

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO ESTRATÉGICA**

**MODELO PREDITIVO APLICADO À SIDERURGIA: APLICAÇÃO DE MODELO
MATEMÁTICO PARA PREVER A PRODUÇÃO DE AÇO NO BRASIL**

MATEUS VARGAS GARZON

**Belo Horizonte
2012**

MATEUS VARGAS GARZON

**MODELO PREDITIVO APLICADO À SIDERURGIA: APLICAÇÃO DE
MODELO MATEMÁTICO PARA PREVER A PRODUÇÃO DE AÇO NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Estratégica (Pós-Graduação Lato Sensu) do CEPEAD/CAD/FACE da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Certificado de Especialista em Gestão Estratégica, área de concentração em Gestão de Negócios.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a banca examinadora em 21 de Março de 2012.

Orientador: Francisco Vidal Barbosa

**Belo Horizonte
2012**



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração
Curso de Especialização e Gestão Estratégica

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO do(a) Senhor(a) **MATEUS VARGAS GARZON**, REGISTRO Nº **2010724458**. No dia 21/03/2012, às 18:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, indicada pela Coordenação do Curso de Especialização e Gestão Estratégica - CEGE, para julgar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**MODELO PREDITIVO APLICADO À SIDERURGIA. Aplicação de modelo matemático para prever a produção de aço no Brasil**", requisito para a obtenção do **Título de Especialista**. Abrindo a sessão, o orientador e Presidente da Comissão, Professor(a) Francisco Vidal Barbosa, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares de apresentação do TCC, passou a palavra ao aluno(a) para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, seguido das respostas do(a) aluno(a). Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do(a) aluno(a) e do público, para avaliação do TCC, que foi considerado:

APROVADO

() APROVAÇÃO CONDICIONADA A SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS CONSTANTES NO VERSO DESTA FOLHA, NO PRAZO FIXADO PELA BANCA EXAMINADORA (PRAZO MÁXIMO de 60 SESSENTA DIAS)

() NÃO APROVADO

O resultado final foi comunicado publicamente ao(a) aluno(a) pelo orientador e Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 21/03/2012.

Prof. Francisco Vidal Barbosa _____
(Orientador)

Prof. Robert Aldo Iquiapaza Coaguila _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a José Israel Vargas, a quem dedico essa monografia, à indicação do uso do Modelo Marchetti e às sugestões feitas a esse trabalho. O uso que fiz dessas indicações é de minha inteira responsabilidade.

Ao Professor Francisco Vidal Barbosa pela orientação a esse trabalho.

Aos professores do CEGE pelo aprendizado durante o curso.

Aos funcionários do CEGE Dayanne e ao Evandro, sempre solícitos a ajudar.

Aos meus queridos pais pelo constante incentivo e apoio.

E em especial a minha esposa Isabella, pelo carinho, estímulo e paciência, inclusive como colega de sala.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção bruta de aço no Brasil (1967-2010).....	8
Figura 2. Substituição de energia primária no mundo. Exercício <i>ex-post facto</i> realizado por MARCHETTI (1991). Dados referentes a 1900 a 1920 (a); utilização do modelo para verificar passado e estimar futuro (b); observado e calculado no passado e futuro (c).	15
Figura 3. Substituição de tecnologias de produção de aço nos EUA.	16
Figura 4. Desvio percentual do crescimento secular da produção de produtos acabados de aço no Brasil, a partir de 1930; indicador de atividade econômica e do ciclo observado de 55 anos.....	17
Figura 5. Representação Gráfica da equação de Volterra (ciclo da vida)	18
Figura 6. Integração da equação de Volterra (curva logística)	19
Figura 7. Representação Fisher-Pry da curva logística.....	20
Figura 8. Representação de Fisher-Pry da equação logística de mortes pela peste de Londres (1665)	21
Figura 9. Dados e curva-S para consumo anual de energia nos Estados Unidos.....	22
Figura 10. Desvio percentual da curva-S para o consumo de energia primária total e energia elétrica de 1800 a 2040. A curva sinusoidal em cinza é uma faixa de 8% ao redor de uma variação regular de 56 anos.....	23
Figura 11. Produção bruta de aço no Brasil (1967-2010).....	31
Figura 12. Somatório (cumulativo) da produção de aço no Brasil (1967-2010)	31
Figura 13. Determinação do nicho pela análise da derivada.....	32
Figura 14. Utilização do coeficiente de correlação na representação Fisher-Pry para determinação do nicho	33
Figura 15. Representação Fisher-Pry da função logística da produção de aço no Brasil (1967 - 2030).....	34
Figura 16. Função Logística da Produção de Aço no Brasil (calculado e observado)	35
Figura 17. Desvio percentual da produção de aço em relação à representação Fisher-Pry (observado - calculado)	35
Figura 18. Previsão da Produção de Aço no Brasil (2000 - 2021).....	36
Figura 19. Previsão Corrigida da Produção de Aço no Brasil (2000 - 2021)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 30% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança	24
Tabela 2 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 50% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança	25
Tabela 3 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 80% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança	25
Tabela 4. Dados do mercado siderúrgico em 2010 (fonte: Aço Brasil)	30

RESUMO

Conhecer antecipadamente a demanda do mercado pode proporcionar às empresas uma vantagem competitiva. Assim sendo, no mercado industrial, a antecipação do comportamento futuro de variáveis da produção podem representar tanto economia financeira, quanto uma melhor alocação de recursos para fins de investimentos e, num contexto mais geral, o aumento da competitividade de todo um setor. Esse trabalho constitui num estudo de caso do setor siderúrgico nacional, que pode passar por grandes mudanças caso diversos projetos de aumento da capacidade produtiva e de construção de novas usinas se concretizem. Caso se efetivem, é possível que ocorra a ampliação da capacidade produtiva siderúrgica total em mais de 30 milhões de toneladas de aço bruto adicionais, o que significa quase dobrar a produção desta *commodity* no Brasil nos próximos 10 anos. Com o intuito de estudar essas possíveis mudanças na siderurgia brasileira, utilizou-se no presente trabalho uma metodologia de previsão matemática de ampla aplicação, conhecida como Modelo Marchetti. Essa técnica foi aplicada a dados históricos da produção anual de aço bruto em território nacional. E o desenvolvimento deste trabalho mostrou que o Modelo Marchetti revelou-se aplicável à evolução histórica da produção de aço no Brasil. Os resultados encontrados indicam que a tendência é de desaceleração, a médio prazo, da produção de aço no Brasil, contrariando as expectativas correntes de crescimento desse ramo.

Palavras-chave: Siderurgia, Modelos Preditivos, Modelo Marchetti.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
1.1.	Contextualização	8
1.2.	Problematização	9
1.3.	Objetivos	10
1.3.1.	Objetivo geral	10
1.3.2.	Objetivos Específicos	10
1.4.	Relevância/Justificativa	10
1.5.	Estrutura do Trabalho	10
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1.	Modelos Preditivos	11
2.2.	Modelo Marchetti	13
2.2.1.	A Equação Logística	17
3.	METODOLOGIA	25
3.1.	Fonte de Dados Utilizada	26
3.2.	Método de Análise de Dados	26
4.	O SETOR SIDERÚRGICO	27
5.	ANÁLISE DOS DADOS	30
5.1.	Análise Inicial	30
5.2.	Determinação do Nicho	32
5.3.	Aplicação do Modelo	33
5.4.	Previsão da Produção de Aço	36
6.	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS	40

Anexo I – Memória de cálculo para determinação da curva Fisher-Pry

Anexo II – Memória de cálculo da previsão de produção de aço a partir da equação de reta da representação Fisher-Pry

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O ponto de partida do planejamento de produção de uma dada empresa é o conhecimento da demanda de seu produto. Nestas condições, é indispensável que essa informação seja tão precisa quanto possível. No caso de grandes setores produtivos, como o siderúrgico, tal análise é essencial não só para os produtores de aço, como também para toda sua rede de fornecedores.

A produção nacional de aço, com exceção do ano de 2009 (conseqüência da crise econômica mundial de 2008), vem oscilando, desde 2003, em torno de 30 a 34 milhões de toneladas por ano, conforme destacado em vermelho na Figura 1. Ou seja, pode-se considerar que o setor encontra-se num período de estagnação. Porém, diversos novos projetos, tanto de aumento de capacidade do parque industrial já existente, quanto de construção de novas usinas (*greenfield*), podem ampliar a capacidade produtiva em 30 milhões de toneladas adicionais. Isto significaria quase dobrar a presente produção de aço no Brasil.

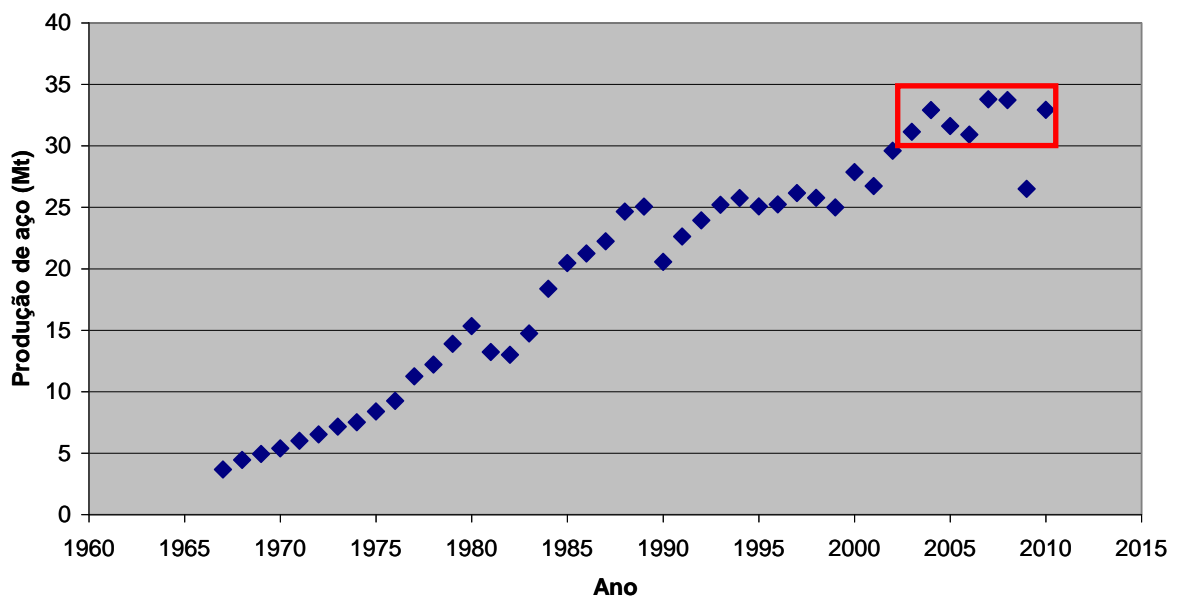


Figura 1. Produção bruta de aço no Brasil (1967-2010)

Fonte: *World Steel Association* (www.worldsteel.org, acessado em 14/11/2011 às 16:20)

Levando em consideração esse cenário, usinas siderúrgicas devem tomar decisões estratégicas com o objetivo de manter ou aumentar sua competitividade no longo prazo. Por outro lado, para atender a essa nova demanda, fornecedores forçosamente devem se adequar.

Como suporte para escolha da melhor estratégia, técnicas preditivas são, via de regra, utilizadas para simular o comportamento futuro do mercado. E, em geral, o exercício da previsão está baseado em dados históricos, comumente apresentados em séries temporais. Várias são as técnicas e modelos de previsões disponíveis na literatura que podem ser aplicadas com o intuito de buscar, antecipadamente, a informação de interesse.

Dentre essas técnicas, existe uma abordagem, conhecida como Modelo Marchetti, que se revelou aplicável nas mais diversas áreas, como a economia, a educação e a energia.

Esse método de análise se diferencia dos demais, pois foi desenvolvido a partir das teorias de competição ecológica. Dessa forma, considera que ações produtivas de toda natureza (ações humanas) são cíclicas no tempo: à medida que uma “população” cresce, sua taxa de crescimento se apresenta na forma de um sino: aumenta lentamente no início, se acelera até atingir um máximo para, em seguida, começar a diminuir até se aproximar do zero. A “força motriz” de tais oscilações é a competição, como ocorre nos sistemas biológicos descritos por Volterra (1931).

Essa análise tem sido aplicada com sucesso tanto no Brasil, quanto no exterior, inclusive na siderurgia (MARCHETTI apud VARGAS, 2004) e será apresentada em maiores detalhes no referencial teórico. Levando em conta esses argumentos, propõe-se aplicar o Modelo Marchetti para tentar prever a produção de aço no Brasil.

1.2. Problematização

Um dos maiores desafios do planejamento a longo prazo é alocar corretamente recursos de forma a adequar oferta à demanda.

Ao tomar como caso de estudo a siderurgia nacional, pergunta-se: *de que forma o Modelo Marchetti pode ser usado para prever a produção de aço no Brasil?*

Não obstante, *os resultados obtidos pelo Modelo Marchetti, quando comparado a uma previsão de produção de aço já adotada no mercado, apresentam um novo cenário para a siderurgia nacional?*

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

- Analisar o uso de modelo preditivo para prever a produção de aço no Brasil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar a adequação do Modelo Marchetti para a previsão da produção de aço no Brasil;
- Comparar os resultados obtidos pelo Modelo Marchetti com uma previsão de produção de aço comercializada no mercado.

