

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Dissertação de Mestrado

**Desenvolvimento de uma análise sistêmica de cenários prospectivos para o setor de  
pelotas de minério de ferro brasileiro**

Autor: Eduardo Pessotti Rangel

Orientador: Antônio Eduardo Clark Peres

Junho/2012

Eduardo Pessotti Rangel

**Desenvolvimento de uma análise sistêmica de cenários prospectivos para o setor de  
pelotas de minério de ferro brasileiro**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas.

Área de Concentração: Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Antônio Eduardo Clark Peres.

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia  
2012

Dedico este trabalho aos meus filhos  
Tiago, Rafael, Luísa e Clara na expectativa que  
lhes sirva de exemplo e incentivo para irem muito além.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. De forma especial, agradeço:

Ao Prof. Antônio Eduardo Clark Peres pela orientação, direcionamento e principalmente pelo exemplo de profissional dedicado ao processo de formação de acadêmicos e profissionais para a indústria.

Ao Virgílio Costante Gaggiato pelo incentivo, pela amizade e pelo apoio no desenvolvimento com as pesquisas e infindáveis séries de dados para análises e correlações.

Ao Luis Henrique Rodrigues pela amizade e incentivo no meu processo de formação acadêmico-profissional.

Ao Roberto Lúcio Nunes de Carvalho pela amizade, pelo incentivo e companheirismo neste desafio de conciliar atividades acadêmicas com a rotina de trabalho.

À Samarco Mineração pela oportunidade e incentivo a minha formação profissional.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 – OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
3.1 – PLANEJAMENTO DE CENÁRIOS E PENSAMENTO SISTÊMICO .....	6
3.1.1 Histórico de aplicação do planejamento de cenários .....	7
3.1.2 Método de aplicação do planejamento de cenários .....	7
3.1.3 Pensamento Sistêmico .....	9
3.1.4 Histórico de aplicação do pensamento sistêmico .....	11
3.1.5 Método de aplicação do pensamento sistêmico .....	12
3.1.6 Método de aplicação do pensamento sistêmico e planejamento de cenários .....	14
3.2 – SETOR DE MINERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO .....	15
3.3 – TECNOLOGIA: PROCESSOS DE AGLOMERAÇÃO .....	20
3.4 – FUNDAMENTOS ECONÔMICOS .....	22
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	25
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA/ESTUDO .....	25
4.2 – AMOSTRA .....	26
<b>5 DINÂMICA DE EXPLORAÇÃO E CONSUMO DE MINÉRIO DE FERRO</b> .....	27
5.1 –DEFINIÇÃO DA SITUAÇÃO COMPLEXA DE INTERESSE .....	27
5.2 – APRESENTAÇÃO DA HISTÓRIA ATRAVÉS DE EVENTOS .....	27
5.3 – IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES-CHAVE .....	41
5.4 – AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO .....	43
5.5 – IDENTIFICAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS .....	50
5.6 – APLICAÇÃO DE ARQUÉTIPOS .....	51
5.7 – IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS MENTAIS .....	51

5.8 – TRANSFORMAÇÃO DE MODELOS MENTAIS EM ELEMENTOS DO SISTEMA .....	51
5.9 – MODELAGEM .....	52
5.10 – PROJEÇÕES DO SISTEMA .....	52
<b>6 CENÁRIOS – AVALIAÇÃO PROSPECTIVA .....</b>	<b>54</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>63</b>
7.1 – CONCLUSÕES GERAIS DO SISTEMA ESTUDADO .....	63
7.2 – ESTRATÉGIAS ROBUSTAS .....	64
7.3 – AVALIAÇÃO DAS RESERVAS .....	65
<b>8 CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
<b>9 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

3.1 – Influências direta e indiretamente proporcionais entre variáveis .....	10
3.2 – Influências entre variáveis - Simbologia .....	10
3.3 – Método de Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários .....	15
3.4 – A Mineração de ferro e a Siderurgia .....	16
3.5 – Participação dos Produtos de Minério de Ferro no mercado .....	19
3.6 – Aspectos estruturais dos minérios finos .....	21
3.7 – Funcionamento de uma Economia de Mercado .....	23
3.8 – Lei dos Retornos Decrescentes .....	24
5. 1 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço (2900 a.C. – 1300 d.C.) .....	28
5.2 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço (1300 – 1750) .....	29
5.3 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço e Minério de Ferro (1750 – 1900) .....	30
5.4 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço e Minério de Ferro (1900 – 1920) .....	31
5.5 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço e Minério de Ferro (1920 – 1935) .....	32
5.6 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço e Minério de Ferro (1930 – 1945) .....	34
5.7 – Estrutura Sistêmica – Produção de Aço e Minério de Ferro (1945 – 1975) .....	36
5.8 – Estrutura Sistêmica da Indústria Siderúrgica (1990 – 2005) .....	39
5.9 – Estrutura Sistêmica da Indústria de Mineração (1990 – 2005) .....	39
5.10 – Padrões de Comportamento – População, PIB e Produção de Aço (1970 – 2010) ..	44
5.11 – Padrões de Comportamento – Economia, Siderurgia e Mineração (1970 – 2010) ..	45
5.12 – Padrões de Comportamento – Economia, Siderurgia e Mineração (1998 – 2010) ..	46
5.13 – Padrões de Comportamento – Fatores de Consumo da Siderurgia (1998 – 2010) ..	47
5.14 – Padrões de Comportamento – Comércio Transoceânico (1998 – 2010) .....	48
5.15 – Distribuição de Margens da Cadeia Siderúrgica (1995 – 2009) .....	49
5.16 – Preços – Siderurgia e Mineração de Ferro (1998 – 2010) .....	49
5.17 – Estrutura Sistêmica da Indústria Siderúrgica e Mineração de Ferro .....	50
5.18 – Megatendências e seus efeitos na Siderurgia e Mineração de Ferro .....	50
6.1 – Incertezas Críticas - Cenários .....	54
6.2 – Resultados Simulados – Cenário 1 .....	56

6.3 – Resultados Simulados – Cenário 2 .....	58
6.4 – Resultados Simulados – Cenário 3 .....	60
6.5 – Resultados Simulados – Cenário 4 .....	62
7.1 – Dinâmica do Mercado de Minério de Ferro .....	63
7.2 – Reservas de Minério de Ferro X Cenários Estudados .....	66

**LISTA DE TABELAS**

3.I – Classificação dos Produtos de Minério de Ferro .....	16
3.II – Reservas Globais de Minério de Ferro .....	17
3.III – Evolução das Reservas do Quadrilátero Ferrífero .....	18
5.I – Variáveis qualitativas .....	53
6.I – Variáveis de entrada para o Cenário 1 .....	55
6.II – Variáveis de entrada para o Cenário 2 .....	57
6.III – Variáveis de entrada para o Cenário 3 .....	59
6.IV – Variáveis de entrada para o Cenário 4 .....	61

## LISTA DE NOTAÇÕES

**CGEE:** Centro de gestão e estudos estratégicos do Ministério da Ciência e Tecnologia.

**CRU:** Organização global especialista em mineração, metalurgia e fertilizantes.

**MME:** Ministério das Minas e Energia.

**PIB:** Produto interno bruto – representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região.

**PPC:** Perda por calcinação.

**PSPC:** Pensamento sistêmico e planejamento de cenários.

## RESUMO

O setor de mineração, especificamente de minério de ferro, tem passado por profundas transformações advindas das mudanças combinadas de crescimento da demanda, exaustão de reservas de qualidade e do contexto geoeconômico. Essas mudanças aumentaram a complexidade dos processos de planejamento das empresas pelo aumento dos fatores de incerteza e pelas relações não lineares das variáveis críticas à dinâmica dessa indústria. A utilização da metodologia de pensamento sistêmico e planejamento de cenários se mostrou como uma alternativa inovadora no entendimento da dinâmica do mercado e na definição de estratégias robustas para o setor de mineração de ferro brasileiro. A partir de cenários produzidos pela combinação das incertezas relativas aos movimentos de sustentabilidade e crescimento econômico, esse estudo concluiu que o setor de mineração de ferro brasileiro está bem posicionado para aproveitar as oportunidades de mercado e que o processo de pelotização se confirmou como a principal alternativa tecnológica para o novo contexto econômico.

## **ABSTRACT**

The iron ore mining sector has undergone profound changes in its fundamentals as a result of combined factors: demand growth, high quality reserves exhaustion and the geo-economic context. These changes have increased the complexity of the companies planning processes, mainly influenced by uncertainty and the nonlinear relationships of the critical variables of the industry dynamics. The methodology of systems thinking and scenario planning was shown as an innovative alternative to understand and define robust strategies for the Brazilian mining sector (iron ore) to deal with current market dynamics. From scenarios produced by the combination of the uncertainties on the movement of sustainability and economic growth, this study concluded that the iron ore mining industry of Brazil is well positioned to take advantage of market opportunities and the pelletizing process was confirmed as the main technological alternative of this industry in the current economic context.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

A partir do momento que a China começou a se destacar no cenário econômico mundial, uma profunda transformação aconteceu, gerando o que pode ser chamado de uma nova ordem econômica mundial (CGEE, 2010). No ambiente empresarial, as mudanças, que já eram constantes, se intensificaram em frequência e amplitude, gerando ambientes de grandes incertezas e consequentes oportunidades. As incertezas quanto ao que pode acontecer e a velocidade das transformações fazem, das mudanças constantes, elementos fundamentais da competitividade ou mesmo sobrevivência das organizações.

O setor de mineração, especificamente de minério de ferro, tem passado por profundas transformações advindas das mudanças dos fundamentos de mercado (MME, 2010). Avaliados sob uma perspectiva histórica, os produtos da mineração têm sofrido mudanças advindas de vários aspectos: políticos, sociais, ambientais, mas principalmente econômicos e tecnológicos, que estão fortemente influenciados pela qualidade das reservas disponíveis e exploradas.

Com as mudanças bruscas que ocorreram no ambiente de negócios, principalmente após o ano 2000, mesmo as organizações de sucesso, com planejamentos estruturados e fundamentados, têm passado por necessidades de revisões permanentes, como forma de manterem-se competitivas. Processos consagrados de planejamentos estratégicos têm passado por mudanças profundas, baseando-se cada vez menos em análises e fundamentos do passado, e cada vez mais em alternativas sobre o futuro, ou mesmo prospectando um futuro desejado. Uma das evidências mais expressivas dessa afirmação é facilmente identificada no processo de desarticulação da cadeia de suprimentos da siderurgia, gerando descompasso entre os investimentos da siderurgia e mineração, provocando momentos alternados de faltas e sobras de capacidades, gerando grandes variações de preços e movimentos de proteção por parte das empresas e governos.

Moreira (2005) defende a ideia que a competitividade no mundo corporativo deveria ser estudada tomando como referência a sua complexidade e dinamismo. A complexidade refere-se à multiplicidade de fatores que devem ser considerados, e à variedade de relações que pode existir entre elas, e o dinamismo aos tipos e intensidade das mudanças.

A utilização da metodologia de pensamento sistêmico e planejamento de cenários desponta como uma alternativa inovadora que potencializa a possibilidade de entendimento da dinâmica de exploração e comercialização de minério de ferro, em especial uma avaliação sobre a oportunidade de mercado dos produtores de pelotas de minério de ferro, visto que, com a exaustão das reservas de qualidade, o granulado natural tende a ser completamente substituído por aglomerados de finos de minério de ferro - *sinter* ou *pellets*. Considerando aspectos de pressões ambientais e deterioração da qualidade das reservas, mesmo o processo de sinterização passa por restrições, o que abre uma oportunidade expressiva para os produtores de pelotas de minério de ferro.

Conforme citado por (CGEE, 2010) “a degradação das reservas e da produção de minério granulado, em volume e qualidade, tem se mostrado uma tendência predeterminada. Em 1983, a produção mundial de granulado foi de 108 milhões de toneladas, o equivalente a 45% do mercado transoceânico e a 25% da produção total de minério de ferro. Em 2000, a despeito do crescimento considerável da produção global de minério de ferro, a quantidade de granulado já havia retraído para 77 milhões, passando a representar apenas 19% do mercado transoceânico e 8% da produção global do minério”.

Desse modo, o desenvolvimento deste trabalho buscou promover a integração entre pensamento sistêmico e planejamento de cenários, para tentar compreender, organizar e tratar a complexidade, o dinamismo e a incerteza, implícitos ao ambiente empresarial contemporâneo e identificar estratégias robustas para o setor de mineração de minério de ferro brasileiro.

## **CAPÍTULO 2: OBJETIVOS**

### **2.1 – OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver uma análise sistêmica do mercado de minério de ferro, mais especificamente *pellets* de minério de ferro brasileiro e avaliar a demanda futura, por intermédio da construção de cenários prospectivos para o setor.

### **2.2 – OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Tratando-se de uma pesquisa aplicada, os objetivos específicos devem atender aos anseios acadêmicos e àqueles das organizações a serem referenciadas.

#### **Do ponto de vista da academia o presente trabalho tem por objetivos:**

- aplicação de um estudo de pensamento sistêmico e de planejamento de cenários visando à aprendizagem por meio de visualização de possíveis rumos para o setor, em especial à demanda de pelotas de minério de ferro;
- desenvolvimento de uma estrutura sistêmica, buscando a representação do inter-relacionamento das principais variáveis do setor de mineração de ferro e da siderurgia, para identificação das alavancas do consumo de *pellets* de minério de ferro.

#### **Do ponto de vista empírico, a presente pesquisa tem por objetivo:**

- desenvolvimento de cenários prospectivos para o setor de mineração de minério de ferro.

**Hipótese a ser testada:**

A demanda crescente por minério de ferro, combinada à exaustão das reservas de qualidade, pode promover crescimento exponencial da demanda por pelotas de minério de ferro. Neste contexto, os produtores brasileiros devem identificar e explorar suas vantagens competitivas, visto que o Brasil vem se apresentando como principal fornecedor de pelotas de minério de ferro para o mercado transoceânico.

**Exclusões de escopo:**

Este trabalho de pesquisa não teve por objetivo:

- aprofundar discussão sobre os métodos matemáticos utilizados para a modelagem;
- garantir pesquisa exaustiva das reservas mundiais, qualidades mineralógicas, projetos e empresas;
- exploração de outras variáveis que podem influenciar no processo de aglomeração;
- tratar as questões de competitividade relativas a custos de processamento e logísticos.

### **CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresenta-se o referencial teórico acerca dos tópicos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Na primeira seção desta revisão apresentam-se a origem, os princípios e o método de aplicação do planejamento por cenários e pensamento sistêmico, bem como a integração destes. Essa metodologia será utilizada como base instrumental para o desenvolvimento do estudo e conclusões obtidas a partir deste.

A seguir apresenta-se uma análise do setor de minério de ferro, considerando aspectos gerais acerca das reservas mundiais e suas tendências quanto à qualidade e aplicação dos produtos, explorando com um nível maior de detalhe as reservas brasileiras. Maiores detalhes serão apresentados no capítulo “Dinâmica de exploração e consumo de minério de ferro”. Além disso, desenvolve-se uma avaliação do contexto social, político, ambiental e econômico, bem como as bases de informações que servirão de referencial à construção do modelo dinâmico.

No item seguinte, será apresentada uma revisão dos principais processos de aglomeração – sinterização e pelletização. Particularidades sobre aspectos características dos minerais e suas relações com as tecnologias de aglomeração serão exploradas superficialmente, buscando identificar elementos importantes para subsidiar a análise de cenários e as relações sistêmicas entre as variáveis estudadas.

Considerando que as questões econômicas representam fatores importantes para a dinâmica da indústria, esta revisão, contempla, por fim, os conceitos fundamentais de economia que facilitam o entendimento do processo analítico utilizado no desenvolvimento desta pesquisa.

### 3.1 PLANEJAMENTO DE CENÁRIOS E PENSAMENTO SISTÊMICO

Morandi (2008) adotou a definição de cenários de Schwartz (2000): “uma ferramenta para ordenar as percepções de uma pessoa sobre ambientes futuros alternativos, nos quais as consequências de sua decisão vão acontecer”. Esta mesma definição foi utilizada como referência para o desenvolvimento deste trabalho.

Segundo Moreira (2005), o planejamento por cenários, utilizado para auxiliar as empresas e governos a enfrentar a realidade de negócios cada vez mais complexa, é uma abordagem adequada por tratar a ambiguidade, a complexidade e as incertezas da atualidade como parte do método. Este desafia os modelos tradicionais que definem um futuro pretendido e produzem estratégias engessadas e sem flexibilidade para lidar com dinâmica do ambiente de negócios. Parte-se do princípio que, como não se pode prever o ambiente futuro em que a organização estará inserida, vários possíveis ambientes futuros devem ser analisados e “experimentados” pelos tomadores de decisões, para, a partir daí, decidir por uma ou outra estratégia. Se possível, identificar estratégias que sejam comuns a mais de um cenário simultaneamente, caracterizando estratégias chamadas de estratégias robustas.

O processo de construção de cenários, assim como um simulador de vôlei, se presta a permitir que situações pouco prováveis possam ser “experimentadas” por tomadores de decisão. Esse processo de experimentação permite o entendimento mais profundo das forças que definem uma determinada condição e suas consequências sobre o objeto de estudo. Segundo Schwartz (2000), o processo de construção de cenários propicia um aumento significativo da agilidade na correção dos rumos estratégicos de uma organização, visto que o processo promove um aprendizado significativo e amplia a capacidade de percepção de sinais fracos do ambiente, que antecipam mudanças de cenários.

Portanto, o desenvolvimento de cenários auxilia a adotar uma visão mais abrangente e de longo prazo, de um mundo de grandes incertezas, e tem como propósito ajudar as pessoas e, principalmente, líderes de organizações a mudarem suas visões da realidade, para

adequá-las mais intimamente à realidade como ela é e como poderá vir a ser, quiçá em condição de influenciar a criação de uma realidade futura adequada às estratégias das organizações por eles representadas.

Moreira (2005) concorda com diversos autores em que o foco do planejamento de cenários está na competência das organizações em perceber as mudanças no ambiente de negócios e adaptar-se o mais rápido possível, produzindo vantagens competitivas sustentáveis.

### **3.1.1 Histórico de aplicação do planejamento de cenários**

Morandi (2008) comenta que o planejamento de cenários tem seu começo ligado aos jogos de guerra militares, tendo passado para o domínio civil durante a II Guerra Mundial.

Dentre as inúmeras aplicações de planejamento de cenários, a Royal Dutch/Shell é reconhecida historicamente como um dos principais destaques na aplicação da metodologia, que foi apontada como uma das principais alavancas da competitividade da empresa que avançou várias posições entre as maiores empresas petrolíferas durante a crise do petróleo na década de 80.

