
DSPS=0.0  
SUMY=0.0  
SUMP=0.0  
SUMSP=0.0

```

      DHSUM=0.0
      DO 13 IJ=0,JK-1
      DSUM=DSUM+D(I+IJ)
      YSUM=YSUM+Y(I+IJ)
      PSUM=PSUM+P(I+IJ)
      SPSUM=SPSUM+SP(I+IJ)
13  CONTINUE
      DB(I)=DSUM/JK
      YB=YSUM/JK
      PB=PSUM/JK
      SPB=SPSUM/JK
      XX=0
      DO 14 II=0,JK-1
      XX=XX+1
      DH(XX)=D(I+II)-DB(I)
      YH(XX)=Y(I+II)-YB
      PH(XX)=P(I+II)-PB
      SPH(XX)=SP(I+II)-SPB
14  CONTINUE
      DO 18 ID=1,JK
      DYS=DYS+DH(ID)*YH(ID)
      DPS=DPS+DH(ID)*PH(ID)
      DSPS=DSPS+DH(ID)*SPH(ID)
      SUMY=SUMY+YH(ID)**2
      SUMP=SUMP+PH(ID)**2
      SUMSP=SUMSP+SPH(ID)**2
18  CONTINUE
      YF(I)=DYS/SUMY
      PF(I)=DPS/SUMP
      SPF(I)=DSPS/SUMSP
15  CONTINUE
      IA=(JK-1)/2
      DO 50 IJ=1,N-JK+1
      Z1(IJ)=YF(IJ)*Y(IJ+IA)
      Z2(IJ)=PF(IJ)*P(IJ+IA)
      Z3(IJ)=SPF(IJ)*SP(IJ+IA)
50  CONTINUE
      DO 53 IK=1,N-JK+1
      Z4(IK)=Z1(IK)+Z2(IK)+Z3(IK)
53  CONTINUE
      DO 54 JM=1,N-JK+1
      DLDH(JM)=DB(JM)-Z4(JM)
54  CONTINUE

```

PRINTOUT OF SLOPE CHARACTERISTICS WHICH WILL BE USING  
FOR CALCULATING TIME VARYING CHARACTERISTICS

```

      WRITE(3,25)
25  FORMAT(18X,'DD',16X,'DD/DF1',12X,'DD/DF2',12X,'DD/DF3')
      DO 30 JJ=1,N-JK+1

```



```
      WRITE(3,35)JJ,DLDH(JJ),YF(JJ),PF(JJ),SPF(JJ)
35  FORMAT(I6,' ',4(F16.6,' '))
30  CONTINUE
      WRITE(3,31)
31  FORMAT(///13X,'(DD/DF1)*F1 ',7X,'(DD/DF2)*F2 ',
17X,'(DD/DF3)*F3 ')
      DO 32 K=1,N-JK+1
      WRITE(3,29) K, Z1(K), Z2(K), Z3(K)
29  FORMAT(I6,' ',3(F18.6,' '))
32  CONTINUE
      STOP
      END
```

**ANEXO D - SÍNTESE SOBRE O CONSUMO DE ALUMÍNIO NO BRASIL E NO MUNDO**

---

**Principais fatores que contribuíram para o aumento do consumo mundial de alumínio no pós-guerra**

---

Reconstrução econômica na Europa com uso intensivo da alumínio na construção civil

Desenvolvimento na tecnologia de transformação e aperfeiçoamento das ligas

Desenvolvimento dos sistemas de transporte em geral com uso intensivo de alumínio em aviões, automóveis, etc...

Desenvolvimento da indústria de embalagens com o surgimento das latas de alumínio para bebidas e outras aplicações

Desenvolvimento da indústria eletrodoméstica com aplicações crescentes de alumínio em diversos componentes

Novos Usos: baterias de alumínio, carrocerias, etc...

Aumento crescente da reciclagem

Verticalização dos principais produtores

---

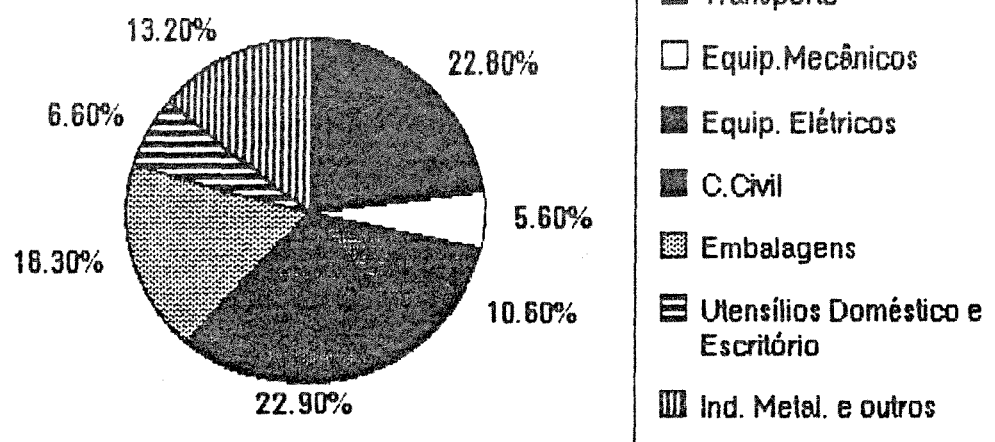
**Consumo setorial do alumínio no Mundo - 1980 - (%)**