1.4. Relevância/Justificativa

O mercado siderúrgico nacional emprega mais de 140 mil pessoas segundo o IBS, Instituto Brasileiro de Siderurgia (2010). No cenário atual de escassez de recursos, uma correta previsão de demanda do mercado pode colocar uma empresa em posição favorável para a definição de novas rotas que proporcionem vantagem competitiva para possíveis mudanças no setor.

De tal maneira, uma previsão correta da produção de aço no Brasil pode representar tanto economia de investimentos, quanto indicar uma melhor alocação de recursos com possível impacto mais amplo de tornar o setor siderúrgico nacional mais competitivo.

1.5. Estrutura do Trabalho

Essa monografia compõe-se de seis partes. Além da introdução, o trabalho também contempla um referencial teórico, onde o Modelo Marchetti será

resumidamente apresentado, a metodologia utilizada, uma visão geral do setor siderúrgico nacional, a análise dos dados e, por fim, as conclusões do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Será apresentada nessa seção uma breve descrição dos modelos preditivos mais utilizados na literatura para, em seguida, explicar o Modelo Marchetti.

2.1. Modelos Preditivos

A definição de previsão é o exercício de estimar ou calcular um valor procurando diminuir a incerteza através da antecipação de uma ocorrência. Em geral o exercício de prever está baseado em dados quantitativos históricos expostos em séries temporais. Várias são as metodologias, técnicas e modelos de previsão existentes. Será apresentada uma breve explanação dos seguintes modelos preditivos: análise de regressão, amortecimento exponencial, modelos auto-regressivos integrados e de médias móveis, mineração de dados (*data mining*), métodos Bayesianos e redes neurais.

A análise de regressão é uma das técnicas mais aplicadas para tratamento de dados, sendo utilizada na explicação de um ou mais índices resposta através de uma ou mais variáveis independentes, ou explicativas. Dessa forma a análise de regressão pode ser uma metodologia eficiente para o estudo de séries temporais GUJARATI (2006).

Já o modelo de amortecimento exponencial foi desenvolvido ao longo das décadas de 50 e 60. Existem quinze diferentes métodos de amortecimento exponencial que consistem em: cinco diferentes tipos de tendência (sem tendência, aditiva, dupla aditiva, multiplicativa e dupla multiplicativa) e três diferentes tipos de sazonalidade (sem sazonalidade, aditiva e multiplicativa). GOOIJER & HYNDMAN (2006) afirmam que, dentre as combinações possíveis, os métodos que mais se destacam são: o amortecimento exponencial simples (sem tendência e sem sazonalidade), o método linear de Holt (tendência aditiva e sem sazonalidade), e os métodos Holt e Winters aditivo (com tendência aditiva e sazonalidade aditiva) e multiplicativo (usando tendência aditiva e sazonalidade multiplicativa).

BOX e JENKINS (1976) publicaram um trabalho com base em técnicas já existentes, mas transformados em uma nova abordagem para a previsão de séries temporais: modelos auto-regressivos integrados e de médias móveis, conhecidos como ARIMA. Conforme GUJARATI (2006), FAVA (2000) e ENDERS (2004), o método ARIMA foi amplamente difundido e utilizado. Entretanto, foi necessário desenvolver uma variação dessa técnica, visto que a original apresentava deficiência ao ser aplicada a dados com sazonalidade. Foi desenvolvido, então, o SARIMA, método ARIMA com sazonalidade.

Outra ferramenta preditiva que merece destaque é a mineração de dados (*data mining*), definido por VIGLIONI (2007) como o processo de procurar padrões em grandes bases de dados. Os padrões procurados podem ser: regras de associações, seqüências temporais e dados para classificação de itens ou agrupamentos. Mineração de dados é definida, também, como um método científico voltado para extração de informações úteis de um grande banco de dados, como observado em CRONE (2009). Essa técnica é composta por um conjunto de ferramentas que através do uso de algoritmos de aprendizado, redes neurais ou estatísticas, permite buscar em uma grande base de dados as informações que aparentemente estão escondidas, possibilitando rapidez na diminuição da incerteza e, por conseguinte, agilidade na tomada de decisões.

Não obstante, deve-se ressaltar a importância de uma técnica que já tem apresentado ganhos significativos em diversos campos, especialmente no campo de previsão de séries temporais de acordo com ZANINI (2000), que é a utilização de redes neurais. A motivação original desta metodologia foi modelar a rede de neurônios humanos visando compreender o funcionamento do cérebro (ZANINI, 2000). Já GOOIJER & HYNDMAN (2006) destacam que a principal idéia de uma rede neural artificial é que os *inputs*, ou as variáveis dependentes, são filtrados por uma ou mais camadas ocultas, constituída por “nós”, que levam à variável final: *output*.

Adicionalmente, para ZANINI (2000), uma rede neural artificial é um dispositivo capaz de processar a informação de forma distribuída e de incorporar conhecimento através de exemplos. Trata-se, portanto, de um processador capaz de extrair conhecimento experimental disponibilizando-o para uso prático. ZANINI

(2000) ainda afirma que uma grande vantagem do uso de redes neurais é a capacidade de resolver problemas sem a necessidade de definição de regras ou de modelos explícitos, isto possibilita tratar situações onde é difícil criar modelos adequados à realidade, ou em casos de freqüentes mudanças no ambiente. Sendo assim, métodos fundamentados nessa técnica são eficientes e capazes de resolver uma grande variedade de problemas.

Por fim, vale comentar os avanços possibilitados pelo desenvolvimento do teorema Bayesiano. Segundo ALBA & MENDOZA (2007), uma análise bayesiana completa pode levar a uma escolha ótima entre um grupo de alternativas de inferências, levando em consideração todas as fontes de incerteza do problema e as conseqüências de cada escolha possível. Além disso, vale destacar, segundo BARROS & OLIVEIRA (2007), que sua aplicação se estende desde a construção de algoritmos de aprendizagem em inteligência artificial até a modelagem para a neurociência, bem como para previsão de séries temporais. A metodologia Bayesiana foi inicialmente desenvolvida na Inglaterra em meados da década de 70, a partir do trabalho de HARISSON & STEVENS (1976).

2.2. Modelo Marchetti

O Modelo Marchetti leva o nome de seu criador, o italiano Cesare Marchetti. O argumento central que o conduziu ao desenvolvimento desse modelo é o funcionamento dos sistemas biológicos de acordo com o modelo darwinista, no qual inúmeras experiências comandadas pelo DNA geraram e liberaram no meio ambiente enorme variedade de organismos vivos, competindo entre si, na coleta e consumo de alimento por bilhões de anos. Esse processo evolutivo consiste na mutação e seleção dos mais aptos a sobreviverem e a se multiplicarem, para finalmente se difundirem pelo planeta afora. Marchetti supôs que esse comportamento teria incorporado invariantes de ação controladoras de todos os seres, inclusive os próprios humanos, tanto no aspecto material como cultural (VARGAS, 2004).

Historicamente, o desenvolvimento desse modelo partiu do desafio proposto pela instituição IIASA (Instituto Internacional para Análise de Sistemas Aplicados), à qual Marchetti pertencia à época, de examinar a possibilidade de poder ter sido prevista a crise da energia de 1973, que afetou profundamente a economia mundial.

Com base então na suposição de que características do processo evolutivo criaram padrões no comportamento humano, Marchetti embasou seu trabalho em modelos de competição ecológica, desenvolvidos por VERHULST (1845), LOTKA (1925) e VOLTERRA (1931), posteriormente revistos por MONTROL (1974), que formularam, em linguagem matemática, a teoria darwinista da evolução das espécies.

Assumindo como hipótese de que as energias primárias (madeira, carvão mineral, petróleo, gás natural e nuclear) se comportariam no mercado mundial (o nicho) como se fossem espécies vivas em competição, Marchetti demonstrou que as equações de VOLTERRA (1931) efetivamente descreviam a evolução temporal da participação relativa das mesmas no período analisado (1870 a 1985).

Para testar a robustez do modelo de substituição de energias primárias no mundo (MARCHETTI apud VARGAS, 2004), representado na Figura 2, Marchetti, partindo de dados de 1900 a 1920, estendeu uma análise para antes de 1900 e depois de 1920. O resultado foi uma correta concordância entre o calculado e o real tanto para o passado quanto, presumivelmente, para o futuro. O exercício referido constitui, pois, uma previsão *ex-post facto*.

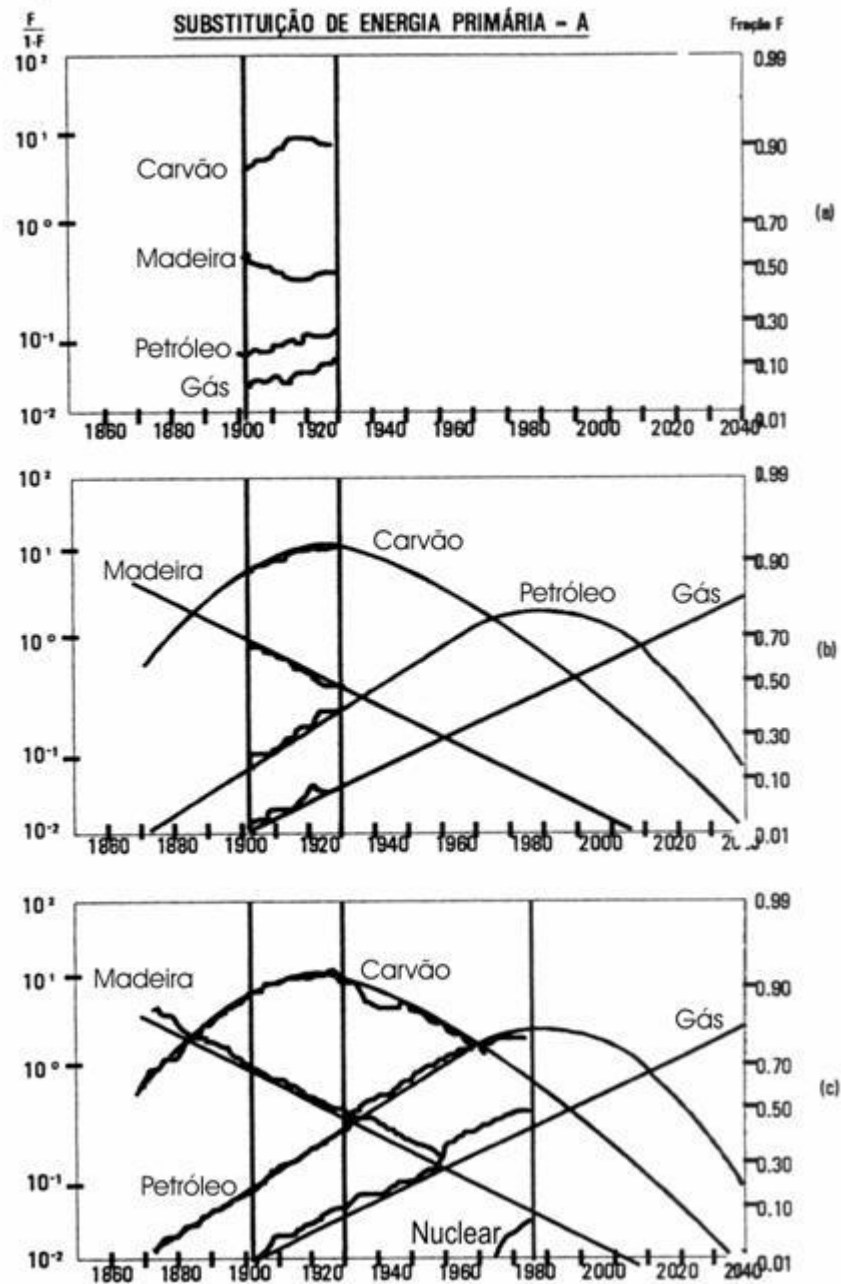


Figura 2. Substituição de energia primária no mundo. Exercício *ex-post facto* realizado por MARCHETTI (1991). Dados referentes a 1900 a 1920 (a); utilização do modelo para verificar passado e estimar futuro (b); observado e calculado no passado e futuro (c).

Fonte: VARGAS, A prospectiva tecnológica: previsão com um simples modelo matemático.

Essa expressiva concordância entre teoria e observação sobre o comportamento do “sistema energia” conduziu Marchetti a aplicações mais amplas e inovadoras do modelo, inclusive no ramo da siderurgia. A competição entre as diferentes tecnologias de produção de aço nos Estados Unidos foi estudada pelo idealizador do modelo, na qual novas tecnologias mais eficientes penetram no nicho,

substituindo os processos mais antiquados, conforme equações formuladas pelo Modelo Marchetti (Figura 3).