A partir da reconhecida posição de liderança no mercado internacional, a Shell tem lançado revisões de suas visões de 50 anos, que têm servido de referência consagrada para todas as organizações que adotam esta metodologia em seus processos de planejamentos.

### **3.1.2 Método de aplicação do planejamento por cenários**

Dentre várias abordagens e métodos de planejamento por cenários, neste trabalho optou-se pela proposta de Schwartz, que, de acordo com Andrade et al. (2006), descreve um apanhado das melhores práticas comuns às diferentes abordagens.

Andrade et al. (2006) desenvolveram um conjunto estruturado e sequencial de passos para orientação de planejamento por cenários. Resumidamente, os principais passos são:

- a questão central ou a decisão central: essa etapa tem como objetivo definir claramente o objeto de estudo, bem como aspectos complementares ao objetivo central que serão utilizados como orientação para todas as etapas do trabalho.
- os fatores-chave a serem considerados: basicamente uma listagem dos indicadores ou fatores-chave que serão utilizados para avaliação dos resultados obtidos, se possível considerando referenciais externos.
- as forças motrizes: listagem dos principais fatores que possam influenciar os fatores-chave. Posteriormente esses fatores são classificados em tendência pré-determinada ou incerteza crítica. As tendências pré-determinadas são assim classificadas quando os fatores têm comportamento futuro conhecido, as incertezas críticas são assim definidas quando os fatores apresentam diferentes comportamentos, sendo de difícil previsibilidade.
- hierarquizar por importância e incerteza: o objetivo neste passo é definir prioridades, principalmente para as incertezas críticas que serão utilizadas para definição de eixos de cenários. O número de cenários é produto da combinação das incertezas críticas. Recomenda-se um cuidado metodológico, buscando o máximo grau de “independência” entre as variáveis (incertezas críticas) que definem os eixos de cenários.
- selecionar a lógica dos cenários: definições claras para as forças motrizes adotadas como eixos de cenários.
- incorporar os cenários: promover entendimento acerca da influência dos fatores-chave sobre as forças motrizes e vice-versa, em cada um dos cenários.

- determinar as implicações: este passo tem por objetivo avaliar a realidade do cenário frente ao objeto de estudo, respondendo questões do tipo: “quais fatores levariam a esse cenário?”, “o que aconteceria com o objeto de estudo nesse cenário?”, “que tipo de estratégia deveria ser adotada para alcance dos objetivos nesse cenário?”, “como preparar a organização para este cenário?”, etc.

- selecionar indicadores e sinalizadores de cenários: este passo teria por objetivo estabelecer um processo de monitoramento do ambiente de negócios de modo a poder antecipar decisões e rever posicionamentos das organizações.

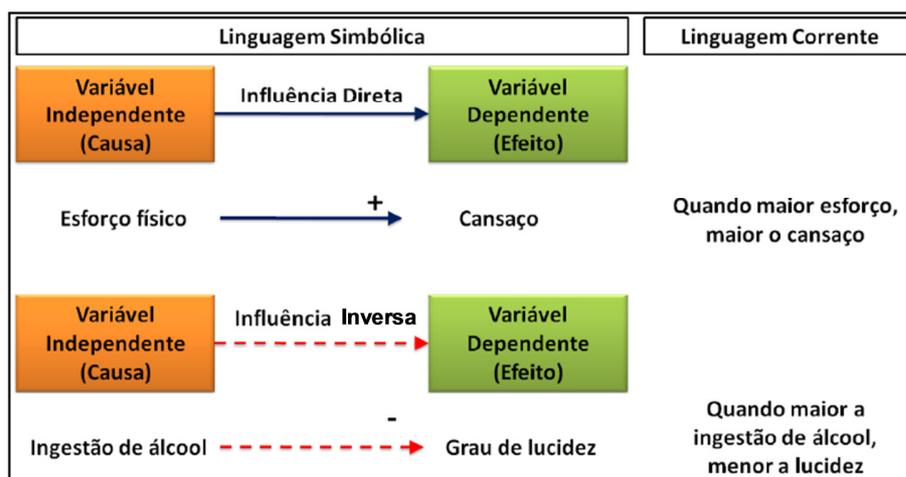
### **3.1.3 Pensamento Sistêmico**

Senge (2002), apud Moreira (2005), defende que a maioria das ações estratégicas são resultados de visões de mundo de indivíduos. Essas visões de mundo são meros resultados de modelos mentais desenvolvidos a partir de vivências e comportamentos distintos entre os indivíduos. Uma vez que estes modelos mentais representam limitações em enxergar diferentes realidades, o pensamento sistêmico se presta a oferecer uma linguagem que permita ampliar e reestruturar o pensar desses indivíduos, de modo que o conhecimento produzido seja maior que a soma das partes.

Segundo Moreira (2005), o principal desafio do pensamento sistêmico é a criação de convergência dos diferentes modelos mentais, a construção de uma realidade mais ampla e conectada, que possa integrar diferentes elementos e dimensões, de forma explícita ao entendimento dos indivíduos de uma determinada organização. Esse entendimento é produzido a partir de uma linguagem própria que, segundo Senge (2002) e Andrade et al. (2006), deve ser simples e fazer uso de representações suficientes para entendimento dos eventos e do relacionamento entre estes.

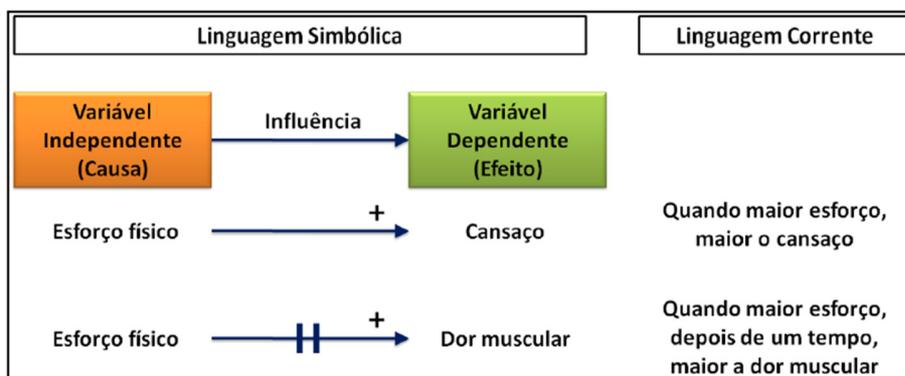
O relacionamento entre esses eventos ou variáveis pode ser de natureza direta ou inversa, independentemente da intensidade ou da simultaneidade entre ações e resultados. Nas

relações diretas, as variáveis independentes (causa) produzem efeitos diretamente proporcionais às variáveis dependentes (efeito), no caso das relações inversas, os efeitos sobre as variáveis dependentes são inversamente proporcionais às variações das variáveis independentes. Para este trabalho, as relações serão representadas conforme a Figura 3.1.



**Figura 3.1** – Influências direta e indiretamente proporcionais entre variáveis.  
Fonte: Neto, 2010

Além das relações diretas ou inversas, as variáveis podem apresentar variações de tempo entre uma ação (variável independente) e a reação sobre a variável dependente. Essa relação é representada neste trabalho conforme simbologia da Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Influências entre variáveis – Simbologia.  
Fonte: Neto, 2010

### 3.1.4 Histórico de aplicação do pensamento sistêmico

O pensamento sistêmico tem origens na dinâmica de sistemas, desenvolvida por W. Forrester na década de 50. O conceito fundamental utilizado na época era relacionado a sistemas de controle de realimentação. Posteriormente, o pensamento sistêmico ficou amplamente difundido a partir do lançamento do livro “A quinta disciplina” de Peter Senge, na década de 90.

Para o pensamento sistêmico, o entendimento do comportamento de um determinado sistema se dá principalmente através do inter-relacionamento entre as partes. Segundo Andrade et al. (2006), o processo de pensar sistemicamente se estabelece por níveis de conhecimento de um determinado sistema.

O primeiro nível, o mais evidente, é o nível dos **eventos**. É com base nesses eventos que a maioria das situações são explicadas. É o que alguns autores, de forma pejorativa, classificam como visão cartesiana. A parte complexa explorada pelo pensamento sistêmico aprofunda a análise dos eventos em mais três níveis: os padrões de comportamento, as estruturas sistêmicas e os modelos mentais.

Os **padrões de comportamento** permitem a ampliação das análises dos eventos avaliando as variáveis que a definem a partir de séries históricas. Normalmente neste nível de análise é possível ampliar análises sobre as variáveis e algumas vezes identificar distorções expressivas e análises equivocadas de alguns eventos.

As **estruturas sistêmicas** representam um maior nível de profundidade das análises, considerando os eventos, padrões de comportamento e as relações entre as variáveis que produzem um determinado evento.

O nível mais profundo da análise refere-se aos **modelos mentais**, que representam a forma como os indivíduos enxergam uma determinada realidade e como estes atuam.

Para Senge (2006), “o pensamento sistêmico é uma disciplina para ver o todo. É um quadro referencial para ver inter-relacionamentos, ao invés de eventos: para ver os padrões de mudança, em vez de fotos instantâneas”.

Para colocar em prática os conceitos delineados pelo pensamento sistêmico, uma linguagem sistêmica e universal foi desenvolvida. Esta linguagem trata basicamente em indicar se a relação é direta ou indireta: para as relações diretas, as variáveis apresentam variações em mesmo sentido; para as relações indiretas, as variáveis apresentam variações em sentidos inversos. Além disso, trata a questão de temporalidade entre as variáveis, sendo esta, uma das principais fontes de distorções das análises por eventos.

### **3.1.5 Método de aplicação do pensamento sistêmico**

O método proposto por Andrade et al. (2006) foi utilizado para desenvolvimento dessa pesquisa. Este método estabelece um conjunto de passos sequencialmente organizados para aplicação do pensamento sistêmico, conforme apresentado, resumidamente, a seguir.

#### **i. Definição de uma situação complexa de interesse**

O principal objetivo dessa etapa é o estabelecimento claro de um determinado problema, com delimitações claramente definidas e entendidas pelos participantes do grupo de estudo. É desejável que o grupo de estudo seja multidisciplinar, de modo que a análise seja o mais abrangente possível.

#### **ii. Apresentação da história através de eventos**

O objetivo dessa etapa é analisar o primeiro nível da realidade - dos eventos, buscando esgotar as análises perceptíveis do comportamento de um determinado elemento. Se possível, deve-se explorar elementos subjacentes ao evento. Nesta etapa estabelece-se o

horizonte de tempo que será utilizado na análise dos eventos, buscando apreender o conhecimento histórico e compartilhá-lo com o grupo de estudos.

**iii. Identificação dos fatores-chave**

Nesta etapa os eventos são analisados de modo a identificar os fatores ou variáveis que descrevem aquele evento ou situação.

**iv. Avaliação do comportamento**

Esta etapa representa a mudança para o segundo nível do pensamento sistêmico, os padrões de comportamento. As variáveis identificadas e selecionadas nas etapas anteriores são analisadas considerando seu comportamento no horizonte de tempo definido. O objetivo principal dessa etapa é identificar comportamentos do passado e analisar as tendências de futuro.

**v. Identificação das influências**

Avançando em mais um nível da realidade, nesta etapa são produzidas as estruturas sistêmicas. Para o desenvolvimento das estruturas sistêmicas, as relações entre as variáveis definidas nas etapas anteriores são analisadas possibilitando o entendimento das relações que causam os padrões de comportamento apresentados na etapa anterior. Estas relações podem apresentar naturezas lineares ou circulares, com ou sem temporalidade.

**vi. Aplicação de arquétipos**

Esta etapa é facultativa, dependendo do nível de conhecimento da equipe de trabalho. Os arquétipos representam estruturas sistêmicas reconhecidas, que normalmente são reproduzidas em diferentes sistemas e, quando utilizadas, facilitam o entendimento da estrutura sistêmica.

**vii. Identificação de modelos mentais**

Conforme apresentado anteriormente, esta etapa atinge o último nível de análise preconizado pelo pensamento sistêmico. Nesta etapa são identificados os indivíduos ou organizações que influenciam no sistema em estudo, com o objetivo de levantar crenças e pressupostos desses elementos e como eles podem influenciar o sistema.

#### **viii. Transformação de modelos mentais em elementos do sistema**

Nesta etapa os modelos mentais são transformados em elementos da estrutura sistêmica. Segundo Senge (2006), do ponto de vista da dinâmica de sistemas, os indivíduos e seus modelos mentais são parte do sistema.

#### **ix. Modelagem**

Etapa também facultativa no processo de pensamento sistêmico, essa etapa pode ser muito útil quando o trabalho se presta a projetar o sistema no futuro, ou mesmo analisar os efeitos sistêmicos de ações pontuais.

O processo de modelagem tem por objetivo a construção de modelos quantitativos, ou simuladores, a partir de modelos qualitativos (mapa sistêmico). Este processo considera a adoção de técnicas de dinâmica de sistemas.

Segundo Andrade et al. (2006), a modelagem em dinâmica de sistemas consiste basicamente em representar os processos de um sistema que definem o seu comportamento.

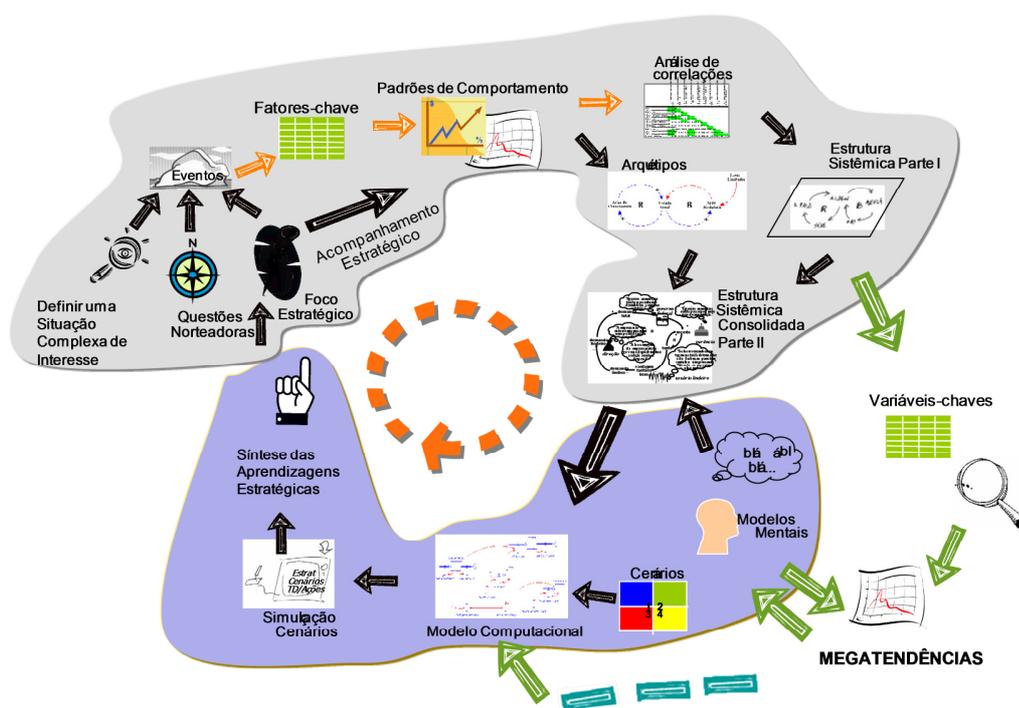
#### **x. Projeção do sistema**

Última etapa do método, o objetivo dessa etapa é planejar as alterações na estrutura visando atingir os objetivos desejados. Através de experimentos, é possível identificar os pontos de alavancagem do sistema, isto é, os elementos da estrutura sistêmica que demandam o menor nível de esforço para a transformação desejada.

### **3.1.6 Método de aplicação do pensamento sistêmico e planejamento de cenários**

Segundo Andrade et al. (2006), as metodologias de pensamento sistêmico e planejamento de cenários apresentam sinergias importantes e a integração dessas pode potencializar a capacidade e abrangência na solução, ou mesmo dimensionamento, de sistemas complexos.

O desenvolvimento desse trabalho utiliza o método chamado PSPC – Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários proposto por Morandi (2008) conforme figura 3.3.



**Figura 3.3** – Método de Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários.  
Fonte: Morandi, 2008, Adaptado pelo Autor

### 3.2 SETOR DE MINERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

A mineração de ferro está experimentando crescimento auspicioso, projetando fortes demandas futuras, principalmente em função dos processos de urbanização e construção de infraestrutura nos países asiáticos, com destaque para a China (CGEE 2008).

O minério de ferro é a principal matéria-prima da siderurgia. Analisando-se a Figura 3.4 pode-se observar o processo de integração entre a mineração e a siderurgia. É importante mencionar que as operações de exploração e beneficiamento de minério de ferro produzem diferentes produtos, conforme apresentados na Tabela 3.I.

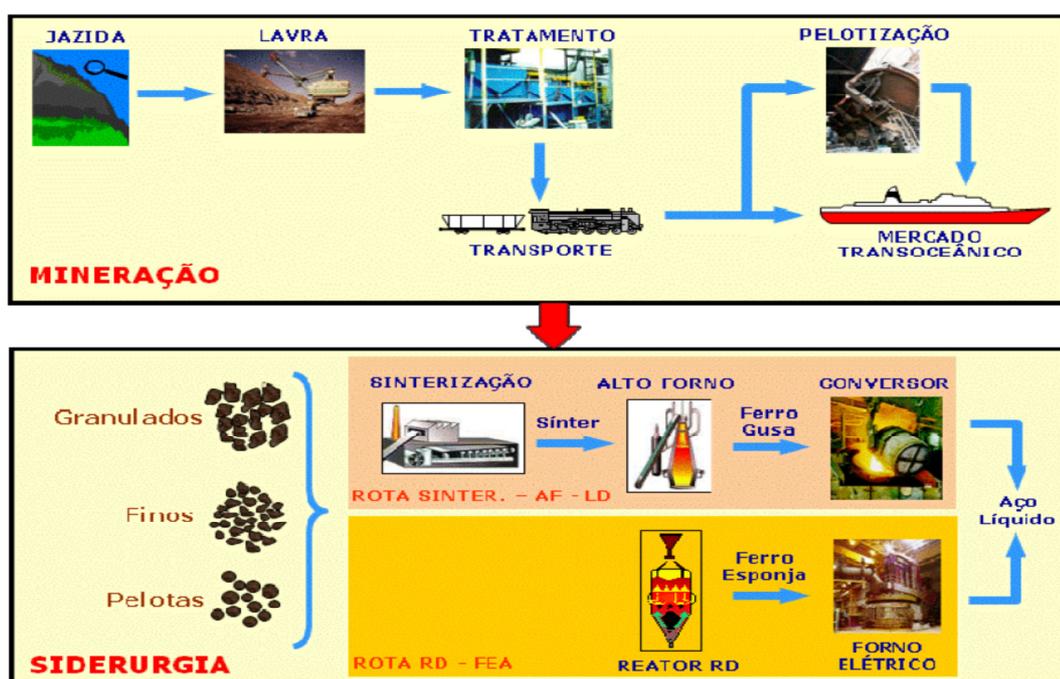


Figura 3.4 – A Mineração de ferro e a Siderurgia.