	Europa	Japao	EUA	Mundo
Transporte	27.9	26.1	19.3	22.8
Equip. Mecânicos	6.8	4.8	5.4	5.6
Equip. Elétricos	10.4	10.1	11.1	10.6
Civil	18.3	32.9	21.4	22.9
Embalagens	9.7	6	27.0	18.3
Utensílios Doméstico e Escritório	8.5	5.5	6.3	6.6
Ind. Metal. e outros	18.4	14.6	8.7	13.2

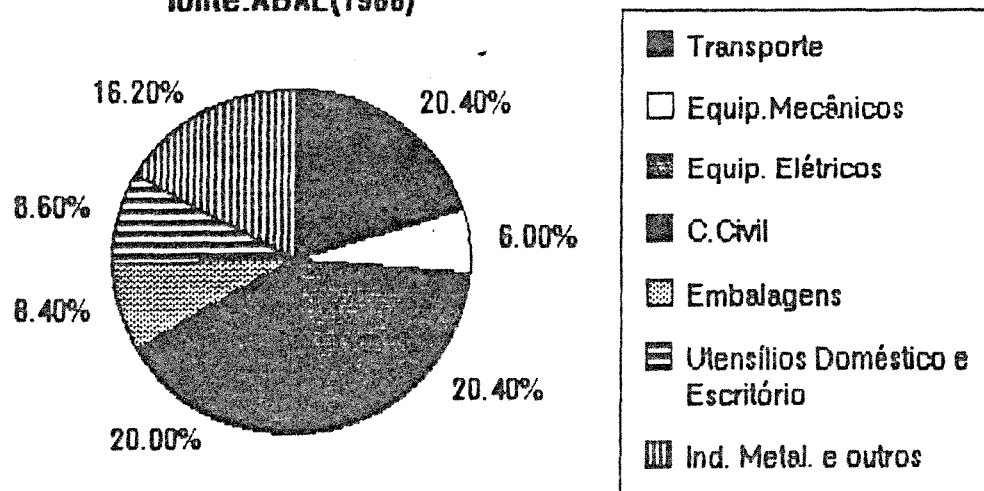
147

Europa: Alemanha, França, Reino Unido e Itália  
 fonte: World Bank(1983)

**Consumo mundial de alumínio no Mundo - 1980**  
 fonte: World Bank(1983)



**Consumo Setorial de Alumínio-Brasil-1987**  
 fonte: ABAL(1988)



taxa média anual de crescimento do consumo de Alumínio do PIB  
 América Latina comparada com o LDC e o Mundo  
 em 1950-60, 1960-73 e 1973-87

148

B	Argentina	Brasil	México	A. Latina	LDC
1950-1960	3.1	7.0	5.4	4.5	3.9
1960-1973	4.4	7.6	7.3	6.1	5.4
1973-1987	1.1	4.9	3.6	3.3	3.9
ALUMÍNIO					
1950-1960	15.4	28.6	25.1	17.2	16.7
1960-1973	21.1	13.4	13.8	14.0	13.8
1973-1987	7.4	7.7	4.6	7.1	9.0
Densidade de Uso					
ALUMÍNIO					
1950-1960	11.2	20.2	18.4	11.5	nd
1960-1973	14.6	5.6	5.9	7.5	nd
1973-1987	6.3	2.3	0.4	3.3	nd

Fonte: (1) Metallgesellschaft (various issues)  
 (2) IMF(88) -Yearbook International Finance Statistics  
 ECLAC/UN - Statistical Yearbook (various issues)  
 nd = informação não disponível

**Taxa média anual de crescimento do consumo de Alumínio do PIB**  
**na América Latina comparada com o LDC e o Mundo**  
**em 1950-60, 1960-73 e 1973-87**