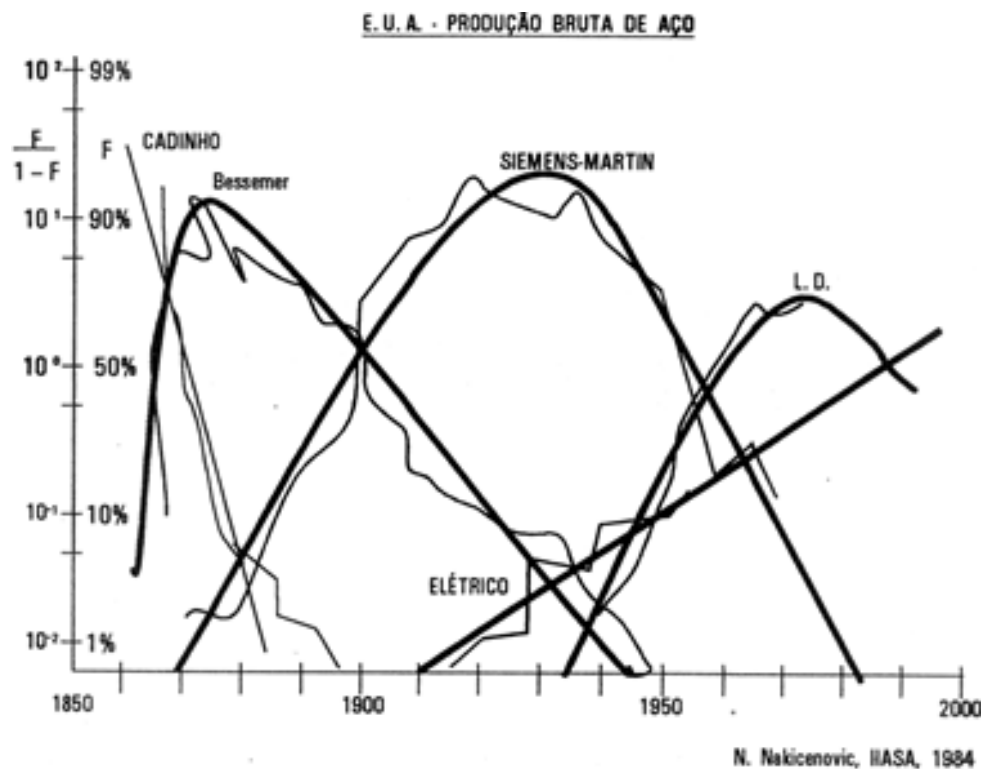


Figura 3. Substituição de tecnologias de produção de aço nos EUA.

Fonte: VARGAS, A prospectiva tecnológica: previsão com um simples modelo matemático.

Note-se que neste trabalho foi utilizada exclusivamente a solução da equação de Volterra (1931) para um único produto (análogo a um organismo) penetrando num nicho limitado, que é o sistema produtivo de aço no Brasil.

A existência de mais de dois competidores de eficiência crescente num mesmo nicho não tem solução analítica e foi abordado numericamente por Marchetti (1991) em muitos casos como mostrado nas Figura 2 e Figura 3.

Outro exemplo da aplicação do Modelo Marchetti à siderurgia é o apresentado na Figura 4. A partir da análise de produtos acabados em aço no Brasil, foi possível identificar períodos de variação positiva e negativa entre o calculado e o observado. Tal variação, que apresentou uma amplitude de 55 anos (um ciclo de Kondratiev – 1935), foi também interpretada como um indicador da atividade econômica, uma vez

que valores negativos indicariam tempos de crise, enquanto positivos indicariam maior aquecimento da economia.

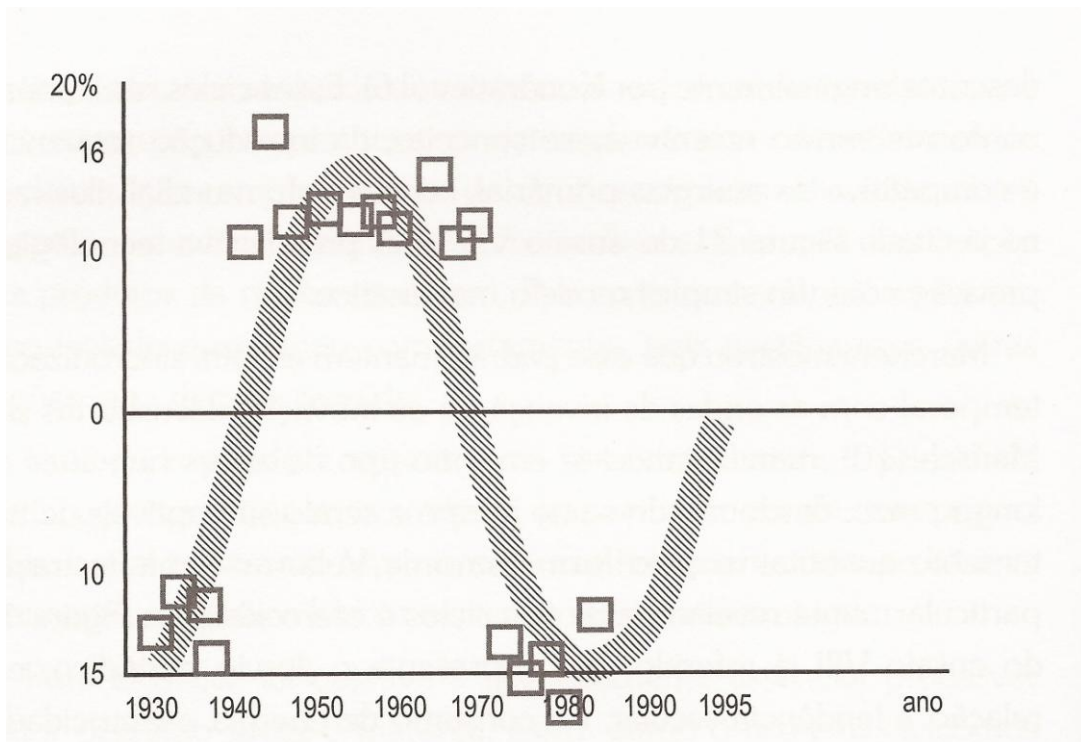


Figura 4. Desvio percentual do crescimento secular da produção de produtos acabados de aço no Brasil, a partir de 1930; indicador de atividade econômica e do ciclo observado de 55 anos

Fonte: Vargas, Ciência em tempo de crise – 1974-2007

2.2.1. A Equação Logística

Para melhor entendimento do modelo, adotemos como exemplo a descrição da peste que afetou Londres em 1665, segundo MARCHETTI (1991). Para esse exemplo, o número de indivíduos mortos na peste de Londres, por unidade de tempo, é o indicador escolhido. Esse número deve ser proporcional:

i) ao número N de pessoas já mortas, após a infecção. Isto é, quanto maior o número de pessoas infectadas maior a probabilidade de outras pessoas venham a sê-lo.

ii) ao número de indivíduos que faltam morrer, $(N^* - N)$, onde N^* é a totalidade da população suscetível a se infectar e morrer. Analiticamente teremos:

$$dN = aN (N^* - N) dt. \quad (1)$$

A equação (1) pode ser representada graficamente por uma curva em forma de sino, como mostrado na Figura 5. No início da epidemia, N é pequeno e, portanto, dN/dt também o é porque $N(N^* - N)$ é pequeno. Com o passar do tempo, dN/dt eventualmente chega a um máximo em $N=0,5N^*$, quando a metade da população suscetível terá morrido; em seguida, $N(N^*-N)$ diminui e o número de mortes tende a zero.

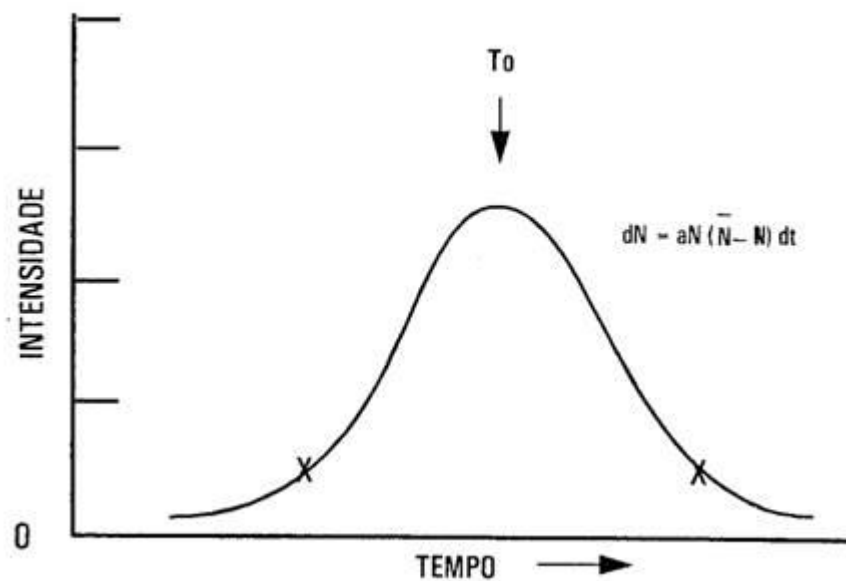


Figura 5. Representação Gráfica da equação de Volterra (ciclo da vida)

Fonte: MARCHETTI, "A forecasting model for research and innovation activities in selected areas: a support for strategic choices"

A equação (1) é uma equação diferencial não linear cuja solução, uma vez resolvida para $N(t)$ (número de mortes no tempo t), leva à expressão:

$$N = \frac{N^*}{1 + e^{-(at+b)}} \quad (2)$$

Onde **a** é uma constante de proporcionalidade que determina a velocidade de propagação da peste e **b** é a constante de integração.

A equação (2), denominada equação logística ou epidemiológica, é obtida pela integração de (1). Ela é graficamente representada por curva em forma de S e muito conhecida dos epidemiologistas e demógrafos. Ela está mostrada na Figura 6.

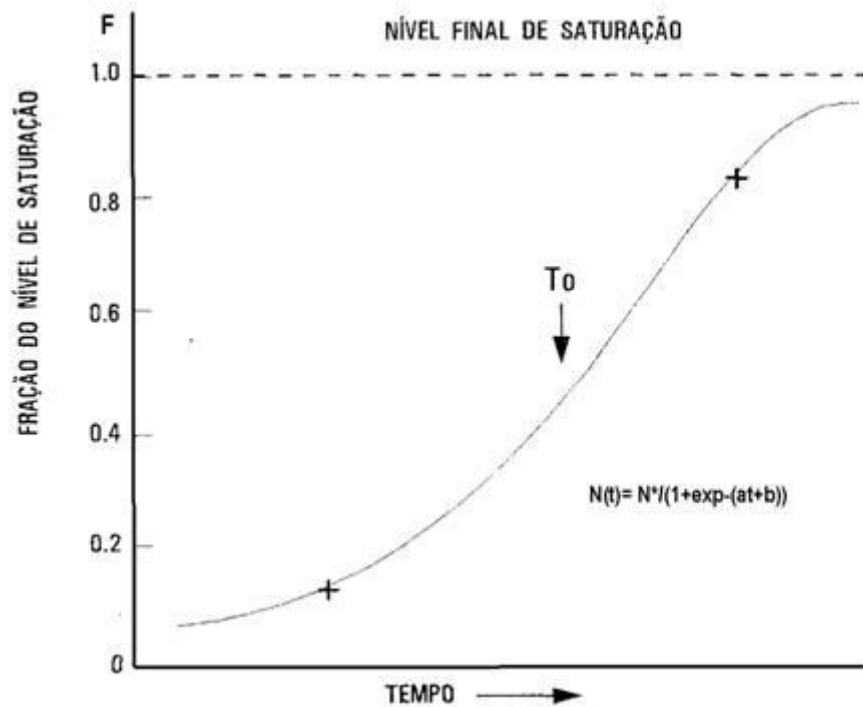


Figura 6. Integração da equação de Volterra (curva logística)

Fonte: MARCHETTI, "A forecasting model for research and innovation activities in selected areas: a support for strategic choices"

Se normalizarmos a equação (2), fazendo $F=N/N^*$ (F sendo a fração de ocupação do nicho N^*), após algumas operações simples (FISHER & PRY, 1971), obtém-se:

$$\frac{F}{1-F} = e^{(at+b)} \quad (3)$$

que assume o formato linear (a chamada representação de Fisher-Pry) obtida ao se tomar o logaritmo da equação (3), como mostrado abaixo,

$$\log(F/(1-F)) = at + b \quad (4),$$

e ilustrada na Figura 7.

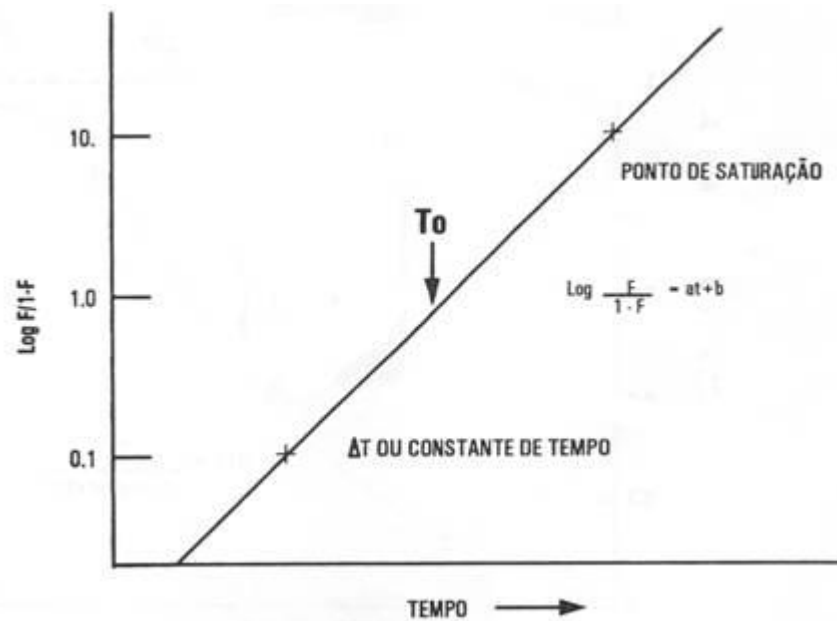


Figura 7. Representação Fisher-Pry da curva logística

Fonte: MARCHETTI, "A forecasting model for research and innovation activities in selected areas: a support for strategic choices"

Dado que os erros relativos cometidos no início e no fim do processo podem ser grandes, comumente adota-se 80% da descrição do processo (Marchetti 1991), definindo então o intervalo de tempo ΔT como aquele necessário para que o processo evolua de $F=0,1$ para $F=0,9$, ou de 10% a 90%, respectivamente.