Fonte: CGEE, 2008

Tabela 3.I – Classificação dos Produtos de Minério de Ferro

PRODUTO	FAIXA DE TAMANHO (mm)	APLICAÇÃO BÁSICA
"Lump" ou Granulado	6,3 a 31,7	Alto-Forno e Redução Direta
"Sinter Feed"	0,15 a 6,3	Aglomeração por Sinterização
"Pellet Feed"	< 0,15	Aglomeração por Pelotização

Fonte: CGEE, 2008

Entre os mais abundantes na crosta terrestre, com aproximadamente 5%, os minerais de ferro ocorrem numa variada forma de minerais e composições, fatores esses que são determinantes em suas aplicações (BOYD, 2011). Os principais minerais de ferro são: a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), e complexos hidratados, como a goethita (CGEE, 2008).

Conforme apresentado na Tabela 3.II, as reservas conhecidas somam 170 bilhões de toneladas, destas 80 bilhões em conteúdo metálico, isto é, 47,1% de teor médio. Apresenta ainda que o volume mapeado como recurso é significativamente maior com 800 bilhões de toneladas, porém o teor médio é reduzido para 28,8%.

**Tabela 3.II – Reservas Globais de Minério de Ferro**

(Milhões tons)	Reserva	Conteúdo Metálico	CM/R
Estados Unidos	6.900	2.100	0,30
Austrália	35.000	17.000	0,49
Brasil	29.000	16.000	0,55
Canada	6.300	2.300	0,37
China	23.000	7.200	0,31
India	7.000	4.500	0,64
Iran	2.500	1.400	0,56
Kazakhstan	3.000	1.000	0,33
Mauritania	1.100	700	0,64
Mexico	700	400	0,57
Russia	25.000	14.000	0,56
África do Sul	1.000	650	0,65
Suécia	3.500	2.200	0,63
Ucrânia	6.000	2.100	0,35
Venezuela	4.000	2.400	0,60
Outros Países	12.000	6.000	0,50
<b>Reservas Mundiais</b>	<b>170.000</b>	<b>80.000</b>	<b>0,47</b>
<b>Recursos Mundiais</b>	<b>800.000</b>	<b>230.000</b>	<b>0,29</b>

Fonte: U.S. Geological Survey, 2012

Conforme apresentado na Tabela 3.II, o aspecto teor de ferro provê ao Brasil vantagens competitivas estruturais em relação aos demais países produtores de minério de ferro.

As reservas de minério de ferro globais têm aumentado no tempo, principalmente em função de intensificação de pesquisas geológicas, desenvolvimento de tecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro, avanços nas tecnologias de processamento mineral e condições favoráveis de mercado (CGEE, 2008). No Brasil, é importante ressaltar que apesar do aumento de suas reservas, as ocorrências têm se concentrado em itabiritos, isto é, camadas hematita intercaladas com camadas de quartzo. A Tabela 3.III representa a evolução das reservas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero.

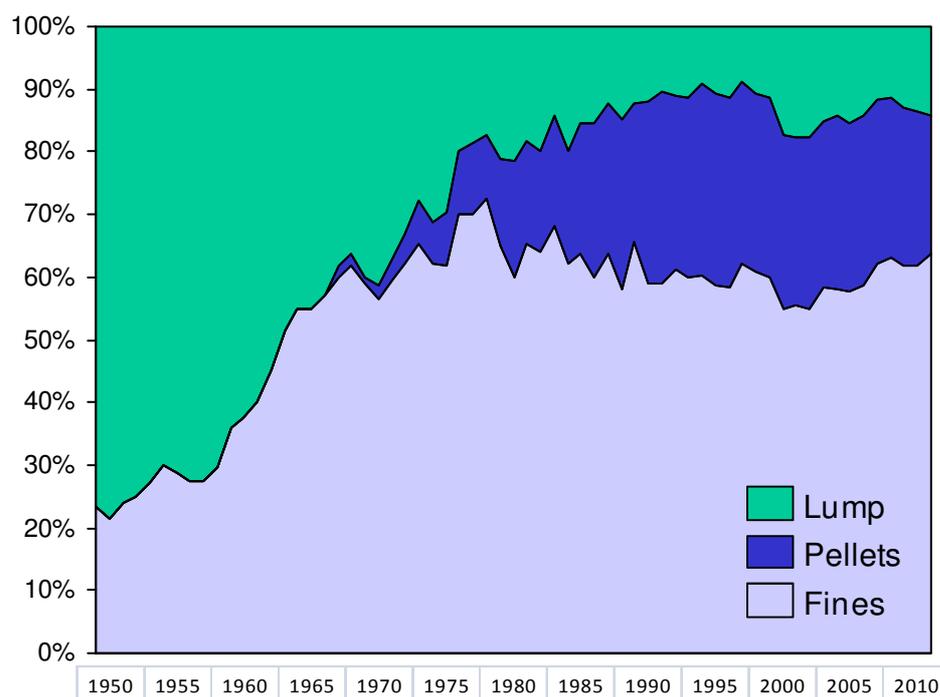
**Tabela 3.III – Evolução das Reservas do Quadrilátero Ferrífero**

DÉCADA	TIPO DE "RUN OF MINE"	PRODUTOS GERADOS	HEMATITA/ITABIRITO
1940's	Hematita Compacta Grosseira	↑ Lump grosso - até 200 mm	Hematite 100 % Itabirite 0
50 / 60's	Hematita Grosseira Hematita fina	↑ Lump Ore - 12-75 mm ↓ Natural Sinter Feed < 12 mm Blue Dust - Natural Pellet Feed	
70's	Hematite Grossa e Fina Itabirito Rico	↑ Lump Ore: 12-75mm ↓ Natural Sinter Feed < 12 mm Sinter Feed Concentrado < 6,3 mm Pellet Feed Concentrado < 0,15 mm	
80 / 90's	Hematite Fina Itabiritos Rico e Pobre <i>Decréscimo Relação Hematita/Itabirito</i>	↑ Lump Ore: 10 -37,0mm ↓ Natural Sinter Feed < 12mm Sinter Feed Concentrado < 6,3 mm Pellet Feed Concentrado < 0,15 mm	
2000's →	<i>Maior Decréscimo Hematita/Itabirito</i> Itabiritos mais Pobres Exaustão das Hematitas	↓ Escassez Lump Ore ↓ Redução Nat. Sinter Feed < 12mm ↓ Sinter Feed Concentrado < 6,3mm ↓ Pellet feed Concentrado < 0,15 mm	Hematite 0 Itabirite 100 %

Fonte: CGEE, 2008

Para o desenvolvimento deste estudo, pretende-se explorar as diversas ocorrências desses minerais de ferro, suas aplicações diretas ou indiretas, considerando o estado atual da tecnologia, tanto de extração e beneficiamento, quanto a aplicação nos processos

tradicionais de redução da siderurgia. Para as aplicações diretas, para efeito de estudo, considera-se somente o granulado natural. Para as aplicações indiretas, são considerados os aglomerados dos finos processados nas rotas sinterização e pelletização, e seus respectivos produtos *sinter* e *pellets* de minério de ferro. A Figura 3.5 evidencia as participações dos tipos de minério de ferro no mercado.



**Figura 3.5** – Participação dos Produtos de Minério de Ferro no mercado.  
Fonte: CRU, 2011

A determinação quanto à utilização de um determinado minério está fortemente ligada a aspectos econômicos e tecnológicos. Dessa forma as reservas podem variar suas capacidades no tempo, seja por exaustão de seus minerais, seja pela capacidade de processar minérios mais pobres que se tornam viáveis em função do desenvolvimento tecnológico ou simplesmente pelo aumento de preço (VALADÃO e ARAUJO, 2007).

Como forma de concentrar análise na questão central, as derivações de rotas de redução das pelotas de minério de ferro não serão abordadas neste trabalho, os esforços estão

concentrados em avaliar as tendências quanto à participação das pelotas no volume total de minério de ferro necessário ao atendimento da demanda global da siderurgia.

### 3.3 TECNOLOGIA: PROCESSOS DE AGLOMERAÇÃO

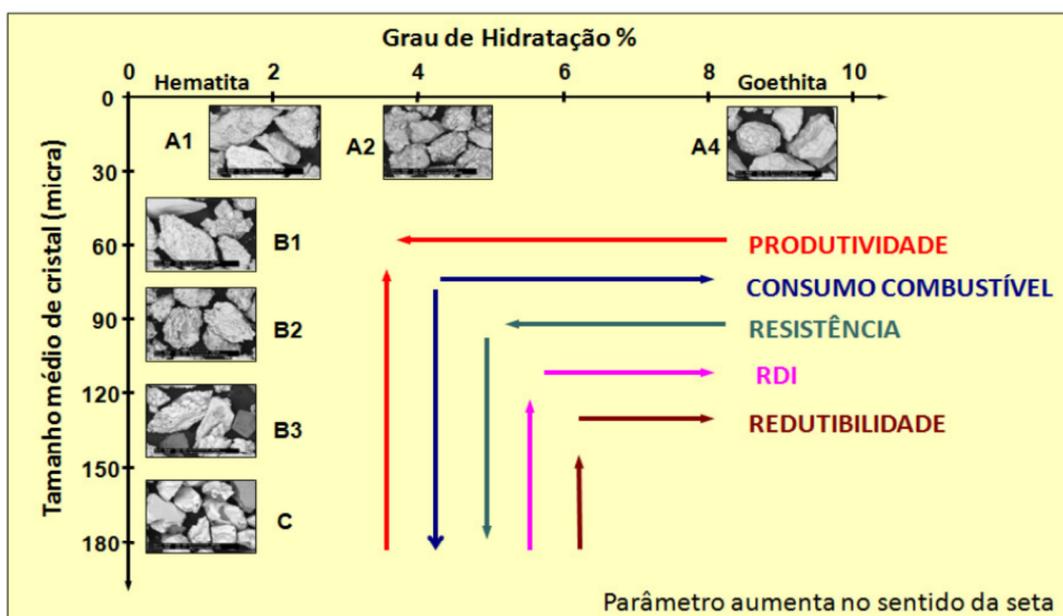
Uma vez que os finos de minério de ferro são inadequados aos processos tradicionais de redução, estes finos de minério de ferro são aglomerados por meio de duas rotas principais: os finos para sinterização (*sinter feed*) e finos para pelletização (*pellet feed*).

O *sinter feed* constitui-se, atualmente, na carga metálica mais importante para a siderurgia. Entre os produtos da mineração de minério de ferro, o *sinter feed* corresponde a aproximadamente 80% das operações. Ele é aglomerado em plantas de sinterização, gerando como produto o *sinter*, que alimenta os altos-fornos. O *sinter* é um produto que apresenta uma baixa resistência mecânica, quando comparado com os *pellets*, não resistindo ao manuseio e transporte. Dessa forma, normalmente, as plantas de sinterização são localizadas nas proximidades dos alto-fornos, dentro das usinas siderúrgicas (CGEE, 2010).

A partir do *pellet feed* são produzidos os *pellets* de minério de ferro. O processo de aglomeração e queima é denominado pelletização. Os *pellets* de minério de ferro são considerados produtos de alta qualidade para a siderurgia devido ao elevado nível de qualidade física, química e metalúrgica. Embora as plantas de pelletização possam ser integradas, assim como as sinterizações, a maioria das pelletizações são instaladas fora das siderúrgicas.

Os minérios de ferro apresentam propriedades diferentes dependendo da sua ocorrência ou mesmo da sua composição mineralógica. Essas propriedades produzem comportamentos diferentes em cada etapa dos processos subsequentes.

Conforme mostrado na Figura 3.6, os aspectos estruturais dos minérios finos e suas características intrínsecas aos tipos mineralógicos, reproduzem comportamentos já estudados nos processos de aglomeração. Dentre as propriedades este trabalho considera o Grau de Hidratação, ou simplesmente PPC (perdas por calcinação) como elemento diferenciado entre minérios adequados aos processos de aglomeração (CGEE 2008).



**Figura 3.6** – Aspectos estruturais dos minérios finos.  
Fonte: CGEE, 2008

A Figura 3.6, demonstra que com o aumento do grau de hidratação, os processos de aglomeração apresentam perdas significativas de produtividade e qualidade física seja do *sinter*, ou dos *pellets*. Além disso, aumentam significativamente o consumo de combustível. Esses efeitos associados são os definidores da viabilidade técnico-econômica de produção de aglomerados.

Considerando as tendências já apresentadas que as reservas mundiais, bem como as brasileiras, projetam exaustão das reservas de qualidade, a pelletização desponta como alternativa tecnológica para a mineração atender aos requisitos da siderurgia.

### 3.4 FUNDAMENTOS ECONÔMICOS

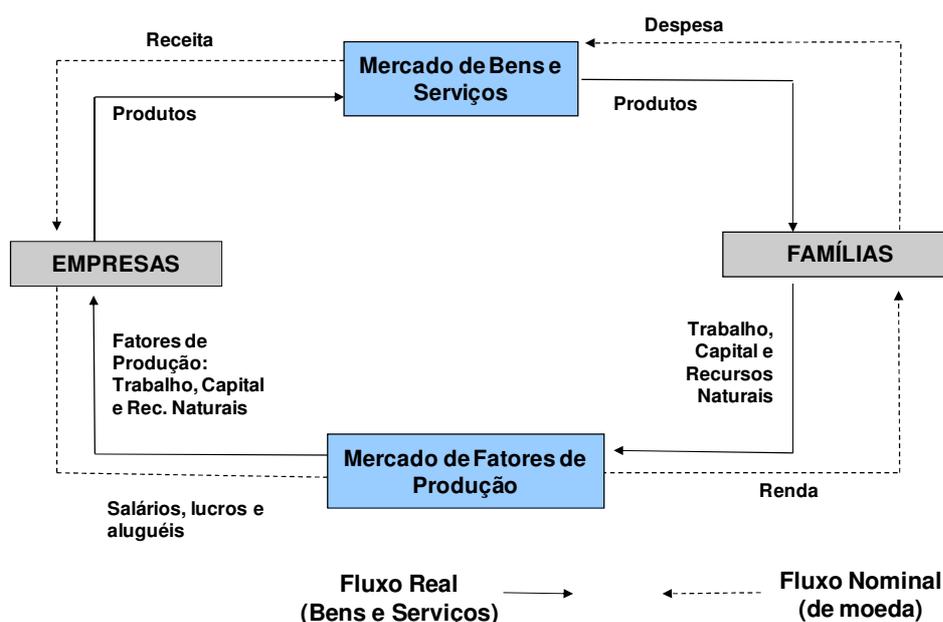
A revisão de fundamentos econômicos para este trabalho se fez necessário em função de uma hipótese que, assim como as demais indústrias, a siderurgia e a mineração passam por ciclos que se repetem ao longo do tempo. Analisando a história dessas indústrias, como será apresentada posteriormente neste trabalho, a indústria siderúrgica se deslocou geograficamente ao longo da história. Influenciada por fatores políticos, tecnológicos, mas principalmente por fatores econômicos, relacionados à escassez de recursos produtivos (reservas de minério de ferro).

Segundo Vasconcellos e Garcia (2008), economia é a ciência social que estuda como o indivíduo, as famílias e a sociedade decidem empregar recursos produtivos na produção de bens e serviços, de modo a distribuí-los entre as várias pessoas e grupos da sociedade, a fim de satisfazer as necessidades humanas. Estuda os processos de produção, distribuição, comercialização e consumo de bens e serviços. Bem como as variações e combinações na alocação dos fatores de produção (terra, capital, trabalho, tecnologia), na distribuição de renda, na oferta e procura e nos preços das mercadorias. Estuda também como as pessoas e a sociedade decidem empregar recursos escassos, que poderiam ter utilizações alternativas, para produzir os mais variados tipos de bens.

Em qualquer sociedade, os recursos produtivos ou fatores de produção são limitados. Por outro lado, as necessidades humanas são ilimitadas e sempre se renovam, por força do próprio crescimento populacional e do contínuo desejo de elevação do padrão de vida. Tem-se então um problema de escassez: recursos limitados contrapondo-se a necessidades humanas ilimitadas.

Em função da escassez de recursos, toda sociedade tem de escolher entre alternativas de produção e de distribuição dos resultados da atividade produtiva entre os vários grupos da sociedade. Essa é a questão central do estudo da economia: como alocar recursos produtivos limitados para satisfazer todas as necessidades da população.

A Figura 3.7 representa o funcionamento de uma economia de mercado – fluxos reais e monetários. Supondo um sistema econômico, onde a economia de mercado não sofra a interferência do governo e não tenha relações comerciais com o exterior (um tipo de economia fechada). Nessa economia, as unidades de consumo (famílias), são proprietárias dos fatores de produção, e os fornecem às unidades produtoras (empresas), no mercado de fatores de produção. As empresas combinam esses fatores de produção e produzem bens e serviços, fornecendo-os para as famílias no mercado de bens e serviços.



**Figura 3.7** – Funcionamento de uma Economia de Mercado.

Fonte: Vasconcellos e Garcia, 2008

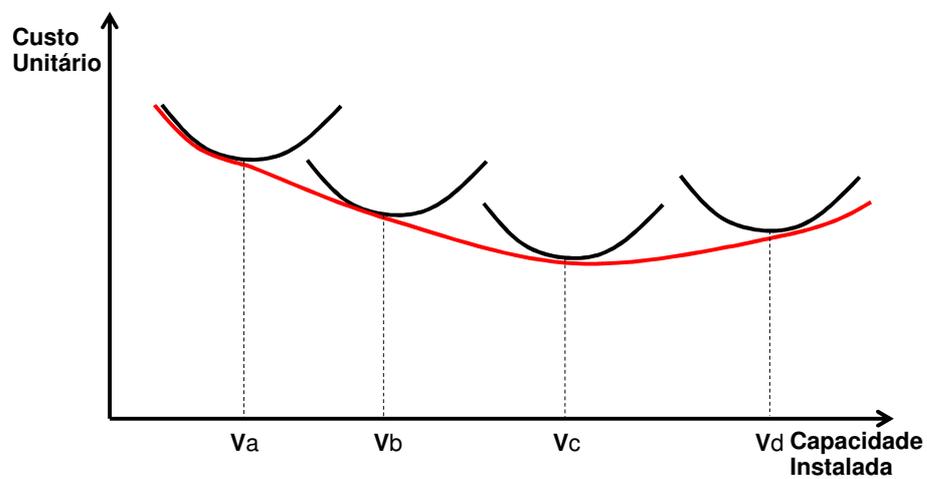
O fluxo real da economia é denominado a partir dessa movimentação de fatores de produção, bens e serviços. No mercado de bens e serviços as famílias demandam bens e serviços, enquanto as empresas os oferecem, e no mercado de fatores de produção as

famílias oferecem os serviços ou fatores de produção para as empresas, as quais demandam esses fatores de produção para depois transformá-los em produtos ou serviços.