<b>PIB</b>	<b>Argentina</b>	<b>Brasil</b>	<b>México</b>	<b>A. Latina</b>	<b>LDC</b>	<b>MUNDO</b>
<b>1950-1960</b>	<b>3.1</b>	<b>7.0</b>	<b>5.4</b>	<b>4.5</b>	<b>3.9</b>	<b>4.4</b>
<b>1960-1973</b>	<b>4.4</b>	<b>7.6</b>	<b>7.3</b>	<b>6.1</b>	<b>5.4</b>	<b>4.8</b>
<b>1973-1987</b>	<b>1.1</b>	<b>4.9</b>	<b>3.6</b>	<b>3.3</b>	<b>3.9</b>	<b>3.0</b>
<b>ALUMÍNIO</b>						
<b>1950-1960</b>	<b>15.4</b>	<b>28.6</b>	<b>25.1</b>	<b>17.2</b>	<b>16.7</b>	<b>10.7</b>
<b>1960-1973</b>	<b>21.1</b>	<b>13.4</b>	<b>13.8</b>	<b>14.0</b>	<b>13.8</b>	<b>9.6</b>
<b>1973-1987</b>	<b>7.4</b>	<b>7.7</b>	<b>4.6</b>	<b>7.1</b>	<b>9.0</b>	<b>1.4</b>
<b>Intensidade de Uso</b>						
<b>ALUMÍNIO</b>						
<b>1950-1960</b>	<b>11.2</b>	<b>20.2</b>	<b>18.4</b>	<b>11.5</b>	<b>nd</b>	<b>nd</b>
<b>1960-1973</b>	<b>14.6</b>	<b>5.6</b>	<b>5.9</b>	<b>7.5</b>	<b>nd</b>	<b>nd</b>
<b>1973-1987</b>	<b>6.3</b>	<b>2.3</b>	<b>0.4</b>	<b>3.3</b>	<b>nd</b>	<b>nd</b>

**Fonte: (1) Metallgesellschaft (various issues)**  
**(2) IMF (88) - Yearbook International Finance Statistics**  
**ECLAC/UN - Statistical Yearbook (various issues)**  
**nd = informação não disponível**

## ALUMINIO - BALANÇO OFERTA E DEMANDA

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
ALBRAS-Belém(PA)							8	99	166	166
ALCAN-Aratu(BA)	20	28	27	28	47	58	58	58	51	58
ALCAN-Saramenha(MG)	60	60	60	60	60	62	62	62	62	62
ALCOA-P.Caldas(MG)	82	89	88	90	90	90	90	90	90	90
ALUMAR-S.Luis(MA)						26	104	198	215	237
CBA-Sorocaba(SP)	76	84	81	97	121	128	136	159	169	170
VALESUL-S.Cruz(RJ)				24	83	91	91	91	91	92
Produção	238	261	256	299	401	455	549	757	844	875
Recuperação(Sucata)	59	50	42	43	45	47	52	58	61	65
Importação	79	69	37	15	6	10	7	7	14	13
Oferta Total	376	380	335	357	452	512	608	822	919	953
Exportação	9	12	21	18	170	205	215	357	457	574
Consumo Doméstico	257	285	262	282	271	295	348	424	430	400
Consumo per capita(Kg/hab.)	3.0	3.0	2.4	2.5	2.2	2.2	2.6	3.1	2.9	2.8

fonte: ABAL, ARANHA(1988)

dados de consumo: alumínio primário

OFERTA E DEMANDA MUNDIAL DE ALUMINIO - 1980 (1)  
POR REGIAO EM MILHOES DE TONELADAS METRICAS

OFERTA REGIAO	DEMANDA - REGIAO							Excesso Demanda	OFERTA TOTAL
	AN	AL	EU	PAC	AF	SOV	ASIA		
AN	4.68	0.06	0.11	0.48			0.14	0.25	5.72
AL		0.52					0.09	0.21	0.82
EU			3.47				0.04	0.09	3.60
PAC				1.63					1.63
AF	0.08		0.10	0.04	0.18			0.04	0.44
SOV			0.03	0.06		2.90		0.10	3.09
ASIA				0.02			0.72		0.74
DEMANDA TOTAL	4.76	0.58	3.71	2.23	0.18	2.90	0.99	0.69	16.04

AN= América do Norte, LA= A.Latina, EU=Europa Ocidental, AF=Africa

PB= Regiao do Pacífico inclui: Austrália, N.Zelândia, Japao, Coreia do Sul e Taiwan

Asia= inclui China, India, Bahrain, Turquia e outros países asiáticos

SOV = Bloco Soviético

(1) - Abrange oferta e demanda de metal primário

fonte: Metallgesellschaft, US Bureau of Mines, American Bureau of Metal Statistics

World Bureau of Metal Statistics e diversas outras fontes