Pode-se inferir pelas definições até aqui apresentadas que a relação entre ΔT e a é $\Delta T=4,39/a$ e que o momento no qual se mede a metade do processo é $T_0 = b/a$.

Voltando ao caso da peste em Londres, pode-se visualizar na Figura 8 que, começando de modo significativo (10% de mortos), a velocidade de propagação e o término da peste poderiam ter sido fielmente previstos. Vale ressaltar que a difusão da doença (na descrição logística) torna-se extremamente lenta quando são decorridos 90% do processo, sendo assim, o comportamento do modelo pode revelar-se errático devido aos grandes erros relativos na escala logarítmica (pois N se aproxima de N^*). Diz-se então que o sistema entra em "fibrilação".

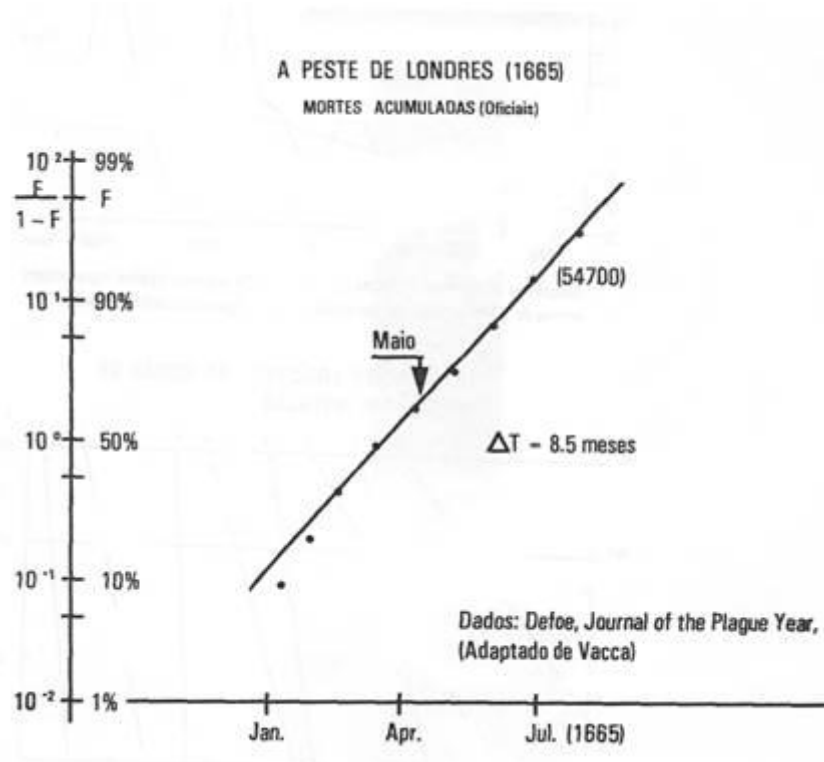


Figura 8. Representação de Fisher-Pry da equação logística de mortes pela peste de Londres (1665)

Fonte: MARCHETTI, "A forecasting model for research and innovation activities in selected areas: a support for strategic choices"

A curva logística (Figura 6), representação gráfica da equação (2), que pode ser elaborada utilizando no eixo vertical tanto a fração preenchida do nicho quanto os dados brutos, é uma alternativa à utilização da Fisher-Pry para fazer previsões de acordo com MODIS (1992). Em seu livro "*PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future*" são apresentados diversos trabalhos desenvolvidos pelo autor e outros tantos com referência a Cesare Marchetti e colaboradores. Dentre esses casos, reproduz-se na Figura 9 a análise pela curva-S do consumo anual de energia nos Estados Unidos.

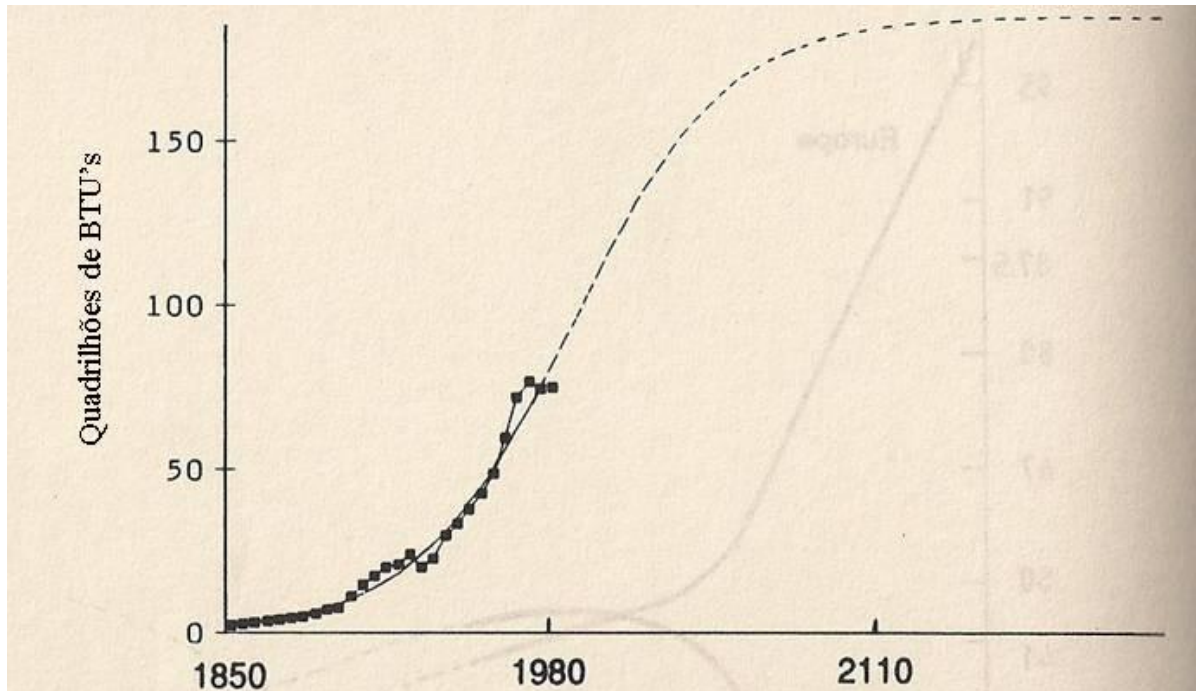


Figura 9. Dados e curva-S para consumo anual de energia nos Estados Unidos

Fonte: MODIS (1992), *"PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future"*

Esse tipo de representação da Figura 9 é, por um lado, mais simples de interpretar, pois é possível determinar pela leitura do gráfico os valores anuais futuros para a variável analisada, diferentemente da Fisher-Pry onde temos que fazer cálculos adicionais para chegar ao valor previsto. Por outro lado, a obtenção da curva logística é mais complexa, pois a equação da curva-S prevista (2) é mais elaborada que a reta da solução Fisher-Pry.

No entanto, é importante para ambos os casos analisar o desvio entre o calculado e o observado. MODIS apud MARCHETTI (1992) apresenta em seu trabalho o desvio percentual dos dados da Figura 9, analisando tanto a energia primária total, quanto somente a energia elétrica nos Estados Unidos. Essa observação, apresentada na Figura 10, mostra que, para o caso da energia nos EUA, a variação do desvio percentual entre a previsão e o real é periódica, ora positiva, ora negativa. Pode-se notar também que a distância entre picos é de 56 anos. Tal período coincide com ciclos de KONDRATIEV (1935), cujas análises levaram a similar periodicidade quando analisou a característica cíclica de altos e baixos da economia mundial.

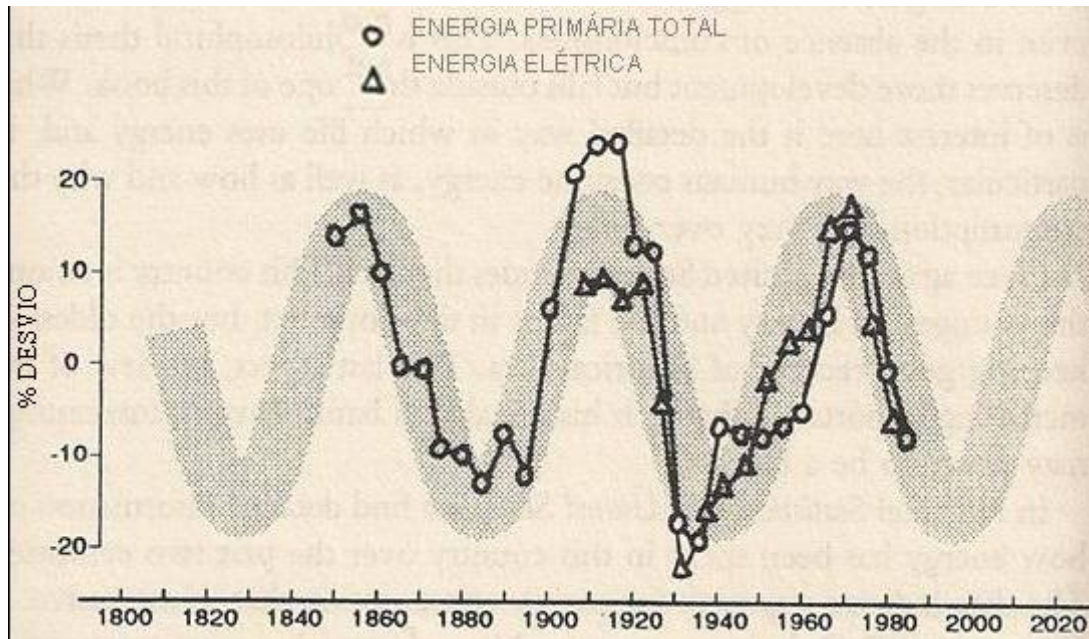


Figura 10. Desvio percentual da curva-S para o consumo de energia primária total e energia elétrica de 1800 a 2040. A curva sinusoidal em cinza é uma faixa de 8% ao redor de uma variação regular de 56 anos.

Fonte: MODIS (1992), "*PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future*"

A determinação do tamanho do nicho N^* , mesmo para um único competidor, é uma operação delicada. Para uma única espécie biológica envolvida na coleta de alimento o nicho pode representar a totalidade do alimento disponível ao consumo da espécie "intrusa"; o alimento exaure-se gradativamente ao transforma-se em indivíduos adicionais da referida espécie. Nesse caso, o tamanho do nicho já é fisicamente definido. Outro exemplo análogo é o estudo do desmatamento da Amazônia brasileira, nesse caso, o nicho é obtido a partir da área total delimitada como floresta amazônica no Brasil.

Para os demais casos, quando um limite físico do nicho não é evidente, pode-se ou calcular o melhor coeficiente de correlação da reta na Fisher-Pry ou ainda aplicar a metodologia desenvolvida por FERREIRA (2004) de estudo do máximo da função logística. Para a primeira técnica, ao variar o tamanho do nicho, o coeficiente de correlação de reta da curva Fisher-Pry varia. Dessa forma, determina-se o ponto no qual se maximiza esse coeficiente.

Já o método desenvolvido por FERREIRA (2004) consiste em aproximar a equação diferencial:

$$dN = aN (N^* - N) dt \quad (1)$$

pela equação de diferenças finitas:

$$\Delta N/\Delta t = aN (N^*-N) \quad (7)$$

e ajustá-la para obter a imagem da equação diferencial da qual o valor do nicho (N^*) pode ser deduzido através do estudo do máximo da função:

$$y(N) = dN/dt = aN (N^*-N) \quad (8),$$

cujo resultado é:

$$dy/dN = a (N^*-2N) \quad (9)$$

e para $dy/dN = 0$, $N_{max} = N^*/2$.

Após a definição do nicho através de um dos métodos apresentados, procede-se à aplicação do modelo aos dados históricos de interesse. Por fim, deve-se determinar a incerteza dos resultados obtidos. No trabalho de MODIS (1992), se encontram tabelas para estimar o erro da previsão. Partindo de um determinado nível de confiança, do percentual de dados disponíveis que cobrem o nicho definido e do erro dos dados utilizados, pode-se definir essa incerteza. A Tabela 1 mostra essa relação quando temos 30% do processo modelado. Já a Tabela 2 para quando se tem 50% do nicho completo e a Tabela 3 para 80% desse mesmo nicho.