No entanto, o fluxo monetário da economia funciona paralelamente ao fluxo real da economia e só se torna possível com a presença de moeda, que é utilizada para remunerar os fatores de produção e para o pagamento dos bens e serviços. Nesses mercados operam as forças da oferta e da demanda, determinando o preço. Ou seja, no mercado de bens e serviços formam-se os preços dos bens e serviços enquanto no mercado de fatores de produção são determinados os preços dos fatores de produção.

Por definição, a escassez envolve não somente aquilo que existe em pouca quantidade disponível, mas sim, pessoas desejando muito mais do que pode ser satisfeito com os recursos disponíveis. As pessoas são obrigadas a fazerem escolhas, quando existe escassez, pois as pessoas devem escolher qual o uso que será realizado e qual não será realizado (custo de oportunidade).

Outro aspecto importante de ser explorado na revisão dos fundamentos econômicos é a lei dos retornos decrescentes, ou deseconomia de escala. Conforme apresentado na Figura 3.8, esses efeitos ocorrem quando os processos de crescimento superam a disponibilidade de recursos economicamente viáveis.



**Figura 3.8** – Lei dos Retornos Decrescentes.

Fonte: Vasconcellos e Garcia, 2008

Destes conceitos, pode-se entender os deslocamentos geográficos da indústria siderúrgica ao longo da história.

## **CAPÍTULO 4: METODOLOGIA**

Este capítulo apresenta as considerações quanto ao método de pesquisa utilizado na elaboração deste trabalho, destacando-se o tipo de pesquisa realizada, a amostra pesquisada, os instrumentos de coleta de dados e o tratamento dado aos resultados obtidos.

### **4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA/ESTUDO**

Lakatos e Marconi (1991) conceituam método de pesquisa como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos, indicando um caminho a ser seguido.

Já para Silva e Menezes (2000), pesquisar significa, de forma bem simples, buscar respostas para indagações propostas, porém a pesquisa pode ser classificada segundo sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos.

De acordo com a classificação desses autores, quanto à natureza, a pesquisa do presente trabalho é aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Quanto à abordagem, a pesquisa em questão é do tipo qualitativa, já que a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicos no processo de pesquisa, sendo os dados analisados indutivamente. Quanto aos objetivos, a pesquisa é descritiva, pois visa descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou ainda o estabelecimento de relação entre variáveis. Finalmente, quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é bibliográfica, documental e de levantamento, isto é, elaborada a partir de material já publicado, de materiais que não receberam tratamento analítico e envolve a validação por especialistas cujo comportamento prospectivo se deseja conhecer, valorizando o contato direto do autor com o ambiente, a situação estudada e a percepção dos especialistas, ressaltando-se as limitações do ponto de vista de generalizações que esse tipo de estudo apresenta.

Essa metodologia é adequada para trabalhar as respostas a perguntas do tipo como e por que, pois, como sugere Yin (2001), não se tem controle das variáveis e circunstâncias envolvidas e o foco de controle está em uma situação real. A forma da questão-chave deste estudo será determinada com orientação aos resultados esperados.

#### **4.2 – AMOSTRA**

Objetiva-se realizar um levantamento através de pesquisa em artigos e publicações de especialistas do setor a respeito dos resultados prospectivos desenvolvidos. Assim, buscou-se identificar e analisar os padrões de comportamentos e tendências para o processo de exploração e consumo de minério de ferro, de maneira a extrair as variáveis mais representativas e suas respectivas relações que são condições de contorno estabelecidas para o estudo.

Durante o desenvolvimento do estudo, especialistas foram consultados de modo a validar o processo construtivo. Ao final do trabalho, os cenários prospectivos foram apresentados e validados a um grupo de especialistas a fim de fazer uma avaliação crítica aos direcionamentos propostos pelo trabalho, e também consolidar os diversos conceitos abordados na revisão da literatura.

## **CAPÍTULO 5: DINÂMICA DE EXPLORAÇÃO E CONSUMO DE MINÉRIO DE FERRO**

Este capítulo apresenta uma análise sistêmica da exploração e consumo de minério de ferro. A análise foi desenvolvida a partir da aplicação da metodologia de pensamento sistêmico apresentada na revisão bibliográfica.

### **5.1 – DEFINIÇÃO DA SITUAÇÃO COMPLEXA DE INTERESSE**

A situação de interesse explorada neste trabalho está claramente apresentada no capítulo 2, mas especificamente na hipótese a ser testada.

### **5.2 – APRESENTAÇÃO DA HISTÓRIA ATRAVÉS DE EVENTOS**

A história apresentada através dos eventos se presta a promover entendimento dos fatores que fundamentaram os conceitos e modelos mentais vigentes, bem como definiram a evolução do processo em estudo.

#### **Período I: 2900 a.C. – 1300 d.C.**

Para o estudo em questão, a dinâmica de exploração e consumo de minério de ferro, a primeira vez que o homem fez contato com elemento ferro foi sob a forma de meteoritos.

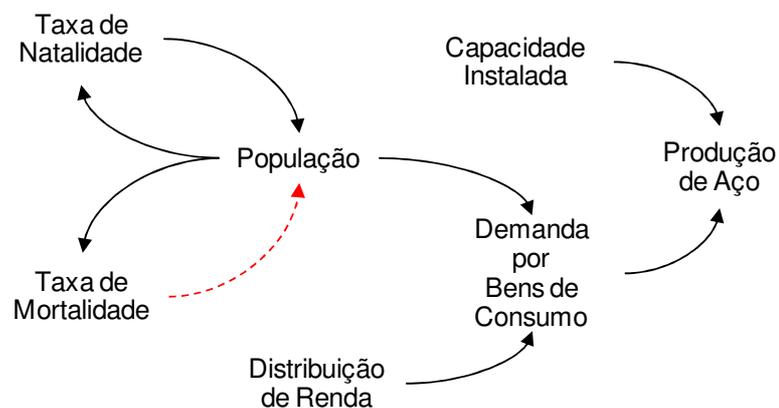
Os mais antigos artefatos de ferro que se tem notícia são dois objetos encontrados no Egito, um na Grande Pirâmide de Gizé, construída aproximadamente em 2900 a.C., e outro na tumba de Abidos, construída aproximadamente em 2600 a.C.

O registro mais antigo de um processo de redução de minério de ferro foi encontrado na parede de uma tumba egípcia, datando de aproximadamente 1500 a.C., sendo que a exploração planejada somente aconteceu por volta de 1300 a.C. (CHATTERJEE, 1993), com a utilização do carvão vegetal atuando como agente redutor e combustível. Essa

técnica foi utilizada até por volta de 1300 d.C., quando foi desenvolvida uma nova tecnologia.

Resumidamente pode-se indicar o período desde os primeiros registros, por volta de 2900 a.C., até 1300 d.C., como um período de subsistência, onde eventos principais foram relacionados ao acaso.

Esse período poderia ser representado pela estrutura sistêmica da Figura 5.1.



**Figura 5.1** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço (Período 2900 a.C. – 1300 d.C.).

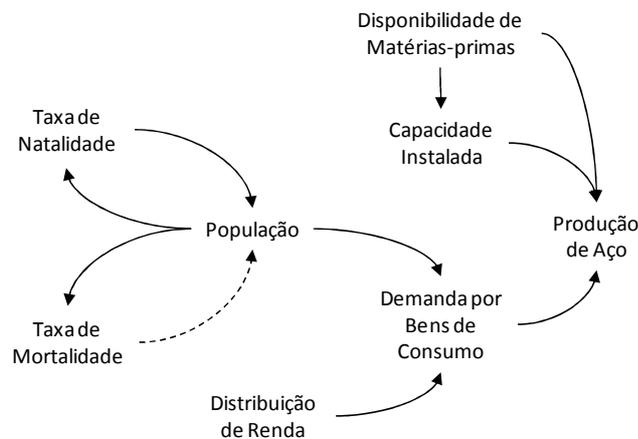
## **Período II: 1300 – 1750**

A partir do desenvolvimento da nova tecnologia, similar ao processo de redução dos altos-fornos atuais, até meados do século XVIII, a exploração e o consumo de minério de ferro não apresentaram dinâmicas dignas de nota.

A dinâmica de exploração e consumo de minério de ferro se tornou mais significativa a partir da revolução industrial, mas essa dinâmica estava fortemente associada a disponibilidade de matérias-primas (carvão vegetal e minério de ferro) nas proximidades

dos reatores de redução, e estes próximos aos mercados consumidores (BROADBERRY et al., 2010).

Neste período, começam a aparecer limitações de produção por restrições de matérias-primas, podendo ser representadas na estrutura sistêmica conforme Figura 5.2.



**Figura 5.2** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço (Período 1300 – 1750).

### Período III: 1750 – 1900

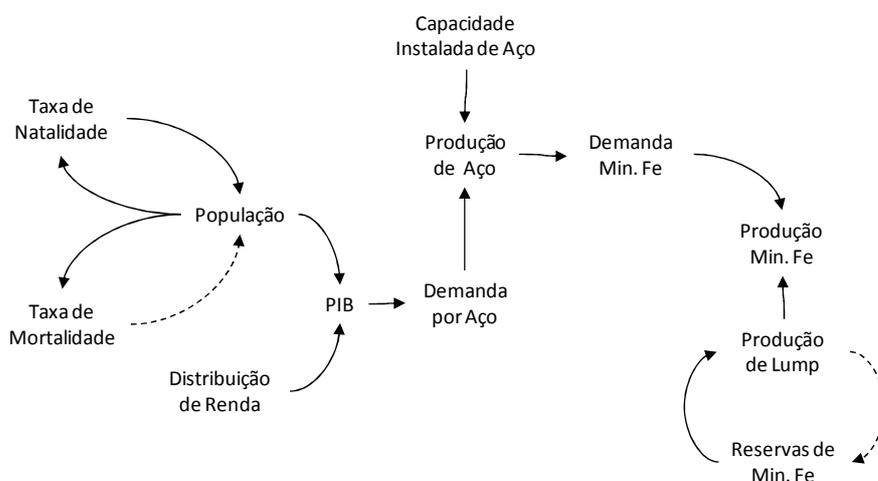
Neste período, com a redução da disponibilidade de matérias-primas iniciaram-se os processos de exportação de ferro a partir de países que dispunham de maiores reservas. Para lidar com as limitações de madeira (carvão vegetal) a Inglaterra incrementou a utilização de carvão mineral (BROADBERRY et al., 2010), constituindo novo marco na evolução histórica da produção de ferro, que teve seu consumo ampliado a partir da utilização das locomotivas a vapor, bem como difusão de ferrovias.

Os principais eventos que impulsionaram a dinâmica de exploração e consumo de minério de ferro, foram relacionados a processos de ampliação da colonização por parte da

Inglaterra, que demandou ferrovias para ampliação de suas fronteiras e promoveu aumento do comércio global (WARREN, 1998).

A revolução industrial promoveu significativo aumento na demanda por minério de ferro, como uma consequência das melhorias no refino do ferro, que geraram ganhos de produtividade com consequentes reduções de custos. Além disso, neste período, o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos processos de produção de aço, permitiram utilização de minérios mais pobres, ampliando, assim, as jazidas de minérios economicamente viáveis (BEER et al., 1998).

A Figura 5.3 amplia as estruturas sistêmicas já apresentadas para incorporar aspectos relativos à disponibilidade de reservas.



**Figura 5.3** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço e Minério de Ferro.  
(Período 1750 – 1900)

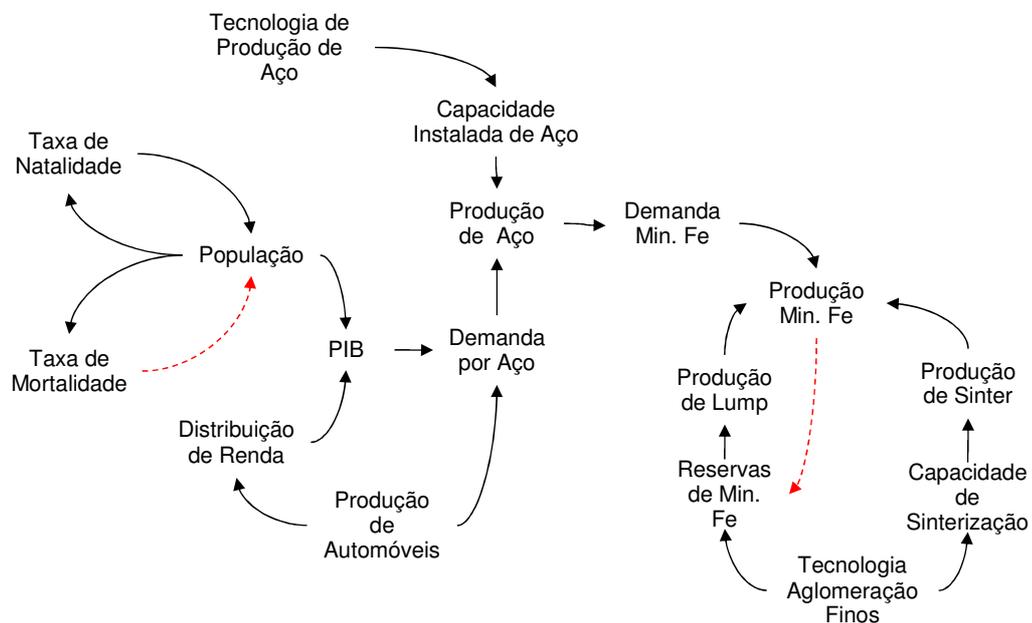
#### **Período IV: 1900 – 1920**

Nesse período a produção de aço cresceu significativamente, concentrada nos Estados Unidos e Alemanha com aproximadamente 40% e 25%, respectivamente. O volume de aço produzido via o processo *Open Hearth* se tornou a tecnologia padrão (BEER et al, 1998).

Nesse mesmo período, iniciou-se a técnica de aglomeração de minérios conhecida como sinterização (PEREIRA, 2004). Essa tecnologia permitiu o desenvolvimento de diversas jazidas de minério de ferro e impulsionou o comércio internacional. Com a Primeira Guerra Mundial, as reservas de minério de ferro passaram a chamar a atenção, visto que a indústria de aço se voltou para fins bélicos (FIGUEIREDO e SIMÕES, 2007).

No período Pós-Guerra, os volumes de produção de aço foram inferiores aos níveis anteriores, visto que as economias estavam voltadas para mercados internos e com medidas nacionalistas e protecionistas. Neste período inicia-se o desenvolvimento da indústria automobilística.

Neste período, mudanças mais significativas aumentam a complexidade do sistema. Essas mudanças são representadas na Figura 5.4.

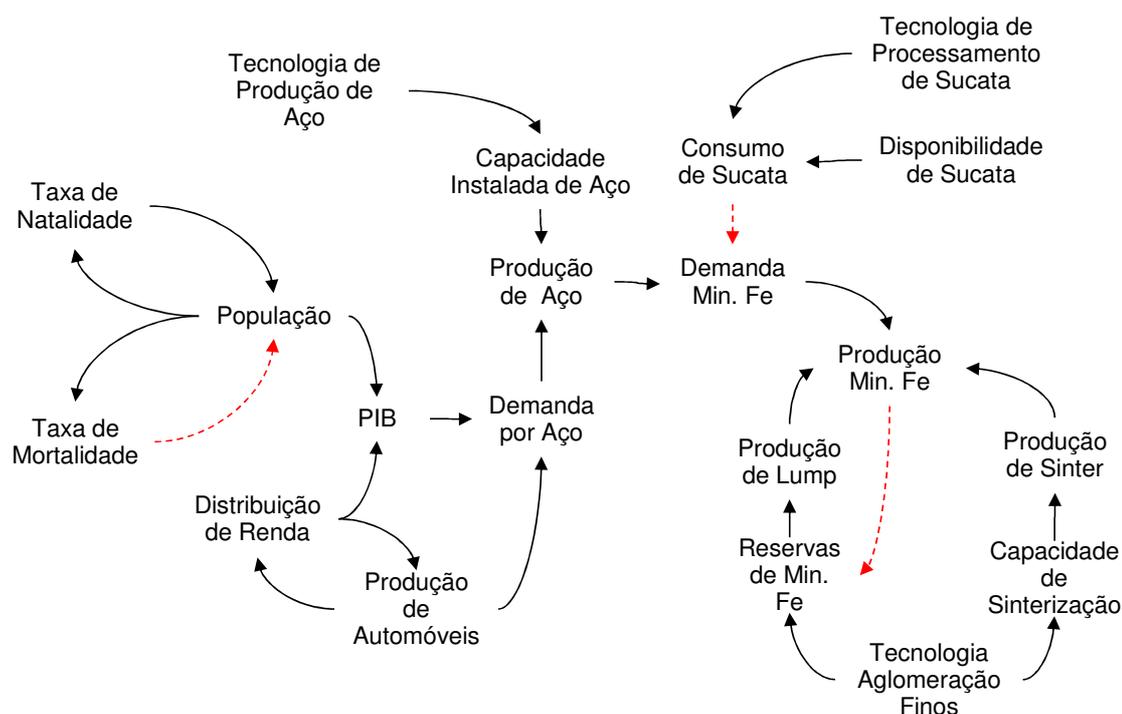


**Figura 5.4** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço e Minério de Ferro.  
(Período 1900 – 1920)

### Período V: 1920 – 1935

A indústria automobilística foi o grande impulsionador do consumo de aço nesse período. O crescimento foi interrompido pela Crise de 1929. Nesse período o comércio de minério de ferro não sofreu grandes variações, mas o consumo de sucata começou a influenciar a dinâmica do mercado.

A Figura 5.5 apresenta a representação sistêmica basicamente incorporando a utilização de sucata na estrutura apresentada na Figura 5.4.