Tabela 1 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 30% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança

	1	5	10	15	20	25
70	2,7	13	28	47	69	120
75	3,2	15	32	53	81	190
80	3,9	17	36	62	110	240
85	4,8	19	41	81	130	370
90	5,9	22	49	110	210	470
95	48,0	49	180	350	690	

Fonte: MODIS (1992), "PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future"

Tabela 2 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 50% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança

	1	5	10	15	20	25
70	1,2	5,1	11	17	23	29
75	1,4	5,5	12	19	26	32
80	1,8	6,4	14	22	29	36
85	2,1	7,3	16	25	36	42
90	2,6	8,8	18	29	42	48
95	3,1	11,0	21	39	56	66
99	4,6	22,0	30	55	150	110

Fonte: MODIS (1992), "*PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future*"

Tabela 3 – Incerteza esperada do modelo para dados cobrindo 80% do nicho, variando o erro dos dados e o nível de confiança

	1	5	10	15	20	25
70	0,5	1,9	3,9	5,1	8,1	8,9
75	0,6	2,1	4,4	5,5	9,0	9,6
80	0,7	2,4	4,8	6,2	9,8	11,0
85	0,8	2,8	5,5	7,1	12,0	13,0
90	1,1	3,3	6,3	9,1	13,0	16,0
95	1,3	4,0	7,6	11,0	16,0	18,0
99	2,2	5,6	9,1	15,0	21,0	31,0

Fonte: MODIS (1992), "*PREDICTIONS, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future*"

3. METODOLOGIA

Este trabalho contempla um estudo de caso da siderurgia brasileira, no qual uma pesquisa quantitativa e qualitativa, de caráter exploratório, foi aplicada para, a partir da análise de dados históricos, prever a produção de aço no Brasil.

A justificativa da análise através de um estudo de caso se baseia no fato de esta ser, em primeiro lugar, uma estratégia de pesquisa para contribuir com o conhecimento que se tem sobre fenômenos individuais, organizacionais, políticos e

de grupos (YIN, 2005). Em segundo lugar, esse método pode ser aplicado em diversas áreas, inclusive na economia, de maneira que seja possível analisar uma indústria específica, a economia de uma dada região ou mesmo um determinado setor, entre outros.

Já a escolha da metodologia utilizada nessa monografia valeu-se de dois motivos. O primeiro é que estudos de caso permitem preservar as características holísticas e significativas dos acontecimentos da vida real, tais como ciclo de vida individuais, conceito central para a aplicação com sucesso do Modelo Marchetti.

A segunda razão é devido à natureza da pergunta de pesquisa, por trata-se de um “como” o Modelo Marchetti pode ser utilizado. Segundo YIN (2005), esse tipo de pergunta é normalmente respondida com estudos de caso, experimentos ou pesquisas históricas. Analisando as três alternativas, vemos que a previsão a partir de dados históricos não é um experimento, já que não exige o controle sobre eventos comportamentais. Também não é uma pesquisa histórica, visto que esta não focaliza acontecimentos contemporâneos e, para o presente trabalho, a análise do cenário atual é essencial para justificar possíveis mudanças no futuro. Logo, esse trabalho contempla um estudo de caso e, dentre as alternativas do propósito da pesquisa: exploratório, descritivo ou explanatório (YIN, 2005), essa monografia foi conduzida como uma pesquisa exploratória.

3.1. Fonte de Dados Utilizada

Foi utilizado nesse trabalho o histórico de produção de aço no Brasil extraído do World Steel Association (www.worldsteel.org), organização sem fins lucrativos que representa grande número de siderúrgicas no mundo. Trata-se, portanto, de análise a partir de dados secundários.

Com o intuito de comparar os resultados dessa pesquisa, utilizou-se também dados de previsão de produção bruta de aço no Brasil de 2011 a 2021 utilizada por uma grande empresa que atua no ramo siderúrgico.

3.2. Método de Análise de Dados

Para a realização desse trabalho, foi feita uma análise quantitativa e qualitativa da produção bruta de aço no Brasil a partir de dados históricos. O ponto

de partida para a aplicação do modelo foi a análise dos dados brutos e de seu cumulativo para a identificação do número de ciclos de vida existentes no intervalo de tempo analisado.

Em seguida, definiu-se o tamanho do nicho como sendo aquele número que apresentasse o menor erro obtido através dos diferentes métodos existentes. Foram feitos então, cálculos matemáticos para se obter a curva-S e depois a Fisher-Pry, identificando o coeficiente de correlação da última.

Uma vez obtida a equação de reta do modelo, utilizou-se seus coeficientes para extrapolá-la para o futuro, lembrando que o limite dessa análise é o preenchimento de 90% do nicho total. Obtiveram-se assim valores previstos do logaritmo de $(F/(1-F))$ para cada ano analisado. Para obter o valor da variável na sua unidade inicial, transformou-se o logaritmo calculado em toneladas de aço produzido por ano.

Conforme apresentado no desenvolvimento do Modelo Marchetti, existe um padrão periódico de variação entre o observado e o previsto. Com objetivo de estimar com um menor erro a produção de aço, calculou-se essa variação percentual assumindo que a variação média e o intervalo de sua periodicidade se repetiriam no futuro.

Por fim, fez-se uma análise qualitativa ao comparar a projeção de produção de aço utilizada por uma grande empresa brasileira que atua no ramo siderúrgico com o resultado encontrado pelo Modelo Marchetti.

4. O SETOR SIDERÚRGICO

Siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e tratamento do aço. A primeira usina integrada da América do Sul foi a Usina Sabará, em Minas Gerais e data de 1925 (SCHERRER, 2006). No entanto, antes da inauguração da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em 1946, a produção de aço no Brasil era de ínfimas 342 mil toneladas por ano. A partir da entrada em operação da CSN e, especialmente, da inauguração da Acesita, Mannesmann, Cosipa e Usiminas na década de 50, que realmente a produção de aço no Brasil começou a expandir-se.

Devido a dificuldades financeiras para conduzir essas usinas, pouco tempo após sua fundação, elas foram estatizadas (com exceção da CSN que já era estatal) e, após a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (futuro BNDES) em 1952, este dividiu com o governo federal a responsabilidade de gerir as usinas siderúrgicas estatais brasileiras.

Em 1968 foi criado o Plano Siderúrgico Nacional com o objetivo de aumentar a produção nacional de aço, em conformidade com a estratégia do governo de independência industrial do Brasil. O resultado foi que em 1972 o Brasil era o 17º produtor mundial de aço, apesar de responder por apenas 1% da produção mundial (cerca de 6,5 milhões de toneladas de aço) (Scherrer, 2006).

Dando sequência a essa estratégia, continuou-se com o incentivo da industrialização brasileira com foco na substituição das importações, e o parque industrial siderúrgico continuou a ser bastante beneficiado com essa política, tendo o maior volume de recursos financeiros com origem no BNDES. Dessa forma, houve aumento considerável na produção de aço, alcançando 15,3 milhões de toneladas em 1980.

Na década de 80, apesar da crise e recessão econômica no Brasil e no mundo, são inauguradas três siderúrgicas com participação estatal: Açominas, Mendes Jr. e Companhia Siderúrgica Tubarão (CST). A tônica da participação estatal na siderurgia prevalecia, sendo o estado responsável por 70% da produção nacional.

No entanto, a escassez de recursos do período reduziu consideravelmente os investimentos na área, de forma que as usinas foram ficando desatualizadas e obsoletas. As características das usinas estatais, bem como a presença do estado, que antes impulsionavam o crescimento e desenvolvimento das siderúrgicas passou, na década de 80, a não acompanhar mais a velocidade das mudanças requeridas pelo mercado. Tanto que em 1988 começaram as privatizações, primeiro timidamente, em pequenas usinas, para depois, a partir de 1991 com o Programa Nacional de Desestatização (PND), esse processo realmente tomar impulso.

Na mesma época, o Brasil abria o mercado. E as usinas se encontravam em condição de desvantagem em comparação com produtos importados devido, entre

outros fatores, à ausência de competição internacional significativa durante a história da siderurgia brasileira anterior à década de 90.

Modificando totalmente o mercado siderúrgico brasileiro, o processo de privatização gerou aumento da eficiência das empresas, em todas as esferas. O que não mudou foi a importância do BNDES para o setor, uma vez que segue até hoje com papel importantíssimo em linhas de crédito para financiamento para a siderurgia.

Surgiu, portanto, uma nova fase da siderurgia brasileira, gerando aumento da produtividade, entrada no mercado de capitais, desenvolvimento de processos e técnicas de atendimento ao cliente, modernização tecnológica e minimização de alguns impactos ambientais.

Com o processo de privatização consolidado, o mercado siderúrgico brasileiro e mundial se dedicou a uma nova dinâmica, com mais força nos anos 2000, que é a de formação de conglomerados cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades correlatas, ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade. Tanto que o parque siderúrgico brasileiro compõe-se hoje de 28 usinas, mas é administrado por oito grupos empresariais: ArcelorMittal Brasil, Gerdau, CSN, Usiminas, SINOBRAS, V&M do Brasil, Villares Metals e Votorantim Siderurgia.

Na Tabela 4, podemos verificar dados relevantes do mercado siderúrgico brasileiro em 2010. Vale destacar a diferença entre a capacidade instalada e a produção de aço bruto, 26% abaixo. Dentre as principais causas dessa diferença temos: a demanda do mercado, ineficiência produtiva e o efeito dos grandes conglomerados. Um exemplo é o Grupo ArcelorMittal, com usinas e mercados em todo o mundo, independente da capacidade instalada de cada usina, o resultado financeiro é maximizado de forma que o aço vendido para um determinado cliente seja produzido na unidade do grupo que lhe confira o menor custo para essa venda.

Tabela 4. Dados do mercado siderúrgico em 2010 (fonte: Aço Brasil)

DADOS DE MERCADO
Parque produtor de aço: 28 usinas, sendo que 13 integradas (a partir do minério de ferro) e 15 semi-integradas (a partir do processo de ferro gusa com a sucata), administradas por 10 grupos empresariais.
Capacidade instalada: 44,6 milhões de t/ano de aço bruto
Produção Aço Bruto: 32,9 milhões de t
Produtos siderúrgicos: 31,8 milhões de t
Consumo aparente: 26,1 milhões de t
Número de colaboradores: 142.226
Saldo comercial: US\$ 337 milhões - 1,7% do saldo comercial do país
15º Exportador mundial de aço (exportações diretas)
7º Maior exportador líquido de aço (exp - imp): 3,1 milhões de t
Exporta para mais de 100 países
Exportações indiretas (aço contido em bens): 2,7 milhões de t
Consumo per capita de aço no Brasil: 152 quilos de aço bruto/habitante
Principais setores consumidores de aço: Construção Civil; Automotivo; Bens de capital, Máquinas e Equipamentos (incluindo Agrícolas); Utilidades Domésticas e Comerciais.

Fonte: IBS, Instituto Brasileiro de Siderurgia

(<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/numeros--mercado.asp>, acessado em 04/12/2011 às 20:55h)

5. ANÁLISE DOS DADOS

5.1. Análise Inicial

Verificou-se primeiramente a dispersão do histórico de produção no Brasil (Figura 11), conforme banco de dados obtidos de 1967 a 2010. O período de início dos dados coincide com a fase de crescimento da siderurgia nacional. Antes desse período, a CSN respondia por maior parte da produção brasileira, a Belgo Mineira, a Acesita, Mannesmann e outras menores complementavam as menos de 5 milhões de toneladas de aço produzidas anualmente.

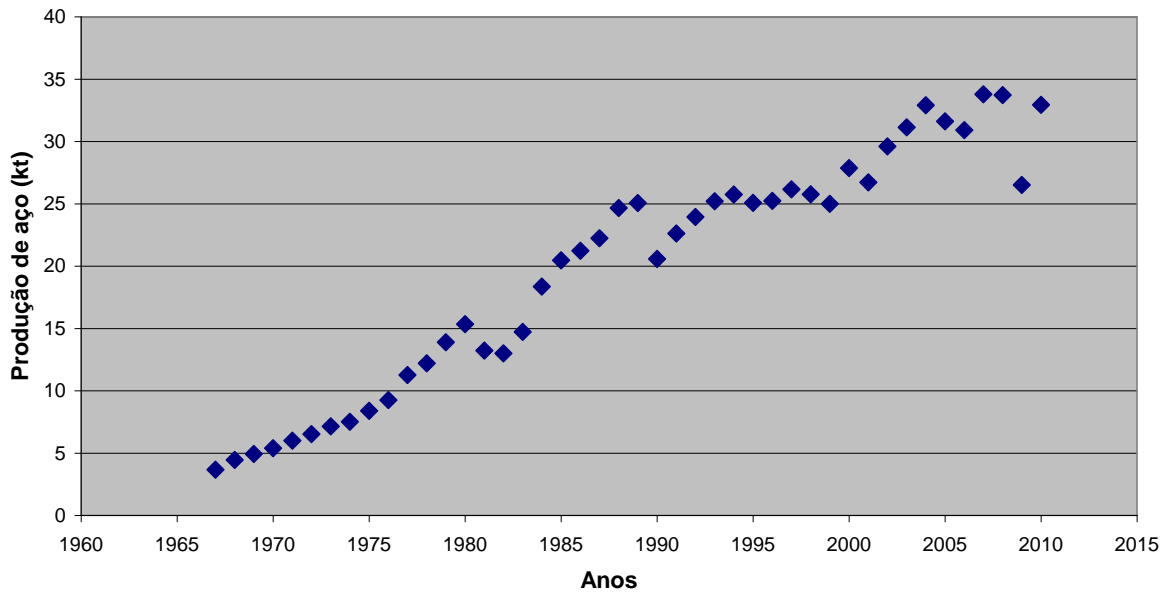


Figura 11. Produção bruta de aço no Brasil (1967-2010)

Fonte: World Steel Association (www.worldsteel.org, acessado em 14/11/2011 às 16:20)

Em seguida, verificou-se o somatório do aço produzido no Brasil ao longo dos anos (Figura 12), pois esses dados que darão origem às análises do modelo. Pode-se verificar nesse gráfico que, de 1967 a 2010, o total de aço produzido no Brasil foi de 871.860.000 toneladas.

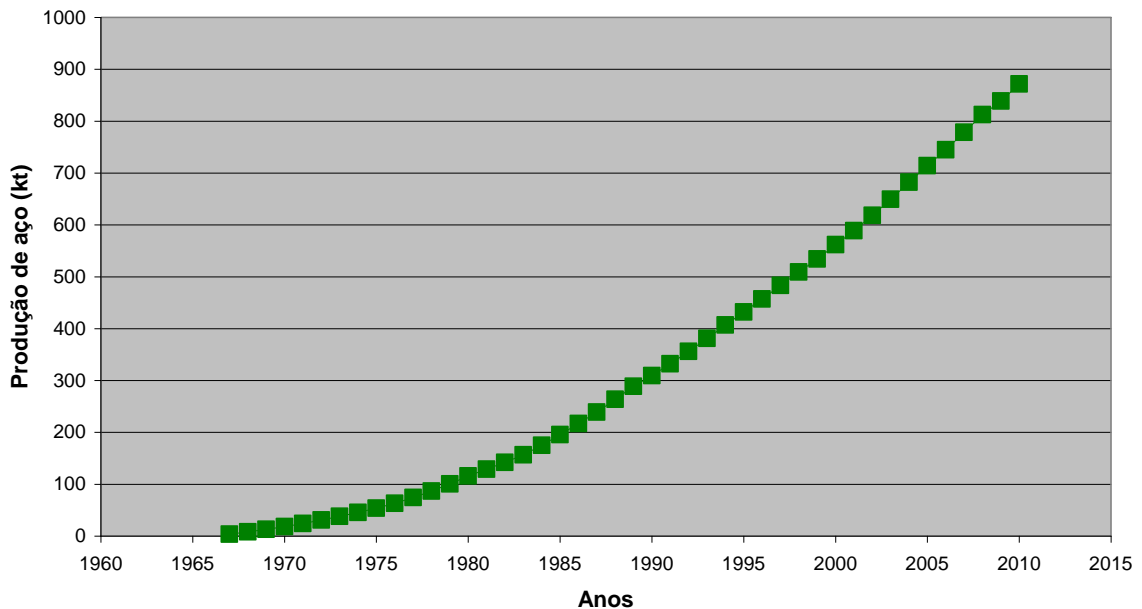


Figura 12. Somatório (cumulativo) da produção de aço no Brasil (1967-2010)

Buscou-se nessa análise preliminar identificar instantes nos quais o comportamento da variável se modificasse completamente. Vemos na Figura 11 uma tendência de crescimento bastante regular, apesar de alguns anos de queda, desde o final da década de 60. Partiu-se, portanto, para as próximas etapas de análise considerando que o comportamento da produção de aço segue uma mesma tendência, constituindo-se, provavelmente, dum ciclo único.

5.2. Determinação do Nicho

A segunda etapa é a mais importante para a aplicação do modelo: a definição do nicho. Uma vez determinado o limite desse sistema, pode-se fazer a previsão anual e determinar, a partir de qual data, se atingiria o regime caótico (indicativo do início de novo ciclo, cujo nicho não pode ser predeterminado).

Inicialmente, utilizou-se a análise de derivação por diferenças finitas (FERREIRA, 2004), que consiste em traçar um gráfico entre os dados anuais brutos em ordenada com o seu cumulativo em abscissa. O ponto de inflexão, caso a curva obtida seja uma parábola como a da Figura 13, é multiplicado por dois para se obter o nicho.

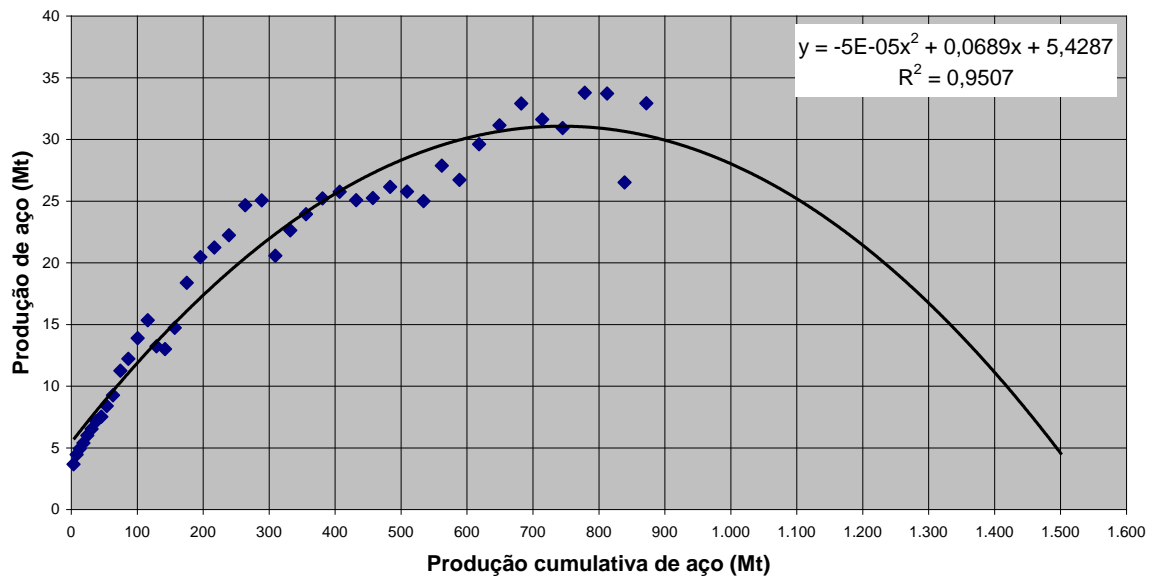


Figura 13. Determinação do nicho pela análise da derivada

Obteve-se por esse método um bom coeficiente de correlação na descrição de uma parábola: 0,95. Sendo assim, o nicho obtido foi de 1.500.000.000t de aço. Considerando que de 1967 a 2010 a produção acumulada foi de 871.862.000t,

pode-se verificar que o ciclo analisado já ultrapassou a metade do nicho, preenchendo 58% do mesmo.

O outro método analisado foi o da melhor correlação de reta para a curva Fisher-Pry, variando, por tentativa e erro, o tamanho do nicho (Figura 14). Nesse caso, a melhor correlação obtida foi para 1.200.000.000t de aço.

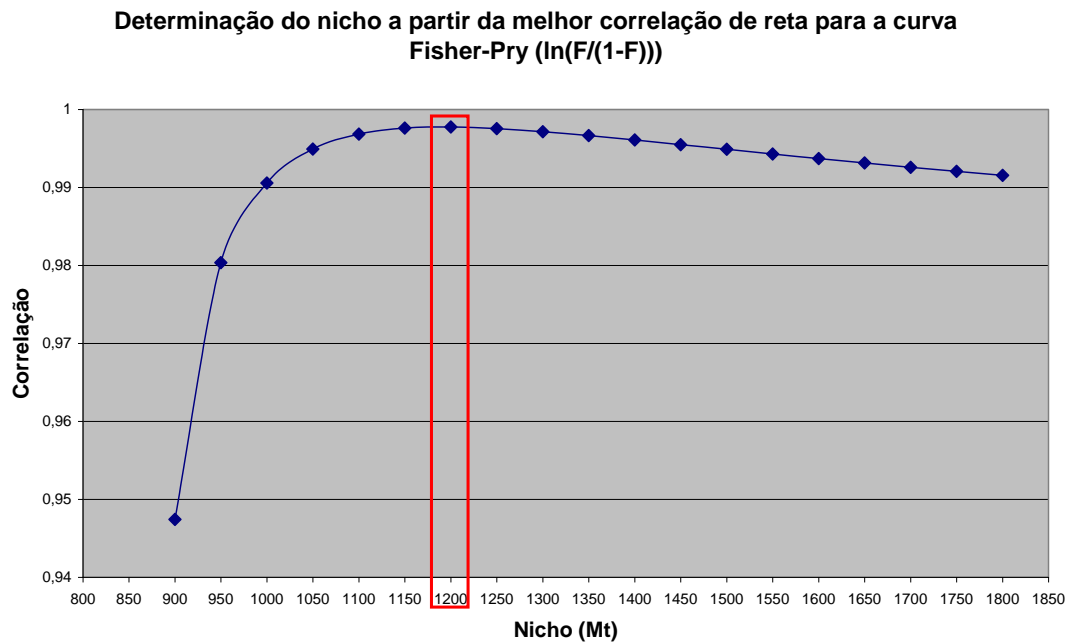


Figura 14. Utilização do coeficiente de correlação na representação Fisher-Pry para determinação do nicho

Escolheu-se como nicho o valor obtido pelo primeiro método, uma vez que o da melhor correlação apresentou uma pequena sensibilidade, visto que para uma grande variação do nicho, desde 1 bilhão de toneladas até 1,8 bilhões de toneladas, o coeficiente de correlação se manteve superior a 0,99.

5.3. Aplicação do Modelo

Conforme descrito no referencial teórico, a presente análise contemplou somente uma variável - aço produzido - e utilizou-se a equação (4). Para maior generalidade, a transformação da equação (3) foi realizada utilizando-se o logaritmo neperiano.

A partir dos dados e da determinação do nicho, a curva representativa linear foi obtida (Figura 15). Conforme descrito na metodologia, a faixa de validade

assumida para o modelo encontra-se entre 10% e 90% do nicho calculado, o que representa um logaritmo neperiano de $F/(1-F)$ de -2,2 e 2,2, respectivamente.

A previsão obtida está representada na Figura 15, reta de cor branca. O seu ciclo de validade, ou ΔT , é de 50 anos, semelhante à maioria dos resultados obtidos via essa metodologia (VARGAS, 2004). Destaca-se principalmente que foi obtido um elevado coeficiente de correlação: 0,995.

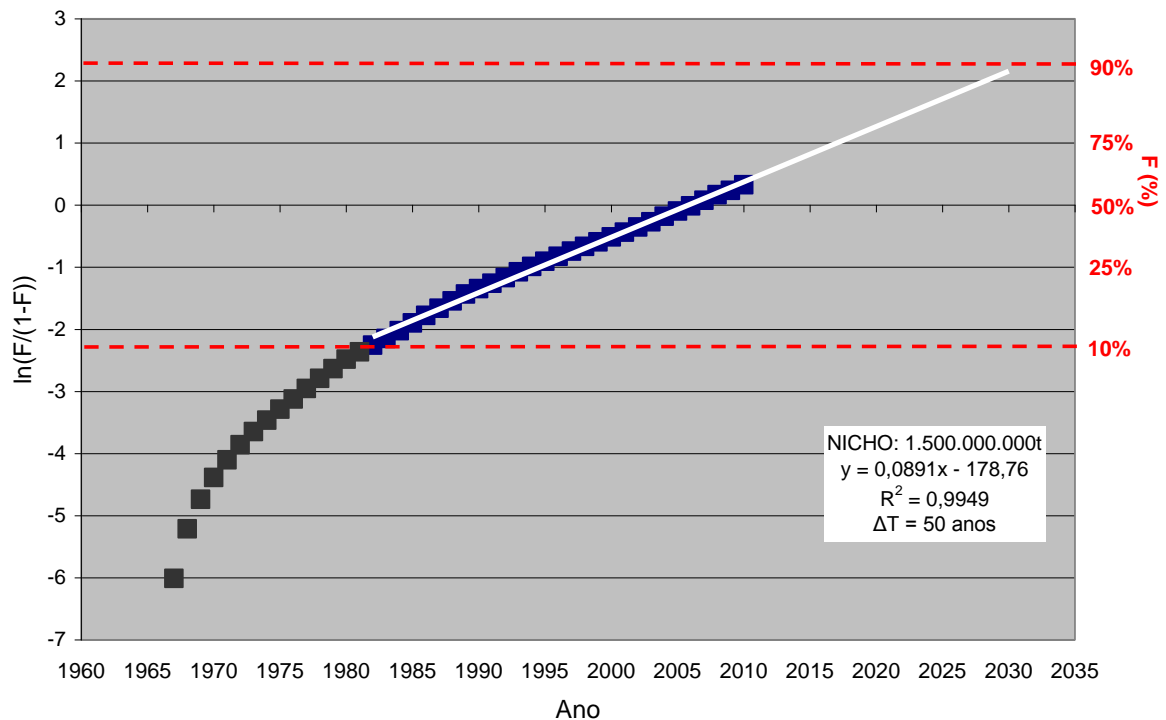


Figura 15. Representação Fisher-Pry da função logística da produção de aço no Brasil (1967 - 2030)

Alternativamente, pode-se avaliar a adequação do modelo pela análise da curva logística (Figura 16). Vê-se que os dados e a curva praticamente se sobrepõem, corroborando os bons resultados obtido pela representação Fisher-Pry.