**Figura 5.5** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço e Minério de Ferro.  
(Período 1920 – 1935)

**Período VI: 1935 – 1945**

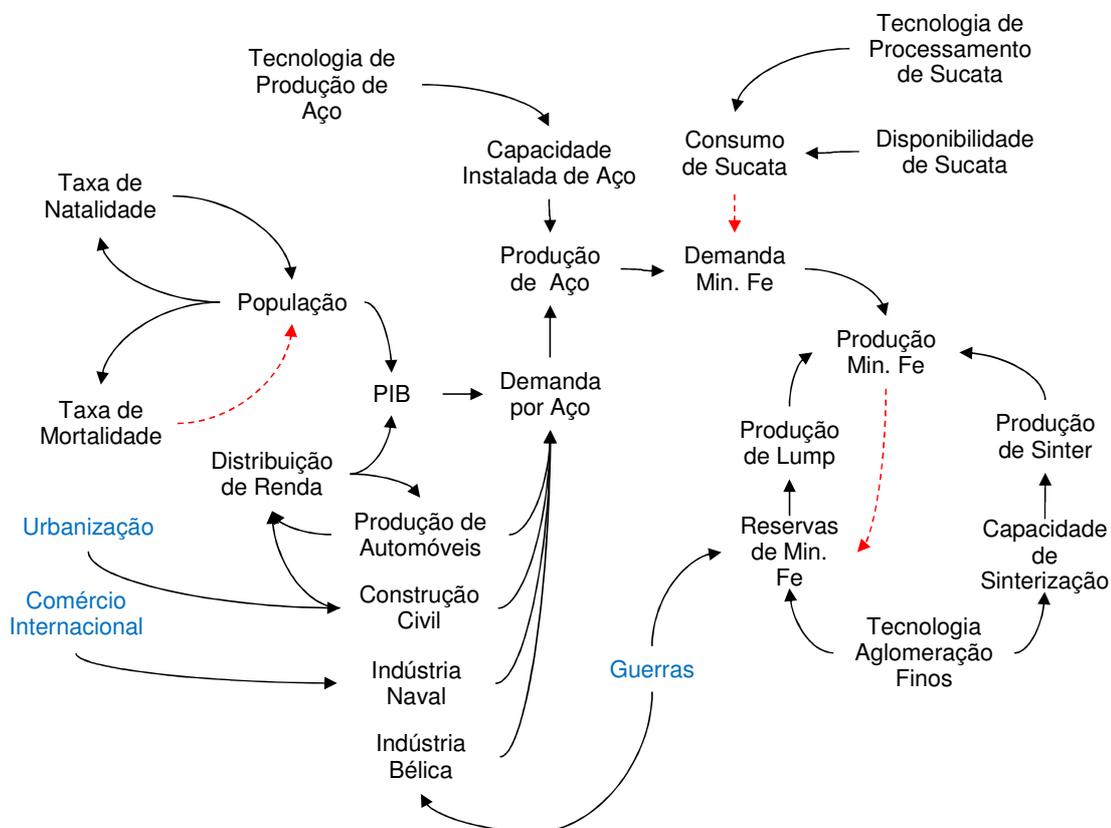
A indústria da construção civil passa a ter participação mais importante, a partir de avanços tecnológicos na produção e aplicação de aço neste setor. O movimento de urbanização da população começa a impulsionar a indústria de construção civil baseada em estruturas metálicas. Nesse mesmo período a indústria naval e automobilística também passou por avanços tecnológicos, que ampliaram o consumo de aço. Esses avanços aconteceram principalmente nos Estados Unidos.

Apesar do consumo de minério de ferro restrito aos Estados Unidos e limitado pelo uso de sucata, o processo de sinterização começou a se difundir por outros mercados. A indústria da mineração ganhou relevância com a Segunda Guerra Mundial, devido à necessidade de aço pela indústria bélica.

No final da Segunda Guerra Mundial a produção global de aço se concentrava nos Estados Unidos, atingindo mais de 65% da produção mundial em 1945.

A preservação das reservas de minério de ferro era considerada de interesse dos governos para o desenvolvimento da indústria siderúrgica. Neste período, as questões políticas/militares foram as protagonistas da dinâmica da indústria de minério de ferro. Em 1942 foi fundada a Companhia Vale do Rio Doce.

A Figura 5.6 amplia a estrutura sistêmica incorporando fatores do ambiente que influenciaram a indústria.



**Figura 5.6** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço e Minério de Ferro.  
(Período 1935 – 1945)

### Período VII: 1945 – 1975

Período marcado pela intensificação de investimentos estrangeiros em países detentores de reservas de alto teor de minério de ferro, para suportar a expansão da produção de aço. Entre 1945 e 1955 as principais economias e os demais países envolvidos na Segunda Guerra Mundial estavam em período de reconstrução de seus parques industriais e infraestruturas (SOUZA, 1991).

No período de 1955 a 1975 o crescimento da produção de aço foi acelerado pela prosperidade econômica com entrada de novos países no grupo dos considerados

industrializados. Neste período o processo BOF (*Basic Oxygen Furnace*) evoluiu significativamente, produzindo ganhos de escala devido às capacidades dos módulos.

A expansão do processo BOF promoveu mudanças na composição para a aciaria, aumentando o volume parcial do ferro-gusa, o que levou a necessidade de minérios com maiores níveis de pureza, de forma a garantir estabilidade do processo de redução (SOUZA, 1991).

Na década de 50, o processo de aglomeração chamado pelotização foi desenvolvido, como forma de aproveitar as jazidas remanescentes de minério de ferro nos Estados Unidos. Esse processo se tornou alternativa significativa para a indústria global já na década de 60. A pelotização surgiu como uma alternativa não somente para o aproveitamento das jazidas de minérios mais pobres, mas também para atender aos requisitos de qualidade da indústria siderúrgica (SOUZA, 1991).

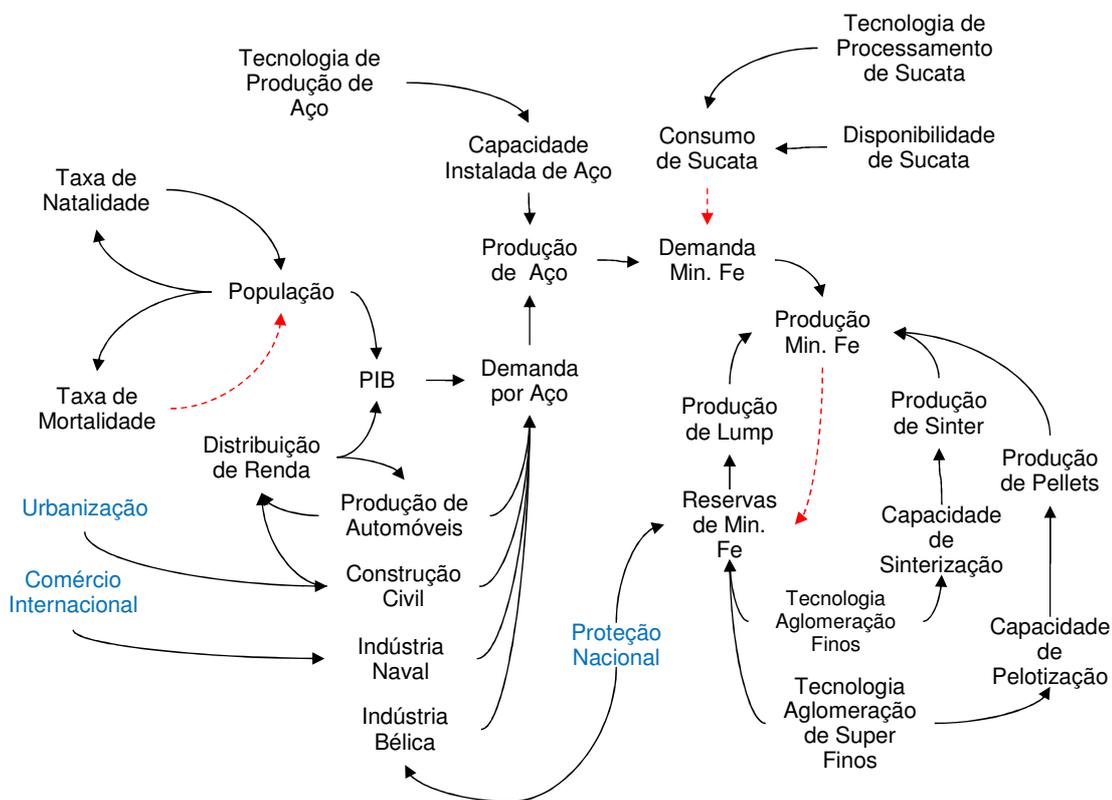
O Japão liderou a aplicação das tecnologias e estratégias desenvolvidas, obtendo os benefícios de escala do processo BOF e dos aspectos logísticos para recebimento de matérias-primas importadas, bem como participando de investimentos com produtores de matérias-primas de modo a garantir fornecimento de longo prazo. Com os investimentos japoneses, no fim da década de 60, os australianos já eram os maiores exportadores de minério de ferro do mundo.

Com o aumento do comércio transoceânico, neste período entraram em operação os navios tipo *Capesize* que representaram avanços importantes pelo aumento de capacidade de carga transportada propiciando ganhos de escala para transportes de longa distância (SOUZA, 1991).

Ao longo da década de 70, a economia sofreu oscilações por uma sucessão de eventos globais, tais como: a crise do petróleo, a inflação em quase todos os países e

desvalorizações sucessivas do dólar. Esses eventos promoveram mudanças na indústria siderúrgica a partir de 1975.

A estrutura sistêmica apresentada na Figura 5.7 representa a incorporação de tecnologias que aconteceram nesse período, tendo como principal objetivo indicar a entrada do processo de pelletização. Além dos fatores referentes a avanços tecnológicos, outros fatores passaram a influenciar a indústria de forma determinante, destes a urbanização, comércio internacional, protecionismo nacional estão representados na estrutura sistêmica.



**Figura 5.7** – Estrutura Sistêmica Produção de Aço e Minério de Ferro.  
(Período 1945 – 1975)

**Período VIII: 1975 – 1990**

Nesse período a gestão pela qualidade avançou significativamente pelo setor da Siderurgia e Mineração. O desenvolvimento de tecnologia propiciou redução de custos, relação minério/gusa e a relação de gusa/aço com a difusão do lingotamento contínuo.

Nos Estados Unidos, o modelo de *mini mills* passou a representar os aumentos de capacidade de produção (STUBBLES, 2006).

Na metade da década de 70 o processo BOF já representava mais da metade do aço produzido mundialmente. No final desta década, o processo EAF atingia quase um quarto da produção mundial.

Outra inovação tecnológica que surgiu na segunda metade da década de 70 foi o processo de redução direta, que tem por objetivo o processo de redução no estado sólido, tendo como produto o ferro esponja, substituto direto da sucata.

**Período IX: 1990 – 2005**

Em 1990 teve início o processo de reestruturação da indústria siderúrgica mundial, principalmente o processo de privatização. Nesse período, processos de terceirização e venda de ativos minerais foram ações tomadas pela Siderurgia como forma de reduzir custos e melhorar eficiência dos seus processos organizacionais. Na metade da década de 90, o minério de ferro não era considerado estratégico (TCHA e WRIGHT, 1999), pelo excesso de capacidade instalada e pela baixa participação na estrutura de custos de produção do aço.

Esse movimento de venda de ativos de mineração por parte da Siderurgia foi seguido por um processo de concentração da indústria de mineração. Nesse mesmo período a China,

que já vinha crescendo a taxas relevantes, passou a ocupar o centro das atenções do mercado, introduzindo uma dinâmica diferente às historicamente experimentadas.

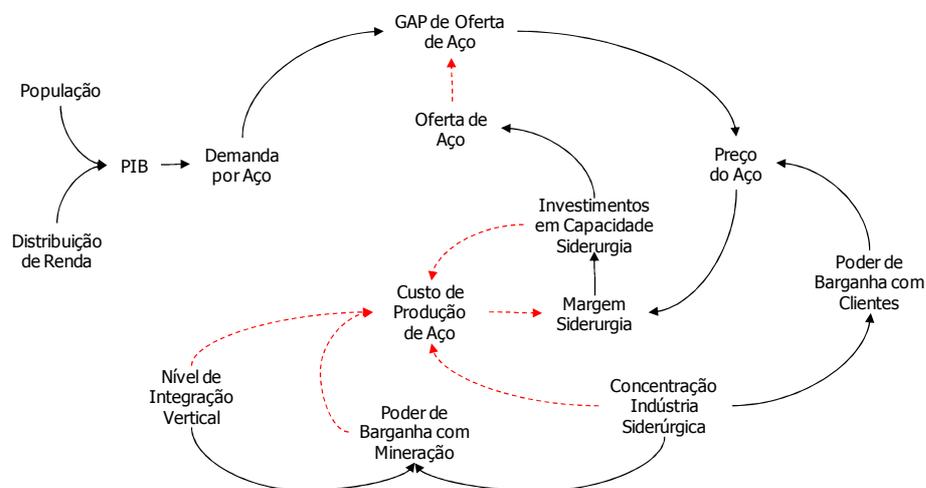
Já na posição de maior produtor mundial de aço, a China passou de exportadora a importadora de carvão mineral e começou a puxar volumes significativos de minério do mercado transoceânico. Com a cadeia de suprimentos desarticulada para abastecer a demanda chinesa, associada ao processo de consolidação da indústria de mineração, uma nova relação de forças entre a indústria siderúrgica e de mineração foi estabelecida. Essa dinâmica também influenciou no mercado de afretamento marítimo.

Sob o ponto de vista econômico, esse período atingiu um nível de globalização nunca experimentado. Na busca por competitividade em custos, não somente a indústria siderúrgica, mas quase todas as cadeias produtivas migraram seus processos produtivos para a China num movimento maciço de investimentos naquele país.

Nesse período as pressões ambientais foram ampliadas. Ações para redução das emissões de gases do efeito estufa são delineadas e pactos globais são firmados.

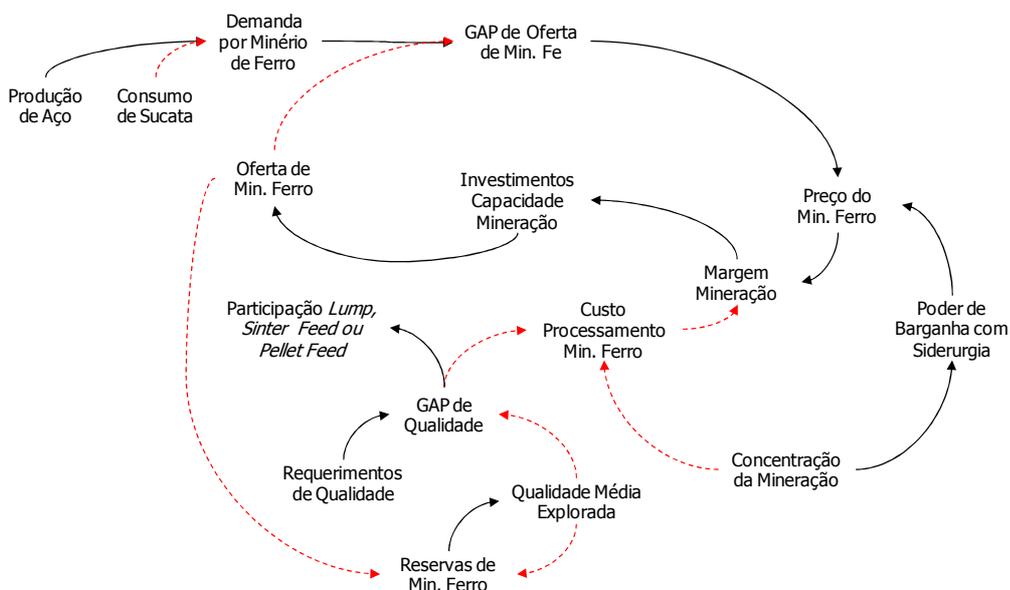
Para representação sistêmica desse período, duas estruturas apresentadas nas Figuras 5.8 e 5.9, descrevem, de forma resumida, a dinâmica das indústrias de siderurgia e mineração de minério de ferro, respectivamente.

Na Figura 5.8, pode ser observado que a indústria siderúrgica cometeu um lapso estratégico, pois vendendo os seus ativos de mineração reduziu drasticamente o seu controle sobre custos e simultaneamente, permitiu a concentração da indústria de mineração, reduzindo assim o seu poder de barganha e conseqüentemente perdendo controle sobre os custos.



**Figura 5.8** – Estrutura Sistêmica da Indústria Siderúrgica.  
(Período 1990 – 2005)

Na Figura 5.9, pode ser observado que a indústria de mineração de ferro, em processo de consolidação, conseguiu regular a oferta rapidamente, principalmente influenciada pela demanda exponencial vinda do crescimento da indústria siderúrgica da China.



**Figura 5.9** – Estrutura Sistêmica da Indústria de Mineração.  
(Período 1990 – 2005)

**Período X: 2005 – 2010**

Com a indústria siderúrgica fragmentada e as indústrias fornecedoras e clientes da siderurgia consolidadas, as siderúrgicas passaram a perder margens levando-as a uma situação que alguns autores consideram como somente transformação, isto é, não têm poder de barganha para capturarem parte de valor gerado na cadeia.

Em 2008 os preços das *commodities* atingiram o seu maior nível histórico. Esse movimento precedeu uma crise, que se iniciou no setor financeiro, mas que rapidamente contaminou os demais setores econômicos. A crise evidenciou a transformação profunda no processo de crescimento econômico mundial, que desde o fim da década de 90 passou a migrar das economias maduras para as emergentes, tendo como principal protagonista a China.

Apesar da recessão, o comércio de minério de ferro atingiu o maior nível histórico em 2009, tendo novamente a China como o principal mercado demandante. Esse movimento é explicado pela redução dos preços do minério no mercado internacional, associado aos elevados custos de produção doméstica na China. Essa combinação levou a China aumentar a importação de minério de ferro mesmo que em detrimento da redução da produção doméstica (UNCTAD, 2011).

A partir de 2010, a Índia começou um movimento de saída do mercado transoceânico de minério de ferro, passando a utilizar as jazidas domésticas para atendimento ao mercado interno.

Esse período também é marcado pela acentuada queda da qualidade dos minérios consumidos nos mercados domésticos e comercializado no mercado transoceânico. Além das pressões ambientais, os movimentos sociais passam a aparecer de forma mais expressiva.

### 5.3 – IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES-CHAVE

Nesta etapa os eventos citados no tópico anterior são explicados a partir de variáveis que, através de séries históricas, confirmam os eventos, e eventualmente, indicam outros eventos que não foram explorados.

Os eventos citados nos **Períodos I e II** não apresentam importância sobre o comportamento da indústria nos dias atuais e foram marcados por baixos volumes de produção. Considerando que os dois principais fatores impulsionadores da demanda são **crescimento populacional e distribuição de renda**, esses períodos foram marcados por baixa taxa de crescimento demográfico e elevada concentração de renda.

Para o **Período III**, pode-se identificar atuação de outros fatores, como: tecnologia de redução, proximidade entre as fontes de matérias-primas e transformação, disponibilidade de madeira, etc. Esses fatores poderiam ser representados pelas variáveis: **produção de aço, consumo de minério de ferro, consumo de carvão vegetal, teor médio de ferro, reservas de minério de ferro, etc.**

No **Período IV**, a partir dos eventos descritos é possível identificar variáveis quantitativas e qualitativas que representariam a realidade apresentada. Como quantitativa poderiam ser exploradas: **Produção mundial de aço, participação dos EUA na produção mundial de aço, participação da Alemanha na produção mundial de aço, consumo de aço na indústria automobilística, produção global de minério de ferro, participação do *sinter feed* na produção global de minério de ferro, etc.** Como variáveis qualitativas, poderiam explorar: **nível de regionalização, ou ao inverso, nível de globalização da economia, etc.**

Para o **Período V**, os eventos poderiam ser explicados a partir das seguintes variáveis: **produção global de aço, participação da indústria automobilística no consumo de aço,**

**consumo de sucata na indústria siderúrgica, participação da sucata entre as fontes de ferro para a indústria siderúrgica, etc.**

O **Período VI** poderia ser analisado a partir das seguintes variáveis (quantitativas): **produção global de aço, participação da indústria automobilística, construção civil, naval e bélica no consumo de aço, percentual da população global considerada urbana, etc.** Além dessas, variáveis qualitativas poderiam explicar os eventos apresentados: **nível de avanço tecnológico para aplicação do aço na indústria de construção civil, nível de urbanização da população, nível de interferência dos governos sobre as decisões da indústria de mineração, etc.**

Para o **Período VII**, um conjunto maior de variáveis deveria ser utilizado para representar os eventos apresentados: **nível de investimentos estrangeiros em exploração de minas, taxa de crescimento econômico, consumo per capita de aço, taxa de crescimento da produção de aço, participação do processo BOF na produção de aço, qualidade média dos minérios utilizados na siderurgia, participação dos *pellets* nas fontes de ferro da siderurgia, reservas globais de minério de ferro, qualidade média das reservas globais, participação da Austrália na produção global de minério de ferro, volume de comércio transoceânico de minério de ferro, etc.**

No **Período VIII**, outras variáveis poderiam complementar a descrição dos eventos: **custo médio de produção de aço, nível de aplicação da gestão pela qualidade na siderurgia e na mineração, fatores de consumo: minério/gusa, carvão/gusa, gusa/aço, participação das *mini mills* na produção de aço, participação da rota EAF na produção de aço global, participação do DRI/HBI no consumo de metálicos, etc.**

Para o **Período IX**, mais um conjunto de variáveis poderia ser utilizado para representar os eventos descritos: **participação dos governos na siderurgia, índice de concentração da indústria de mineração de minério de ferro, participação do minério de ferro no custo de produção do aço, volume de transação com ativos de minério de ferro, taxa de**

**crescimento econômico da China, volume global de aço produzido, participação da China na produção global de aço, volume de minério de ferro consumido, participação do Brasil, Austrália e China na produção global de minério de ferro, preços de minério de ferro, carvão, frete marítimo, índice do processo de globalização da economia, nível de pressão ambiental sobre as indústrias, etc.**

E, por fim, o **Período X** poderia ter os eventos apresentados, representados pelas seguintes variáveis: **nível de utilização das indústrias de mineração de ferro e carvão, siderurgia e afretamento marítimo; margens das indústrias de mineração de ferro, carvão e siderurgia; índice de preços das *commodities*, crescimento econômico global, participação das economias emergentes no crescimento econômico global, volume de minério de ferro transacionado no mercado transoceânico, volume de minério de ferro importado pela China, volume de minério de ferro produzido na China, qualidade média do minério de ferro consumido, participação da Índia no mercado transoceânico de minério de ferro, índice de pressões ambientais, índice de pressões sociais, etc.**

Obviamente as variáveis apresentadas são meramente exemplos de variáveis que seriam utilizadas para descrição dos eventos, para efeito prático, nem todas as variáveis dispõem de bancos de dados para serem analisados, além disso, seria impraticável buscar correlações exaustivas para todas as variáveis analisadas.

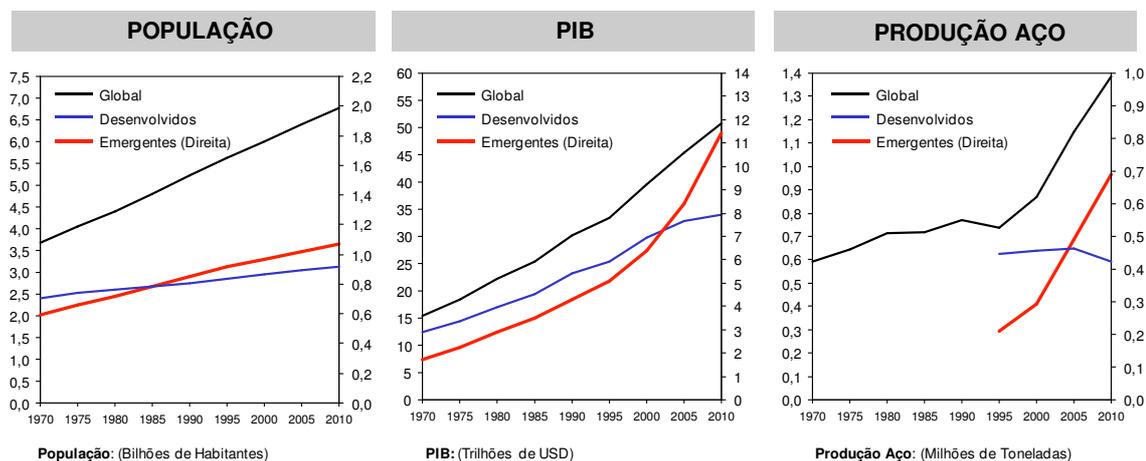
Para a próxima etapa da metodologia – Avaliação do Comportamento – analistas, especialistas e profissionais experientes lançam mão dos seus conhecimentos tácitos para priorização de variáveis a serem aprofundadas.

#### **5.4 – AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO**

Dentro da metodologia do Pensamento Sistêmico, esta etapa representa um aprofundamento no nível de conhecimento da questão em estudo.

A Figura 5.10 apresenta os padrões de comportamento dos aspectos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Em relação à população, observa-se que quase dobrou em quarenta anos, a população considerada desenvolvida representava aproximadamente 22% da população global em 1970 e menos de 13% em 2010. Em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), pode-se visualizar que o crescimento econômico tem se concentrado em países emergentes nos últimos 10 anos. A produção mundial de aço passou a ser direcionada pelos países emergentes, como destaque para a China.

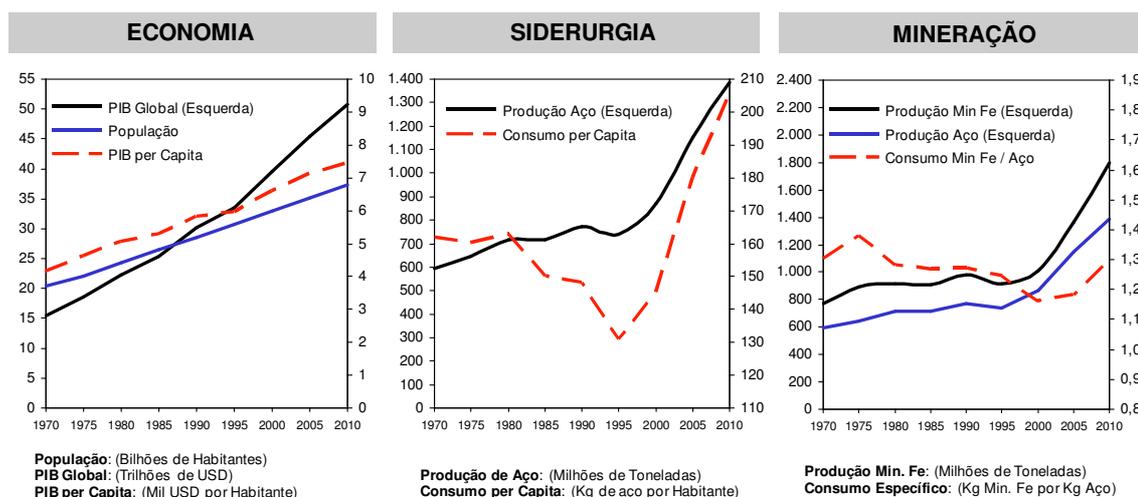


**Figura 5.10 – Padrões de Comportamento – População, PIB e Produção de Aço.**  
(Período 1970 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

Aprofundando na análise dos padrões de comportamento, a Figura 5.11 apresenta um paralelo entre economia, siderurgia e mineração de ferro. Analisando o padrão de comportamento da Economia, pode-se observar que o PIP per capita cresceu a taxas inferiores ao PIB absoluto.

A siderurgia apresenta informações mais interessantes para o estudo em questão: o consumo per capita de aço decresceu entre 1980 e 1995, e cresceu a taxas exponenciais a

partir de 1995. Assim como na siderurgia, o gráfico da mineração apresenta taxas elevadas de produção de minério de ferro a partir de 2000, e também mostra que o consumo de minério de ferro por tonelada de aço apresenta tendência de alta, provavelmente influenciado pela qualidade média dos minérios estar deteriorando.

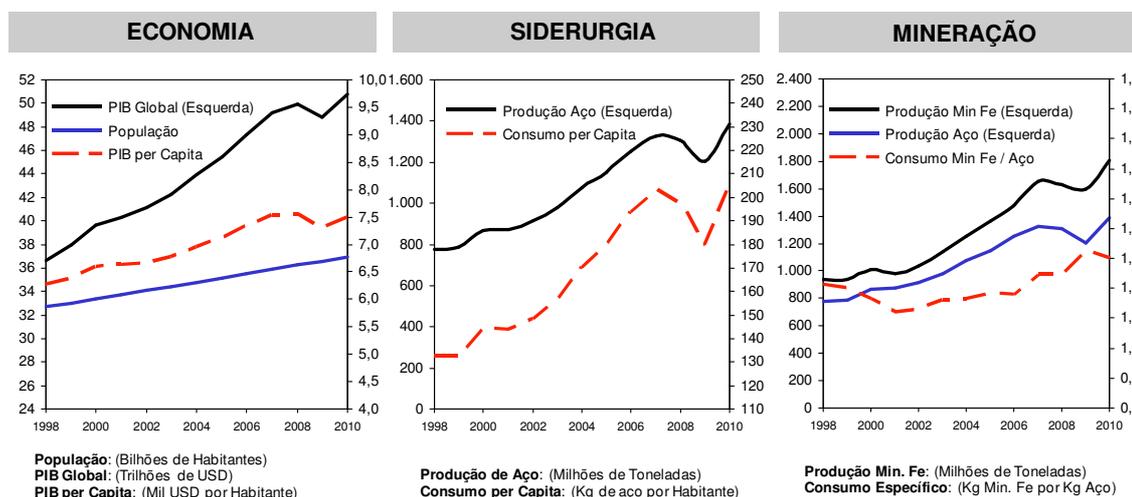


**Figura 5.11 – Padrões de Comportamento – Economia, Siderurgia e Mineração.**  
 (Período 1970 – 2010)  
 Fonte: Samarco, 2012

Como forma de enxergar detalhes do padrão de comportamento das variáveis analisadas na Figura 5.11, a Figura 5.12 reduz o horizonte de tempo analisado, como forma de visualizar eventos recentes. O evento da grande crise de 2008 é facilmente identificado nos três gráficos da Figura 5.12.

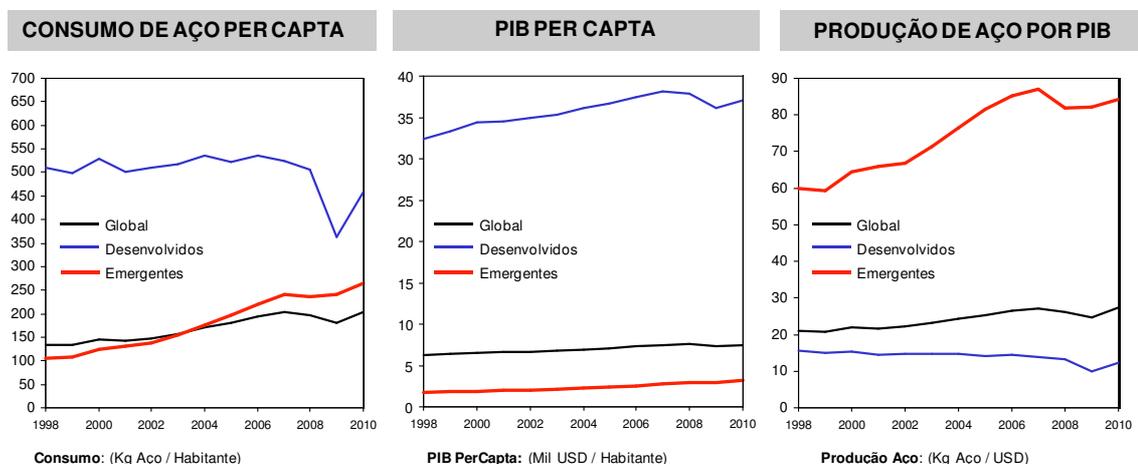
No gráfico da mineração da Figura 5.12, o evento da crise 2008 apresenta informações importantes acerca da dinâmica estabelecida. Observa-se que a produção de aço foi reduzida. A produção de minério de ferro foi reduzida na mesma proporção, porém o consumo específico de minério de ferro aumentou durante este evento. Uma análise possível seria: neste período de crise a China optou por consumir o minério doméstico,

nessas condições, o consumo específico aumenta, visto que o minério doméstico chinês apresenta qualidade inferior ao do mercado transoceânico.



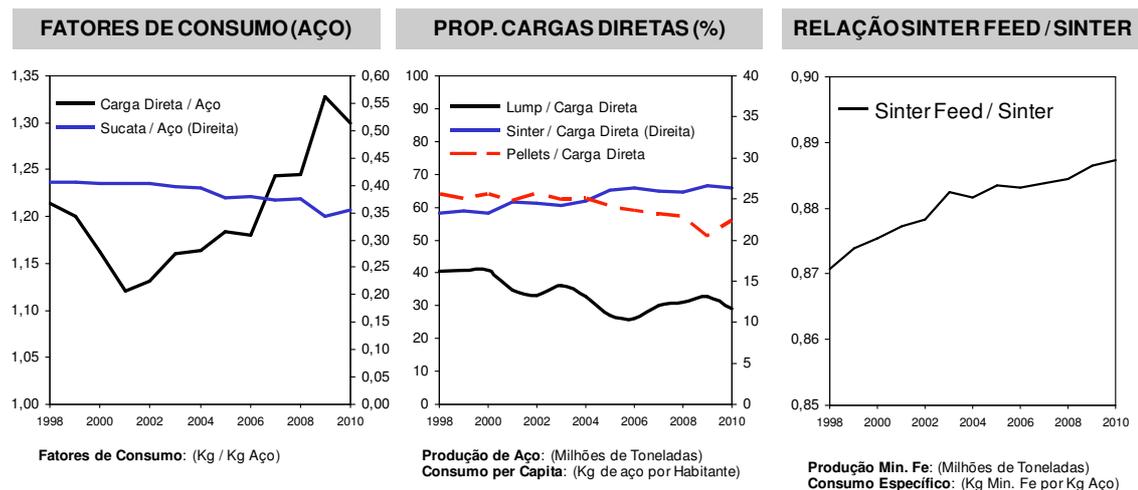
**Figura 5.12 – Padrões de Comportamento – Economia, Siderurgia e Mineração.**  
(Período 1998 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

A Figura 5.13 apresenta informações específicas sobre o consumo de aço e produto interno bruto per capita. As informações sobre consumo de aço per capita e o PIB per capita, mostram claramente as diferenças exorbitantes entre o mundo desenvolvido e o emergente. Observa-se, também, que o efeito da crise foi mais acentuado nos países desenvolvidos do que nos países emergentes. Outra informação importante, no gráfico de produção de aço por PIB observa-se que as economias emergentes apresentam forte correlação entre o crescimento econômico com a atividade industrial, representada nesse gráfico pela indústria siderúrgica, enquanto as economias maduras (desenvolvidas) não apresentam o mesmo comportamento. Como já é conhecido, e profundamente explorado pelos economistas, as economias maduras têm seu crescimento econômico alicerçado em serviços.



**Figura 5.13 – Padrões de Comportamento – Economia e Produção de Aço.**  
(Período 1998 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

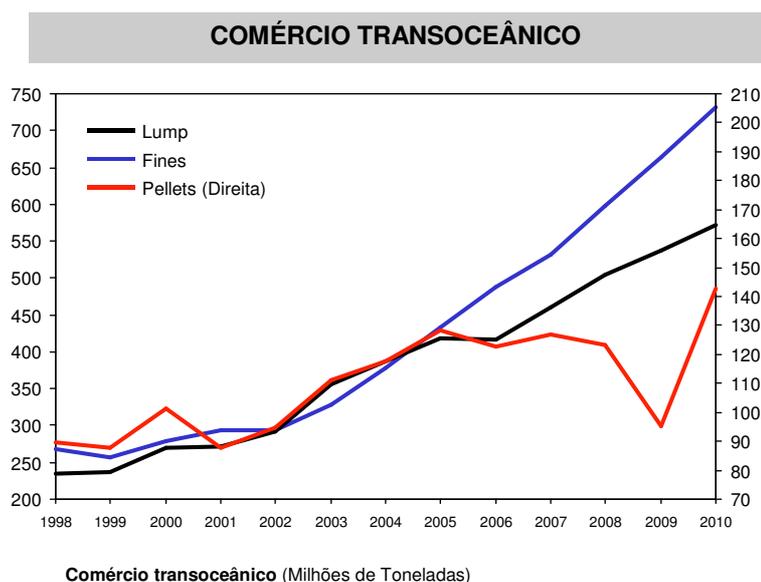
As análises desenvolvidas a partir das informações da Figura 5.14 passam a sustentar a possibilidade de confirmação da hipótese que fundamentou os objetivos desse trabalho. No gráfico de fatores de consumo, pode-se observar um aumento significativo no consumo de carga direta (*lump, pellets e sinter*) na siderurgia a partir de 2001.



**Figura 5.14 – Padrões de Comportamento – Fatores de Consumo da Siderurgia.**  
(Período 1998 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

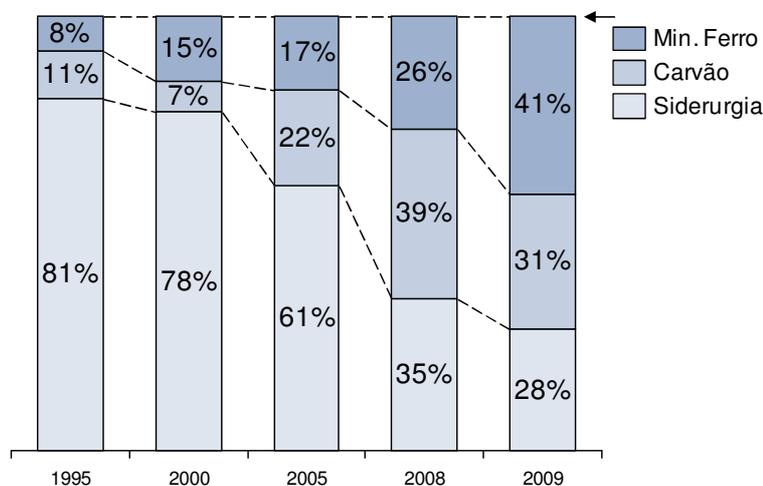
Ainda na Figura 5.14, o gráfico de relação de *sinter feed* para *sinter* demonstra que o consumo específico de *sinter feed* tem aumentado ao longo do tempo analisado. É importante comentar que o consumo específico de sucata tem reduzido ao longo do tempo, basicamente em função da escassez, conforme visto no gráfico de fatores de consumo.