Indo mais além, com o intuito de obter maior precisão dos resultados do modelo, utilizou-se o desvio entre o calculado e o observado na representação Fisher-Pry, mostrada na Figura 17. Conforme MARCHETTI apud MODIS (1992) a variação entre o observado e o calculado ocorre em ondas. Sendo assim, foi possível também prever qual a tendência dos dados reais, que consiste em, a partir de 2011, revelar tendência de crescimento maior que o calculado. Em azul representam-se os anos nos quais os desvios percentuais são positivos e em vermelho o período no qual a variação é negativa. O ano de 2009 foi representado em amarelo devido à queda brusca na produção por consequência da crise de 2008.

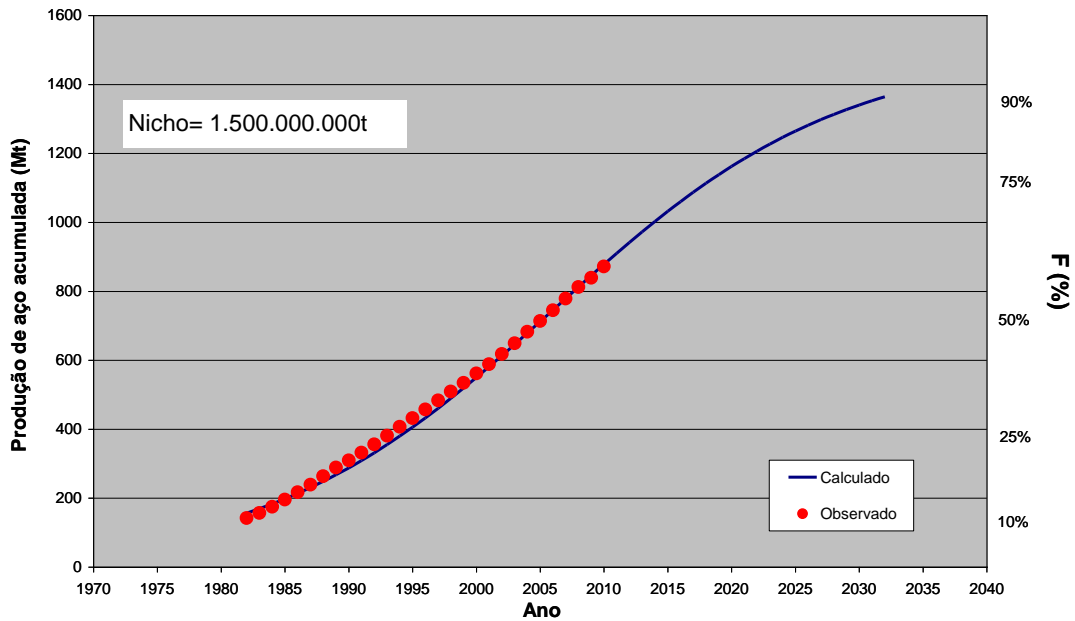


Figura 16. Função Logística da Produção de Aço no Brasil (calculado e observado)

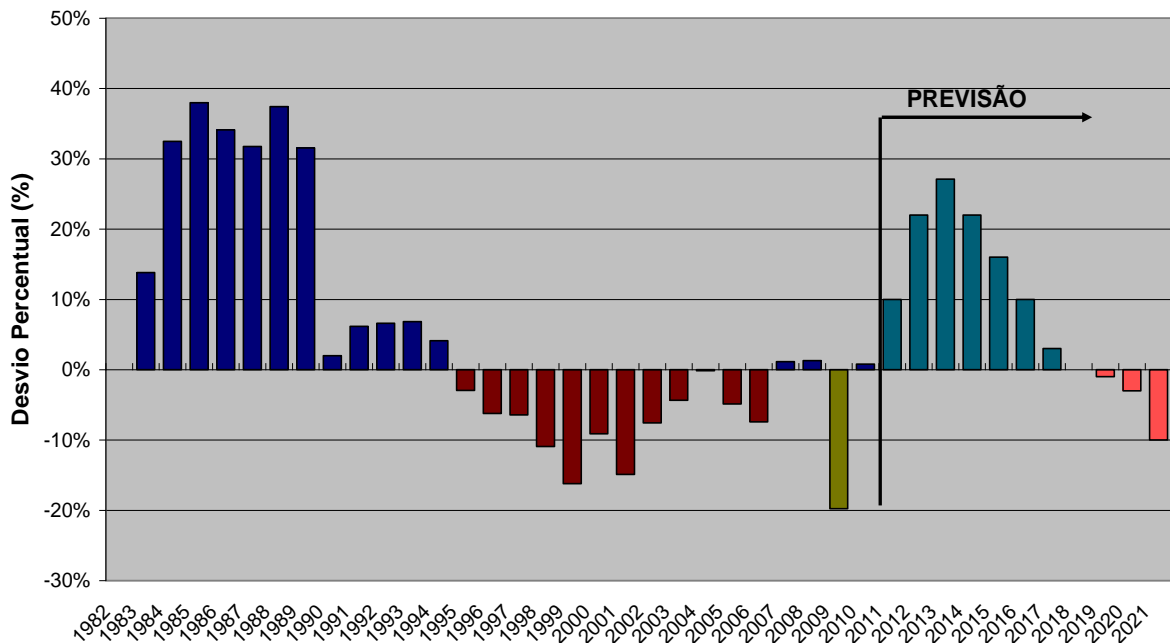


Figura 17. Desvio percentual da produção de aço em relação à representação Fisher-Pry (observado - calculado)

Para o cálculo da previsão a partir de 2011, na Figura 17, considerou-se que cada período de desvio negativo ou positivo dura 12 anos, conforme variações verificadas de 1983 a 1994 e de 1995 a 2006. Levou-se em conta também que a soma do módulo da variação da produção desses períodos deveria ser similar, bem como o módulo do valor máximo. Assim sendo, para o cálculo dos períodos futuros, tirou-se a média dos dois primeiros e assim obteve-se a distribuição aproximada da

variação de 2011 a 2018 que tivesse um formato similar ao apresentado na Figura 10. Em seguida, o mesmo exercício foi feito para a etapa de 2019 a 2031. Contudo, é apresentada na Figura 17 somente a análise até 2021 porque a previsão de produção com a qual o modelo Marchetti foi comparado não apresenta valores de produção para além desse ano.

5.4. Previsão da Produção de Aço

Para a previsão da produção de aço utilizou-se a melhor reta obtida na Fisher-Pry (curva branca) para determinar o valor anual, representado na Figura 18. No mesmo gráfico, foram incluídos dados reais recentes, bem como, para efeito comparativo, uma previsão de produção de aço que uma grande empresa brasileira do setor siderúrgico utiliza.

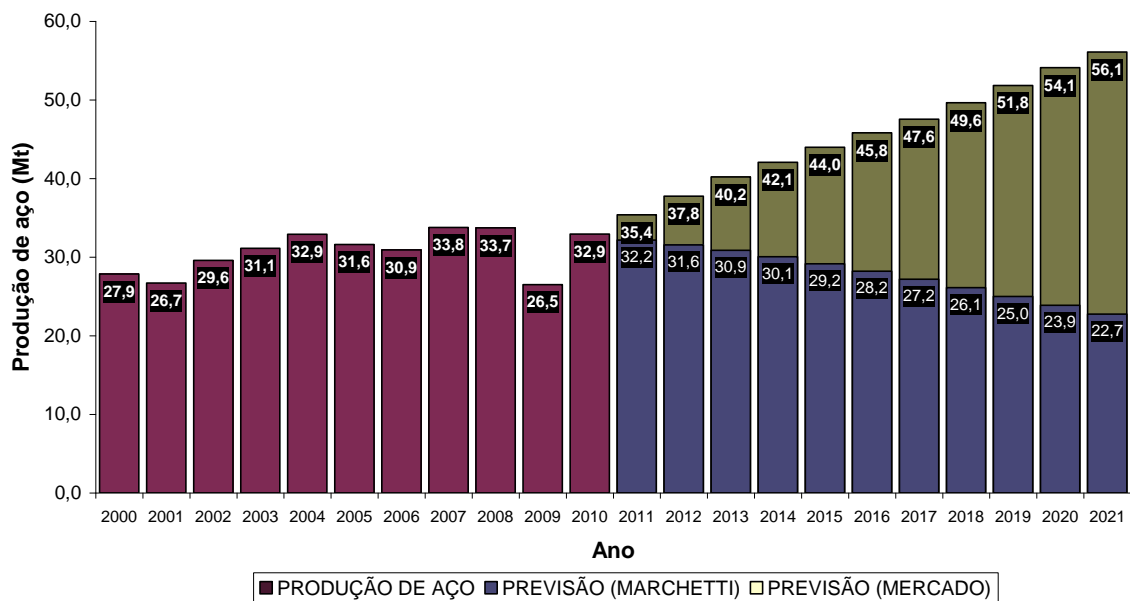


Figura 18. Previsão da Produção de Aço no Brasil (2000 - 2021)

Para aumentar a precisão do modelo, corrigiu-se a previsão da produção com base no comportamento da variação entre o real e o previsto apresentado na Figura 17. Obteve-se, portanto, nova previsão apresentada na Figura 19.

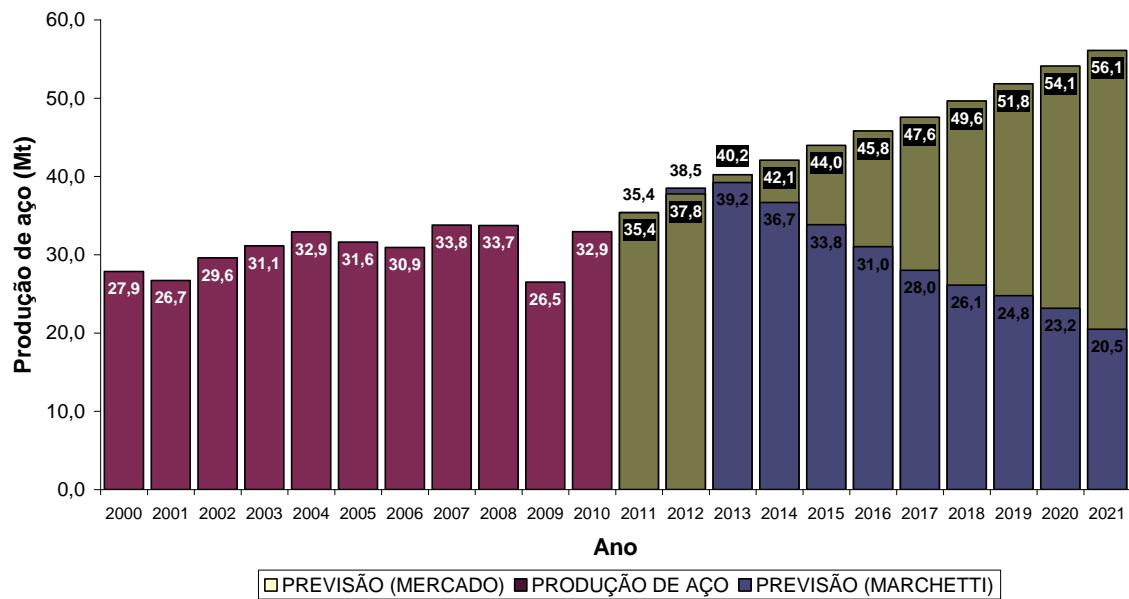


Figura 19. Previsão Corrigida da Produção de Aço no Brasil (2000 - 2021)

Desconsiderando o erro na definição do tamanho do nicho, a incerteza da previsão, de acordo com a tabela 2, é de 3,1% para um nível de significância de 0,95.

Pode-se inferir a partir dos resultados que a aplicação do Modelo Marchetti à produção bruta de aço no Brasil foi satisfatória, uma vez que foi possível estimar o tamanho do nicho e, a partir deste, obter dados futuros com base em uma boa correlação na análise pela Fisher-Pry.

A partir dos valores de produção obtidos, foi possível verificar que o resultado obtido pelo uso do Modelo Marchetti apresenta uma tendência completamente distinta da previsão utilizada para comparação. De acordo com os resultados, o ciclo no qual a produção de aço no Brasil se encontra atualmente já preencheu mais de 50% do seu nicho, e os valores anuais tenderiam a reduzir progressivamente até o preenchimento completo do nicho ou início de uma nova etapa.

Vale destacar que o objetivo da comparação dos resultados desse estudo com uma previsão já existente no mercado não é validar os resultados obtidos e sim possibilitar uma análise qualitativa das previsões. Caso os cenários fossem similares, poder-se-ia concluir que o nível de incerteza sobre o futuro do ramo seria pequeno. Por outro lado, o fato do Modelo Marchetti mostrar uma tendência inversa

à expectativa geral para o setor evidencia que é possível que decisões estratégicas baseadas nesse cenário positivo estejam incorretas.

O foco do trabalho desenvolvido foi de estimar a produção de aço nacional. O tema consumo aparente de aço não foi abordado. Sendo assim, não é possível, a partir do estudo feito, inferir que a prevista diminuição do aço produzido em território nacional esteja relacionada a um desaquecimento da economia brasileira.