A Figura 5.15 apresenta informações do comércio transoceânico de minérios de ferro. Observa-se que no período de 1998 a 2005 os produtos foram comercializados mantendo-se as mesmas proporções, e que a partir de 2005 os fins assumiram taxas de crescimento superiores aos demais produtos. Em 2009, os *pellets* tiveram uma redução no volume comercializado, principalmente em função de efeitos associados da crise: redução da demanda (produção de aço) e baixa necessidade de produtividade da siderurgia.



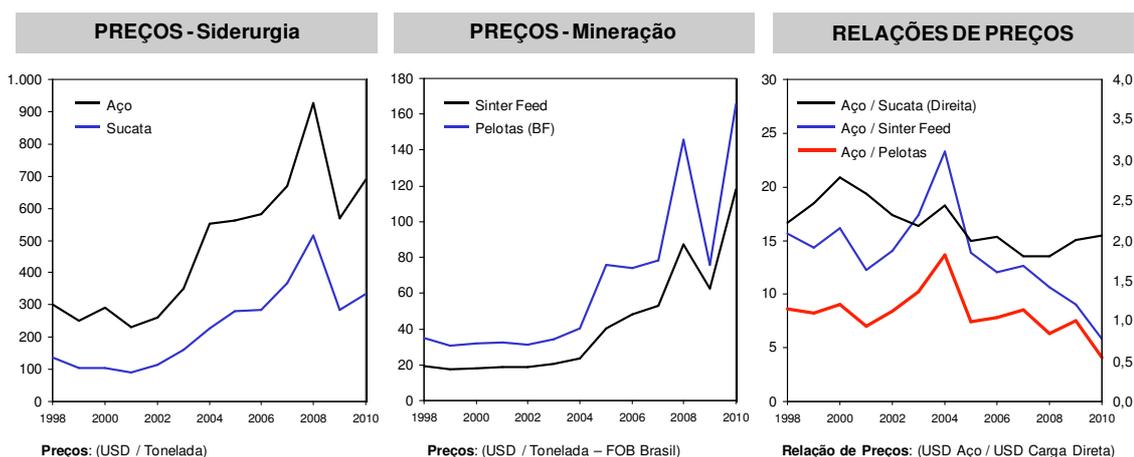
**Figura 5.15** – Padrões de Comportamento – Comércio Transoceânico.  
(Período 1998 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

A Figura 5.16 apresenta informações sobre a distribuição das margens da cadeia produtiva do aço. Observa-se que a estratégia de venda dos ativos de mineração na década de 90, associada aos efeitos do crescimento econômico na China, reduziu drasticamente o poder de barganha da Siderurgia em relação à mineração.



**Figura 5.16** – Distribuição de Margens da Cadeia Siderúrgica.  
(Período 1995 – 2009)  
Fonte: Usiminas, 2011

As perdas de margens da Siderurgia em relação à mineração é parcialmente explicada pelos gráficos apresentados na Figura 5.17. Nesses gráficos pode-se analisar que os preços de aço e sucata tiveram aumentos no período, porém os preços de minérios de ferro subiram a taxas mais elevadas.

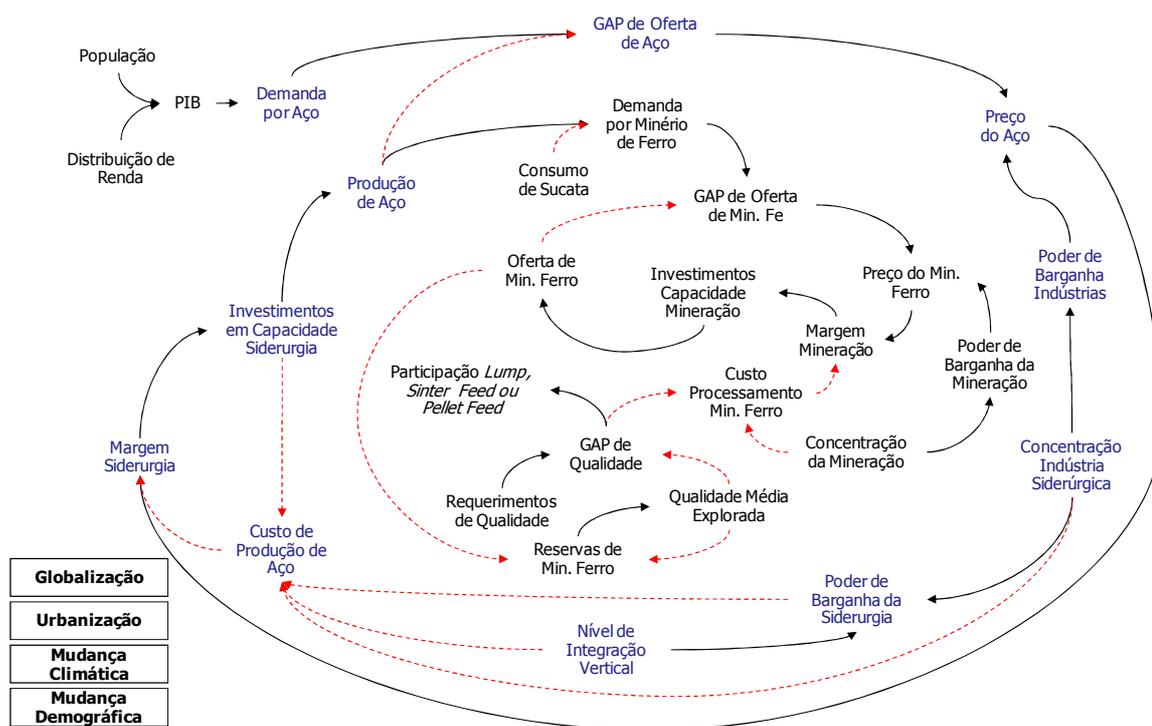


**Figura 5.17** – Preços – Siderurgia e Mineração de Ferro.  
(Período 1998 – 2010)  
Fonte: Samarco, 2012

Concluída a etapa de análise dos padrões de comportamento, a metodologia indica a passagem para a próxima etapa: a identificação das influências.

## 5.5 – IDENTIFICAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS

Nesta etapa construiu-se uma estrutura sistêmica que representa, no entendimento do autor, a realidade do mercado (Figura 5.18). A partir dessa estrutura sistêmica é possível identificar variáveis que são pontos de alavancagem, bem como fatores restritivos para o objeto de estudo.



**Figura 5.18** – Estrutura Sistêmica da Indústria Siderúrgica e Mineração de Ferro.

Obviamente, esta estrutura representa uma realidade mais recente das indústrias. Algumas variáveis representadas na estrutura sistêmica representam preocupações, ou mesmo ações

bastante recentes na história das indústrias. Elas refletem a dinamicidade e complexidade do sistema em estudo.

### **5.6 – APLICAÇÃO DE ARQUÉTIPOS**

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, essa etapa é facultativa. No caso em estudo, esta etapa foi desconsiderada, visto que a estrutura sistêmica é bem conhecida e o sistema em estudo já foi explorado para diferentes aplicações, portanto essa etapa não seria relevante no processo de aprofundamento analítico.

### **5.7 – IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS MENTAIS**

Avançando no nível de análise do problema, alguns modelos mentais foram verbalizados de modo a garantir que suas implicações fossem previstas no processo de modelagem. Os principais modelos mentais discutidos nesse trabalho foram expressos através das variáveis qualitativas no estudo de cenários apresentado no capítulo a seguir.

### **5.8 – TRANSFORMAÇÃO DE MODELOS MENTAIS EM ELEMENTOS DO SISTEMA**

Além dos modelos mentais como entradas para adequação das estruturas sistêmicas, este trabalho propõe uma adequação ao modelo original, introduzindo os efeitos preconizados pelas megatendências globais. Dada a complexidade do sistema em estudo, optou-se por adotar as megatendências globais e seus efeitos sobre as indústrias de siderurgia e mineração como entradas importantes ao processo analítico. Dos efeitos presumidos apresentados na Figura 5.19, alguns representam tendências pré-determinadas que podem ser consideradas com dados de entrada, outras representam incertezas que, dependendo de como a dinâmica de mercado se estabelece, pode assumir comportamentos diferentes.



**Figura 5.19** – Megatendências e seus efeitos na Siderurgia e Mineração de Ferro.

## 5.9 – MODELAGEM

Para o desenvolvimento do modelo em estudo, utilizou-se uma planilha Excel. As correlações entre variáveis modeladas foram validadas por dados históricos e fontes renomadas para as projeções de curto prazo, até 2015.

Dado o número de incertezas e complexidade do sistema em estudo, o autor e alguns especialistas consultados consideraram suficiente para o objetivo deste trabalho.

## 5.10 – PROJEÇÃO DO SISTEMA

Para projetar o sistema em estudo, adotou-se um conjunto de variáveis quantitativas e outras qualitativas. As variáveis qualitativas foram empiricamente quantificadas de modo a

serem utilizadas no modelo de simulação. O Tabela 5.I define a escala adotada para cada uma das variáveis qualitativas consideradas no modelo.

**Tabela 5.I – Variáveis qualitativas**

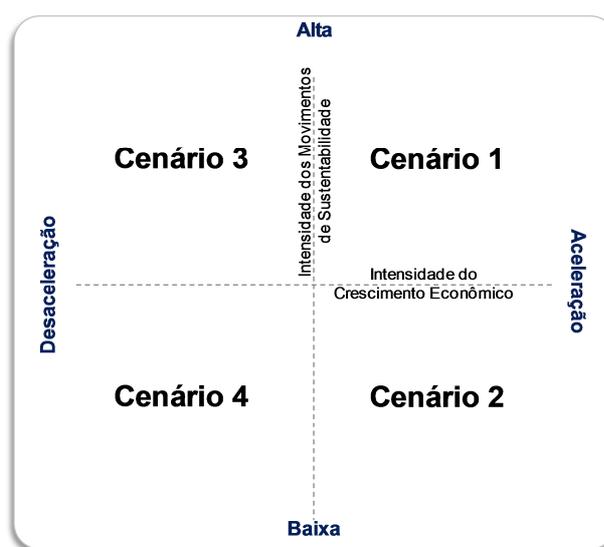
	<b>Q-1</b>	<b>Q-2</b>	<b>Q-3</b>	<b>Q-4</b>	<b>Q-5</b>
<b>Concentração Siderurgia</b>	Totalmente Fragmentada	Pouco Fragmentada	Equilibrada	Pouco Concentrada	Muito Concentrada
<b>Integração Siderurgia</b>	Totalmente Desintegrada	Desintegrada	Equilibrada	Integrada	Totalmente Integrada
<b>Concentração Mineração</b>	Totalmente Fragmentada	Pouco Fragmentada	Equilibrada	Pouco Concentrada	Muito Concentrada
<b>Qualidade Física</b> (Na perspectiva da Sinterização)	Extremamente Fino	Muito Fino	Fino	Pouco Fino	Adequada
<b>Qualidade Química</b> (Impurezas Associadas)	Muito Pobre	Pobre	Adequado	Rico	Muito Rico
<b>Pressão Sócio-Ambiental</b>	Sem Pressão	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
<b>Barreira Político-regulatória</b>	Sem Barreiras	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta

A partir de análises recorrentes no processo de modelagem e projeção do sistema em estudo, definiu-se que, dentre as incertezas críticas para projeção do sistema, o crescimento econômico e os movimentos de sustentabilidade seriam os principais fatores para determinação do futuro das indústrias de mineração e siderurgia.

## CAPÍTULO 6: CENÁRIOS – AVALIAÇÃO PROSPECTIVA

Com a consolidação do modelo e definição das incertezas críticas que deveriam ser consideradas para a projeção dos resultados do sistema em estudo, um conjunto adicional de variáveis quantitativas foi projetado. Essas variáveis projetadas representam a expectativa do autor, juntamente com um grupo de especialistas, sobre cada cenário projetado.

A Figura 6.1 representa os quadrantes de cenários adotados nesta pesquisa. O eixo vertical representa a incerteza quanto à intensidade dos movimentos de sustentabilidade. O eixo horizontal representa a incerteza quanto ao crescimento econômico.



**Figura 6.1** – Incertezas Críticas – Cenários.

Conforme apresentado anteriormente, a metodologia prevê que o número de cenários é resultante da combinação do número de incertezas críticas. De forma prática o número de incertezas deve ser mínimo de duas e máximo de três. Para três incertezas críticas, oito cenários precisam ser estudados.

Para o desenvolvimento do estudo dos cenários a metodologia prevê que os analistas devem se projetar para imaginar como seria o mundo naquele cenário. No caso deste trabalho, basicamente produziu-se uma descrição sucinta de cada cenário e projetaram-se valores para as variáveis de entrada do modelo de simulação conforme a seguir:

**CENÁRIO 1:** Mundo com crescimento econômico vigoroso e impulsionado pelos países emergentes. Indústria de aço com crescimento acelerado para atendimento às necessidades de infraestrutura, com conseqüente elevação do consumo de minério de ferro. Processo de globalização concentrando produção nos locais de menor custo. Movimentos de Sustentabilidade intensificados resultando em pressões para melhoria de eficiência dos processos (logísticos e de transformação).

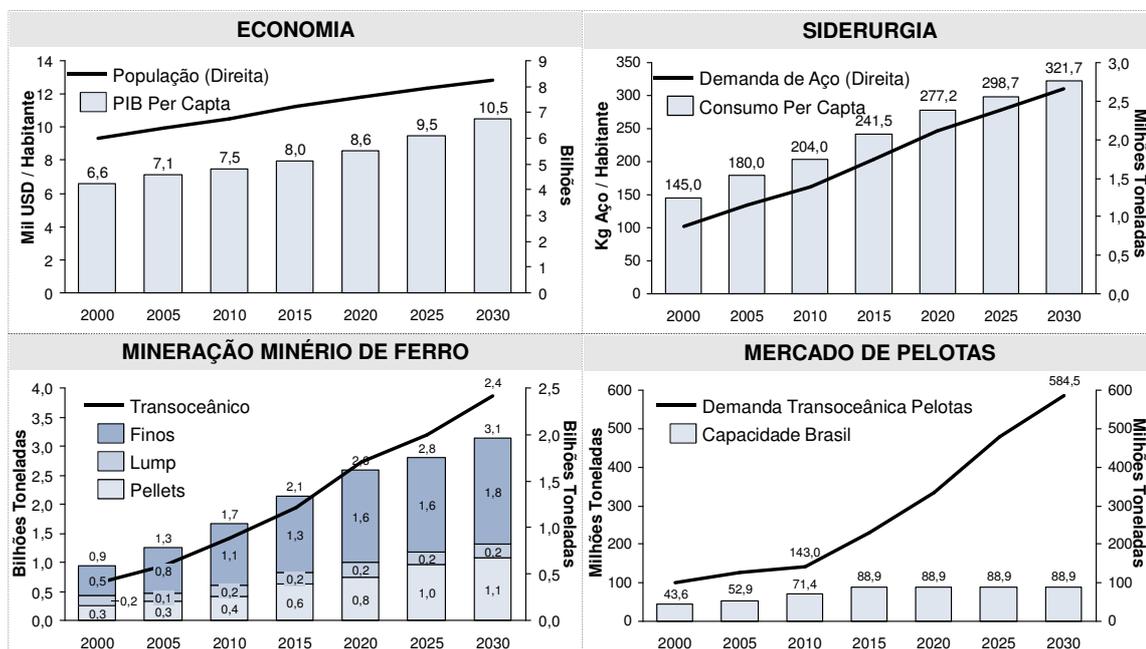
Na avaliação do autor e dos especialistas consultados, a Tabela 6.I representa a expectativa para as variáveis de entrada do modelo de simulação.

**Tabela 6.I** – Variáveis de entrada para o Cenário 1

Variáveis	Média 2000-2010	Média 2010-2020	Média 2020-2030
Taxa Cresc. PIB Per Capta	1,2%	1,2%	1,6%
Taxa Cresc. Aço Per Capta	3,2%	2,3%	1,2%
Taxa Cresc. Cap. Siderurgia	4,4%	3,3%	2,0%
Concentração da Siderurgia	Q-2	Q-2	Q-3
Integração Siderurgia (Mina)	Q-2	Q-2	Q-3
Consumo Sucata (t Suc/t Aço)	0,36	0,35	0,38
Taxa Cresc. Cap. Min. Fe	5,4%	4,5%	4,1%
Concentração da Mineração	Q-5	Q-5	Q-4
Merc Transoceânico (Min Fe)	7,5%	6,1%	3,3%
Qualidade Física Min. Fe	Q-4	Q-3	Q-2
Qualidade Química Min. Fe	Q-3	Q-2	Q-2
Pressões Sócio-Ambientais	Q-2	Q-3	Q-4
Barreiras Político-regulatórias	Q-2	Q-3	Q-4

Os resultados produzidos pelo modelo de simulação demonstraram que o mercado de minério de ferro, em especial da pelotização, é extremamente promissor. A partir da análise dos resultados apresentados na Figura 6.2, as seguintes conclusões poderiam ser obtidas:

- necessidade de aumentar oferta de minério de ferro em 1.5 bilhões de toneladas em 20 anos – 89% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 680 milhões de toneladas de pelotas em 20 anos – 170% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 440 milhões de toneladas de pelotas do mercado transoceânico em 20 anos – 308% em relação à capacidade de 2010;
- intensificado processo de exaustão de reservas de qualidade pelo consumo, pela baixa velocidade relativa dos avanços tecnológicos e dos investimentos em mineração.



**Figura 6.2 – Resultados Simulados – Cenário 1.**

**CENÁRIO 2:** Mundo com crescimento econômico vigoroso e impulsionado pelos países emergentes. Indústria de aço com crescimento acelerado para atendimento às necessidades de infraestrutura, com conseqüente elevação do consumo de minério de ferro. Processo de globalização perdendo força. Movimentos de Sustentabilidade perdendo força, pela tendência de regionalização provocada pelas limitações de recursos e conflitos de interesses econômicos.

Na avaliação do autor e dos especialistas consultados, a Tabela 6.II representa a expectativa para as variáveis de entrada do modelo de simulação.