É importante destacar, no entanto, que de 1975 a 2009 as importações brasileiras foram em média de 894.000t de aço bruto anuais e não ultrapassaram em nenhum ano 3.000.000t. Entretanto, em 2010 esse número chegou a 5.904.000t, podendo, portanto, a concorrência com aços importados ser uma das possíveis causas para a tendência calculada de queda na produção brasileira de aço.

6. CONCLUSÕES

O Modelo Marchetti foi adequadamente aplicado ao assunto proposto, com erros estimados que podem ser considerados aceitáveis. Além disso, o uso dessa ferramenta preditiva foi analisado e o resultado foi comparado com informação alternativa atualmente corrente no mercado. Pode-se concluir, portanto, que os objetivos desse estudo foram alcançados.

Em linhas gerais, o resultado do trabalho indica que a tendência da produção de aço no Brasil é cadente, e não de expansão. Diversas hipóteses podem ser levantadas para justificar esse comportamento. Entre elas, é possível que causas macroeconômicas resultem em maior importação de aço. Não obstante, 27,3% da produção brasileira de 2010 foi destinada à exportação, o que, em caso de valorização do real, pode representar uma menor competitividade do produto nacional. Não se pode excluir também a influência de uma recessão mundial, à qual o Brasil não estaria imune.

Caberia ainda, numa outra oportunidade, o exame da substituição crescente do aço por outros insumos tais como os materiais plásticos e o alumínio. Outra sugestão de trabalhos futuros é de examinar o comportamento do consumo aparente de aço nacional para compará-lo com a projeção para a produção feita nesse trabalho.

Assim como análises científicas em geral, existem premissas para a aplicação do modelo Marchetti. Uma delas advém de sua própria origem que é a livre competição em sistemas biológicos, outra é que esse sistema seja fechado. Tais considerações estão, no entanto, em consonância com a realidade do setor siderúrgico, pois por um lado é um mercado livre e por outro a entrada a curto prazo de um “intruso” seria, apesar de possível, extremamente complexo para se considerar num modelamento matemático baseado em séries históricas. Em resumo, o modelo não prevê ações externas. A partir do momento que, por exemplo, novas políticas públicas sejam adotadas para alavancar o setor siderúrgico, o modelo perde sua previsibilidade. Nessas circunstâncias, pode-se iniciar um novo ciclo, com um nicho diferente e um período de duração distinto.

REFERÊNCIAS

- BARROS, V. P., OLIVEIRA, E. A., **Do Plausível ao Provável: Um Breve Ensaio Histórico**. Ciências e Cognição (UFRJ), v. 11, p. 184-191. 2007.
- BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. San Francisco. Holden-Day, 1976.
- CRONE, S., **Mining the past to determine the future: Comments**, International Journal of Forecasting, v. 25, p. 456-460. 2009.
- ENDERS, Walter. **Applied Econometric Time Series**. 2^a Ed. New York. Wiley, 2004.
- FERREIRA, O.C., **De Volta ao Petróleo**. Revista Economia e Energia, Belo Horizonte, v. 46, p. 35-44, out-nov. 2004.
- FISHER, J. C., e PRY, R. H., **A Simple Substitution Model of Technological Change**. Technological Forecasting and Social Change, vol. 3, p. 75-88. 1971.
- GOOIJER, Jan G. de, HYNDMAN, Rob J. **25 years of Time Series Forecasting**, International Journal of Forecasting, v. 22, p. 443-473. 2006.
- GUJARATI, Damodar. **Econometria Básica**. 4^a ed. São Paulo. Campus, 2006.
- HALDANE, J.B.S. **The Mathematical Theory of Natural an Artificial Selection**. Cambridge Philosophical Society. Transactions, vol.23, p. 19-41.1924.
- INSTITUTO AÇO BRASIL, **NÚMEROS DE MERCADO**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/numeros--mercado.asp>. Acessado em: 04/12/2011 às 20:55h.
- KONDRATIEV, N.D., **The Long Waves in Economic Life**. The Review of Economic Statistics, v.17, p. 105-115. 1935.
- LOTKA, A. J., **Elements of Physical Biology**. Baltimore. Williams & Wilkins Co., 1925.

MARCHETTI, C., **A forecasting model for research and innovation activities in selected areas**: a support for strategic choices, International Institute of Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1991.

MODIS, T. **Predictions, Society's Telltale Signature Reveals the Past and Forecasts the Future**. New York. Simon & Schuster. 1992.

MONTROL, E. W. and BADGER, W. W. **Introduction to Quantitative Aspects of Social Phenomena**. New York. P. 33-34. Gordon and Breach Science Publishers, 1974.

MONTROL E. W. and GOEL, N. S. **On the Volterra and other Nonlinear Models of Interacting Populations**. Review of Modern Physics, v. 43 (2), p. 231. 1971.

SALLES, A.A. ET AL., **“Um Estudo da Série de Vendas de Automóveis no Brasil através de Métodos Clássicos de Previsão de Demanda”**. XXXIV EnANPAD, Rio de Janeiro, 25 a 29 de setembro de 2010 .

SCHERRER, C.M., **A Indústria siderúrgica Brasileira: Um Estudo Econométrico**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VARGAS, J.I., **A Prospectiva Tecnológica: Previsão com um Simples Modelo Matemático**. Revista Economia e Energia, Belo Horizonte, v. 45, p. 2-37, ago-set. 2004.

VARGAS, J.I., **A Prospectiva Tecnológica: Previsão com um Simples Modelo Matemático (2)**. Revista Economia e Energia, Belo Horizonte, v. 46, p. 8-34, out-nov. 2004.

VARGAS, J.I., **Ciência em Tempo de Crise – 1974-2007**. 1ª Edição. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2007.

VERHULST, P. F. **Recherches Mathematiques sur la Loi de l'Accroissement de la Population**. Nouveaux Memoires de l'Academie Royale des Sciences et de Belles Lettres de Bruxelles, v. 18, p. 1-40. 1845.

VIGLIONI, G., **Metodologia para Previsão de Demanda Ferroviária Utilizando Data Mining**. 2007. 241 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.

VOLTERRA, V., **Leçon sur la Theorie Mathematique de la Lute pour la Vie**. Paris. Gauthier – Vilars, 1931.

WORLD STEEL ASSOCIATION, **STATISTICS ARCHIVE**. Disponível em: <http://www.worldsteel.org>. Acessado em: 14/11/2011 às 16:20.

ZANINI, A., **Redes Neurais e Regressão Dinâmica: Um Modelo Híbrido para Previsão a Curto Prazo da Demanda de Gasolina Automotiva no Brasil**. 78f. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

ANEXO I – Memória de cálculo para determinação da curva Fisher-Pry

Observado

Ano	Dados (Mt)	Cumulativo (Mt)	F	F/(1-F)	LN(F/(1-F))		
1967	3,67	3,67	0,24%	0,002	-6,012	Período desconsiderado por ln(F/(1-F)) menor do que -2,2	
1968	4,45	8,12	0,54%	0,005	-5,214		
1969	4,93	13,04	0,87%	0,009	-4,736		
1970	5,39	18,43	1,23%	0,012	-4,387		
1971	6,00	24,43	1,63%	0,017	-4,101		
1972	6,52	30,95	2,06%	0,021	-3,860		
1973	7,15	38,10	2,54%	0,026	-3,647		
1974	7,52	45,61	3,04%	0,031	-3,462		
1975	8,39	54,00	3,60%	0,037	-3,288		
1976	9,25	63,25	4,22%	0,044	-3,123		
1977	11,25	74,51	4,97%	0,052	-2,951		
1978	12,21	86,71	5,78%	0,061	-2,791		
1979	13,89	100,60	6,71%	0,072	-2,633		
1980	15,34	115,94	7,73%	0,084	-2,480		
1981	13,23	129,16	8,61%	0,094	-2,362		
1982	13,00	142,16	9,48%	0,105	-2,257	Nicho	1.500
1983	14,73	156,89	10,46%	0,117	-2,147	Rquad	0,995
1984	18,37	175,25	11,68%	0,132	-2,023		
1985	20,46	195,71	13,05%	0,150	-1,897		
1986	21,23	216,94	14,46%	0,169	-1,777		
1987	22,23	239,17	15,94%	0,190	-1,662		
1988	24,66	263,83	17,59%	0,213	-1,544		
1989	25,06	288,88	19,26%	0,239	-1,433		
1990	20,57	309,45	20,63%	0,260	-1,347		
1991	22,62	332,07	22,14%	0,284	-1,258		
1992	23,93	356,00	23,73%	0,311	-1,167		
1993	25,21	381,21	25,41%	0,341	-1,077		
1994	25,75	406,95	27,13%	0,372	-0,988		
1995	25,08	432,03	28,80%	0,405	-0,905		
1996	25,24	457,27	30,48%	0,439	-0,824		
1997	26,15	483,42	32,23%	0,476	-0,743		
1998	25,76	509,18	33,95%	0,514	-0,666		
1999	25,00	534,18	35,61%	0,553	-0,592		
2000	27,87	562,05	37,47%	0,599	-0,512		
2001	26,72	588,76	39,25%	0,646	-0,437		
2002	29,60	618,37	41,22%	0,701	-0,355		
2003	31,13	649,50	43,30%	0,764	-0,270		
2004	32,91	682,41	45,49%	0,835	-0,181		
2005	31,61	714,02	47,60%	0,908	-0,096		
2006	30,91	744,93	49,66%	0,987	-0,014		
2007	33,78	778,71	51,91%	1,080	0,077		
2008	33,72	812,43	54,16%	1,182	0,167		
2009	26,51	838,93	55,93%	1,269	0,238		
2010	32,93	871,86	58,12%	1,388	0,328		

ANEXO II – Memória de cálculo da previsão de produção de aço a partir da equação de reta da representação Fisher-Pry

Calculado

Ano	Dados (Mt)	LN(F/(1-F))	F/(1-F)	F	Cumulativo (Mt)	Calculado (Mt)	Desvio Percentual entre observado e Calculado (%)	Produção Corrigida (Mt)
1967	3,67							
1968	4,45							
1969	4,93							
1970	5,39							
1971	6,00							
1972	6,52							
1973	7,15							
1974	7,52							
1975	8,39							
1976	9,25							
1977	11,25							
1978	12,21							
1979	13,89							
1980	15,34							
1981	13,23							
1982	13,00	-2,15	0,12	0,10	156,51			
1983	14,73	-2,06	0,13	0,11	169,45	12,94	14%	
1984	18,37	-1,97	0,14	0,12	183,31	13,86	32%	
1985	20,46	-1,88	0,15	0,13	198,13	14,83	38%	
1986	21,23	-1,79	0,17	0,14	213,97	15,83	34%	
1987	22,23	-1,70	0,18	0,15	230,84	16,87	32%	
1988	24,66	-1,62	0,20	0,17	248,78	17,95	37%	
1989	25,06	-1,53	0,22	0,18	267,83	19,05	32%	
1990	20,57	-1,44	0,24	0,19	288,00	20,17	2%	
1991	22,62	-1,35	0,26	0,21	309,31	21,31	6%	
1992	23,93	-1,26	0,28	0,22	331,76	22,45	7%	
1993	25,21	-1,17	0,31	0,24	355,35	23,59	7%	
1994	25,75	-1,08	0,34	0,25	380,08	24,73	4%	
1995	25,08	-0,99	0,37	0,27	405,91	25,84	-3%	
1996	25,24	-0,90	0,41	0,29	432,83	26,91	-6%	
1997	26,15	-0,81	0,44	0,31	460,77	27,95	-6%	
1998	25,76	-0,72	0,48	0,33	489,70	28,92	-11%	
1999	25,00	-0,64	0,53	0,35	519,53	29,83	-16%	
2000	27,87	-0,55	0,58	0,37	550,19	30,66	-9%	
2001	26,72	-0,46	0,63	0,39	581,58	31,40	-15%	
2002	29,60	-0,37	0,69	0,41	613,61	32,03	-8%	
2003	31,13	-0,28	0,76	0,43	646,17	32,55	-4%	
2004	32,91	-0,19	0,83	0,45	679,12	32,96	0%	
2005	31,61	-0,10	0,90	0,47	712,36	33,23	-5%	
2006	30,91	-0,01	0,99	0,50	745,74	33,38	-7%	
2007	33,78	0,08	1,08	0,52	779,14	33,40	1%	
2008	33,72	0,17	1,18	0,54	812,43	33,29	1%	
2009	26,51	0,26	1,29	0,56	845,47	33,04	-20%	
2010	32,93	0,35	1,41	0,59	878,13	32,67	1%	
2011		0,43	1,54	0,61	910,31	32,17	10%	35,39
2012		0,52	1,69	0,63	941,87	31,57	22%	38,51
2013		0,61	1,84	0,65	972,73	30,86	27%	39,21
2014		0,70	2,02	0,67	1002,78	30,05	22%	36,66
2015		0,79	2,20	0,69	1031,94	29,16	16%	33,83
2016		0,88	2,41	0,71	1060,14	28,20	10%	31,02
2017		0,97	2,63	0,72	1087,33	27,18	3%	28,00
2018		1,06	2,88	0,74	1113,44	26,11	0%	26,11
2019		1,15	3,15	0,76	1138,45	25,01	-1%	24,76
2020		1,24	3,44	0,77	1162,34	23,88	-3%	23,17
2021		1,33	3,76	0,79	1185,08	22,74	-10%	20,47