**Tabela 6.2 – Variáveis de entrada para o Cenário 2**

Variáveis	Média 2000-2010	Média 2010-2020	Média 2020-2030
Taxa Cresc. PIB Per Capta	1,2%	1,2%	2,0%
Taxa Cresc. Aço Per Capta	3,2%	2,4%	1,6%
Taxa Cresc. Cap. Siderurgia	4,4%	3,7%	2,4%
Concentração da Siderurgia	Q-2	Q-2	Q-2
Integração Siderurgia (Mina)	Q-2	Q-2	Q-3
Consumo Sucata (t Suc/t Aço)	0,36	0,33	0,30
Taxa Cresc. Cap. Min. Fe	5,4%	4,9%	4,9%
Concentração da Mineração	Q-5	Q-5	Q-5
Merc Transoceânico (Min Fe)	7,5%	6,1%	4,1%
Qualidade Física Min. Fe	Q-4	Q-3	Q-2
Qualidade Química Min. Fe	Q-3	Q-2	Q-2
Pressões Sócio-Ambientais	Q-2	Q-2	Q-3
Barreiras Político-regulatórias	Q-2	Q-4	Q-4

Neste cenário, os resultados produzidos pelo modelo de simulação demonstraram que o mercado de minério de ferro, em especial da pelotização é ainda mais promissor. A partir da análise dos resultados apresentados na Figura 6.3, as seguintes conclusões poderiam ser obtidas:

- necessidade de aumentar oferta de minério de ferro em 2.0 bilhões de toneladas em 20 anos – 122% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 835 milhões de toneladas de pelotas em 20 anos – 208% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 480 milhões de toneladas de pelotas do mercado transoceânico em 20 anos – 338% em relação à capacidade de 2010;
- intensificado processo de exaustão de reservas de qualidade pelo consumo, pela baixa velocidade relativa dos avanços tecnológicos, dos investimentos em mineração e pela restrição ao acesso de minérios de qualidade (transoceânico).

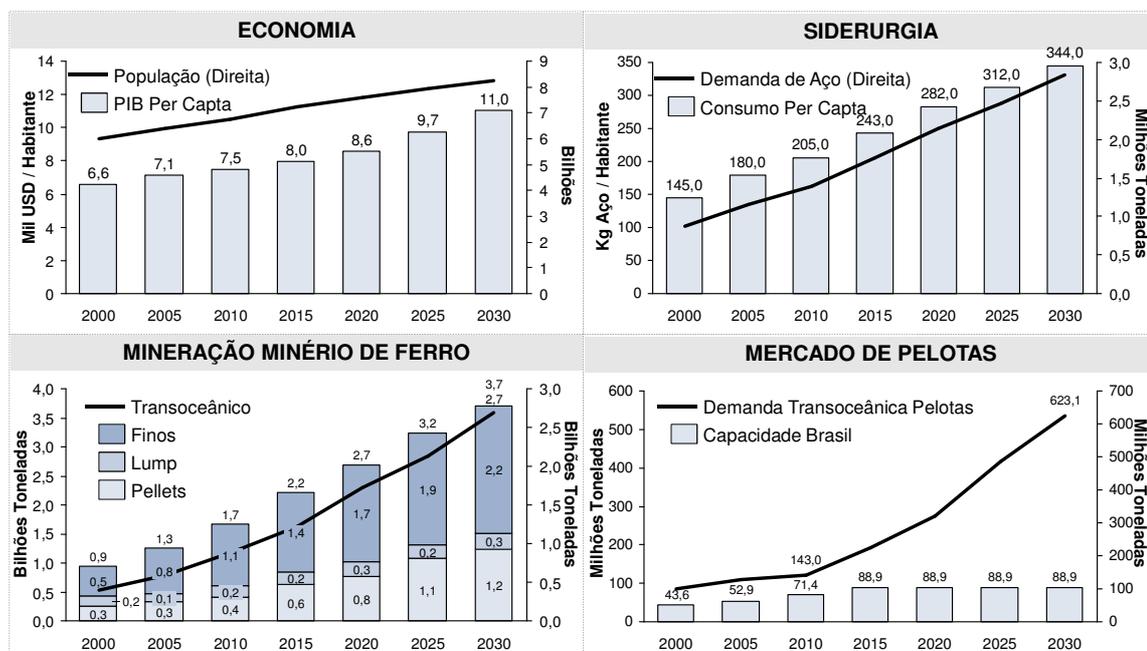


Figura 6.3 – Resultados Simulados – Cenário 2.

**CENÁRIO 3:** Mundo com crescimento econômico desacelerado por políticas restritivas dos países desenvolvidos, ainda que impulsionado pelos países emergentes, no longo prazo as taxas caem significativamente. Indústria de aço com crescimento moderado, com consequente avanço na reciclagem de produtos (sucata). Processo de globalização desacelerado com arranjos geopolíticos controlados. Movimentos de Sustentabilidade

intensificados resultando em pressões para melhoria de eficiência dos processos (logísticos e de transformação).

Na avaliação do autor e dos especialistas consultados, a Tabela 6.III representa a expectativa para as variáveis de entrada do modelo de simulação.

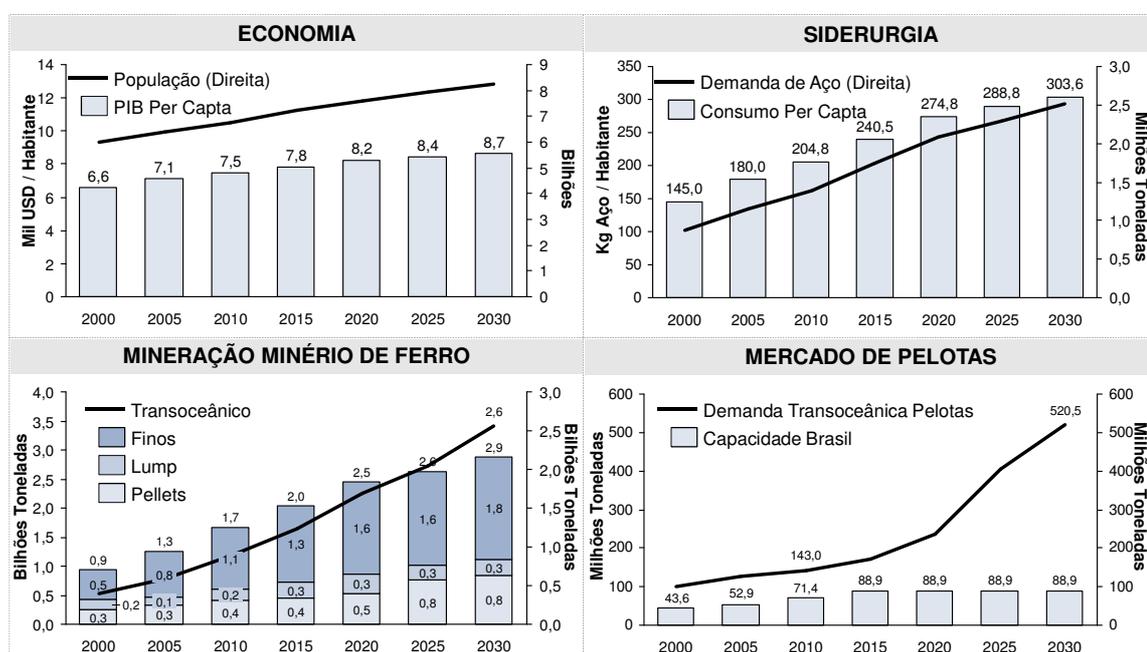
**Tabela 6.III – Variáveis de entrada para o Cenário 3**

<b>Variáveis</b>	<b>Média 2000-2010</b>	<b>Média 2010-2020</b>	<b>Média 2020-2030</b>
Taxa Cresc. PIB Per Capta	1,2%	0,8%	1,2%
Taxa Cresc. Aço Per Capta	3,2%	2,0%	0,8%
Taxa Cresc. Cap. Siderurgia	4,4%	3,3%	1,6%
Concentração da Siderurgia	Q-2	Q-2	Q-2
Integração Siderurgia (Mina)	Q-2	Q-2	Q-2
Consumo Sucata (t Suc/t Aço)	0,36	0,38	0,45
Taxa Cresc. Cap. Min. Fe	5,4%	4,1%	3,3%
Concentração da Mineração	Q-5	Q-4	Q-3
Merc Transoceânico (Min Fe)	7,5%	5,7%	3,3%
Qualidade Física Min. Fe	Q-4	Q-4	Q-3
Qualidade Química Min. Fe	Q-3	Q-3	Q-2
Pressões Sócio-Ambientais	Q-2	Q-3	Q-4
Barreiras Político-regulatórias	Q-2	Q-5	Q-5

Neste cenário, os resultados produzidos pelo modelo de simulação demonstraram a importância do processo de crescimento econômico para a siderurgia e mineração. Apesar de ainda apresentar resultados positivos para o mercado de minério de ferro, os resultados permitem assimilar a sensibilidade dessas indústrias ao crescimento econômico. A partir da análise dos resultados apresentados na Figura 6.4, as seguintes conclusões poderiam ser obtidas:

- necessidade de aumentar oferta de minério de ferro em 978 milhões de toneladas em 20 anos – 59% em relação à capacidade de 2010;

- demanda por mais 396 milhões de toneladas de pelotas em 20 anos – 99% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 347 milhões de toneladas de pelotas do mercado transoceânico em 20 - anos – 243% em relação à capacidade de 2010;
- intensificado processo de exaustão de reservas de qualidade pelo consumo, pela baixa velocidade relativa dos avanços tecnológicos, dos investimentos em mineração.



**Figura 6.4 – Resultados Simulados – Cenário 3.**

**CENÁRIO 4:** Mundo com crescimento econômico desacelerado por políticas restritivas dos países desenvolvidos, ainda que impulsionado pelos países emergentes, no longo prazo as taxas caem significativamente. Indústria de aço com crescimento moderado, com consequente avanço na reciclagem de produtos (sucata). Processo de globalização desacelerado com arranjos geopolíticos controlados. Movimentos de Sustentabilidade perdendo força, pela tendência de regionalização provocada pelas limitações de recursos e conflitos de interesses econômicos.

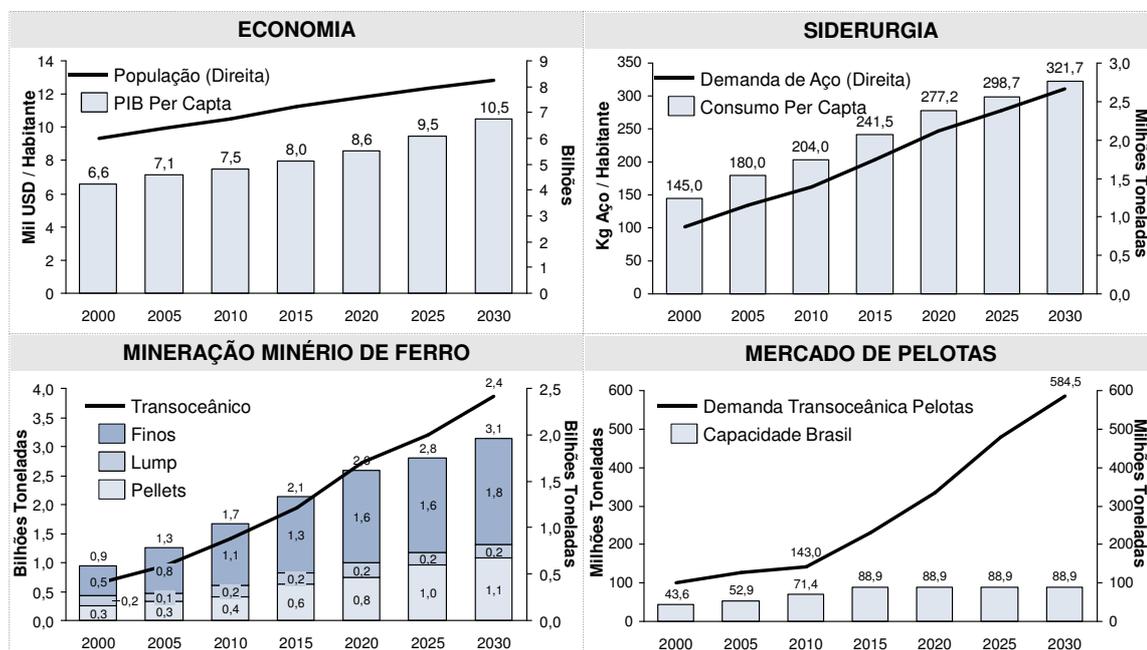
Na avaliação do autor e dos especialistas consultados, a Tabela 6.IV representa a expectativa para as variáveis de entrada do modelo de simulação.

**Tabela 6.IV – Variáveis de entrada para o Cenário 4**

Variáveis	Média 2000-2010	Média 2010-2020	Média 2020-2030
Taxa Cresc. PIB Per Capta	1,2%	0,8%	0,4%
Taxa Cresc. Aço Per Capta	3,2%	2,2%	0,8%
Taxa Cresc. Cap. Siderurgia	4,4%	3,3%	1,6%
Concentração da Siderurgia	Q-2	Q-2	Q-2
Integração Siderurgia (Mina)	Q-2	Q-2	Q-2
Consumo Sucata (t Suc/t Aço)	0,36	0,36	0,40
Taxa Cresc. Cap. Min. Fe	5,4%	4,5%	4,1%
Concentração da Mineração	Q-5	Q-4	Q-4
Merc Transoceânico (Min Fe)	7,5%	5,7%	4,1%
Qualidade Física Min. Fe	Q-4	Q-4	Q-3
Qualidade Química Min. Fe	Q-3	Q-3	Q-2
Pressões Sócio-Ambientais	Q-2	Q-3	Q-3
Barreiras Político-regulatórias	Q-2	Q-3	Q-4

Neste cenário, os resultados produzidos pelo modelo de simulação reforçam a importância do processo de crescimento econômico para a siderurgia e a mineração. A partir da análise dos resultados apresentados na Figura 6.5, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- necessidade de aumentar oferta de minério de ferro em 1,2 bilhões de toneladas em 20 anos – 73% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 437 milhões de toneladas de pelotas em 20 anos – 109% em relação à capacidade de 2010;
- demanda por mais 378 milhões de toneladas de pelotas do mercado transoceânico em 20 - anos – 266% em relação à capacidade de 2010;
- intensificado processo de exaustão de reservas de qualidade pelo consumo, pela baixa velocidade relativa dos avanços tecnológicos dos investimentos em mineração.



**Figura 6.5 – Resultados Simulados – Cenário 4.**

No processo de análise dos resultados de cada cenário projetado, a metodologia requer uma análise acerca das estratégias que deveriam ser adotadas para potencializar as vantagens competitivas e alavancar resultados para um determinado sistema, neste caso, o setor de mineração de minério de ferro brasileiro, em especial das pelletizadoras.

Depois de analisar estratégias que deveriam ser adotadas em cada cenário, a metodologia prevê um processo de consolidação, isto é, estratégias que deveriam ser adotadas independentemente do cenário passam a ser consideradas estratégias robustas, que serão exploradas no capítulo a seguir – Resultados e Discussões.

## CAPÍTULO 7: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões foram analisados sob três perspectivas: Conclusões gerais do sistema estudado, estratégias robustas e por último avaliação de reservas.

### 7.1 – CONCLUSÕES GERAIS DO SISTEMA ESTUDADO

De forma geral, o deslocamento do crescimento econômico para a Ásia promove mudanças profundas na dinâmica do mercado de minério de ferro. Os efeitos dessas mudanças podem ser assimilados a partir da estrutura sistêmica apresentada na Figura 7.1.



**Figura 7.1** – Dinâmica do Mercado de Minério de Ferro.

Por mecanismos de mercado, o consumo de minério de ferro é balanceado entre minério de ferro importado e o local. Crescimentos de produção de aço como os experimentados pela China promovem efeitos sistêmicos, que quando não analisados adequadamente podem ser considerados como grandes rupturas. O processo de exaustão das reservas locais pode produzir um crescimento exponencial da demanda por minério de ferro importado.

A realidade experimentada atualmente pelo mercado é que os produtores chineses têm trabalhado em posições marginais de custos, isto é, pequenas variações de preços no mercado, para baixo, geram demandas significativas. Considerando que a China atualmente consome mais da metade do minério de ferro produzido no planeta, e sabendo que suas

reservas de qualidade, bem como as reservas de qualidade de outros países produtores, estão sendo levadas à exaustão, o processo de pelotização desponta como a principal alternativa tecnológica para manter o mercado siderúrgico suprido por minério de ferro.

A grande questão que fica é: o processo de pelotização continua tendo como alvo o mercado transoceânico ou o modelo americano, isto é, pelotização como alternativa à sinterização, passa a predominar?

## **7.2 – ESTRATÉGIAS ROBUSTAS**

Para projetar o sistema em estudo, adotou-se um conjunto de variáveis quantitativas e outras qualitativas. As variáveis qualitativas foram empiricamente quantificadas de modo a alimentarem o modelo de simulação que foi desenvolvido para projeção dos resultados.

Para a conclusão do estudo, as estratégias robustas foram analisadas considerando dois pontos focais: O Governo, como instância máxima da administração executiva e as empresas de Mineração e Pelotização, como entidades com interesses econômicos sobre os ativos explorados.

Na perspectiva do Governo Brasileiro, as seguintes estratégias se mostraram como robustas aos cenários estudados:

- criação de mecanismos de investimento em infraestrutura interna (energia, logística, siderurgia e mineração);
- mapeamento de competências instaladas e necessárias ao crescimento econômico e estabelecimento de políticas para proteção das competências locais, valorização das vantagens competitivas estruturais (recursos), desenvolvimento das competências necessárias e facilidades para aquisição e desenvolvimento de conhecimentos essenciais;
- estabelecimento de políticas que priorizem a utilização de recursos diferenciados no mercado interno (custos);

- estabelecimento de acordos políticos e de cooperação com as novas fontes de recursos minerais (África);
- aproveitamento do momento econômico para maximizar valor das exportações: valor da oportunidade em relação aos concorrentes e valor agregado em relação ao portfólio de produtos;
- estruturação de arranjos produtivos locais para minimizar efeitos por restrições de recursos (tecnologia, conhecimento e mão-de-obra). Modelos de integração de atividades industriais.

Na perspectiva das empresas de mineração, as seguintes estratégias se mostraram como robustas aos cenários estudados:

**Mercado:** buscar a valorização máxima dos produtos comercializados; identificar e valorizar as vantagens competitivas diferenciadoras; utilizar do poder de barganha para elevar barreiras aos novos entrantes; adquirir ativos de recursos minerais (África); ganhar “market share”, priorizar investimento de capital que tragam ganhos rápidos de produtividade.

**Tecnologia:** desenvolver e proteger conhecimento relacionado à tecnologia mineral; identificar e desenvolver aplicações para rejeitos industriais.

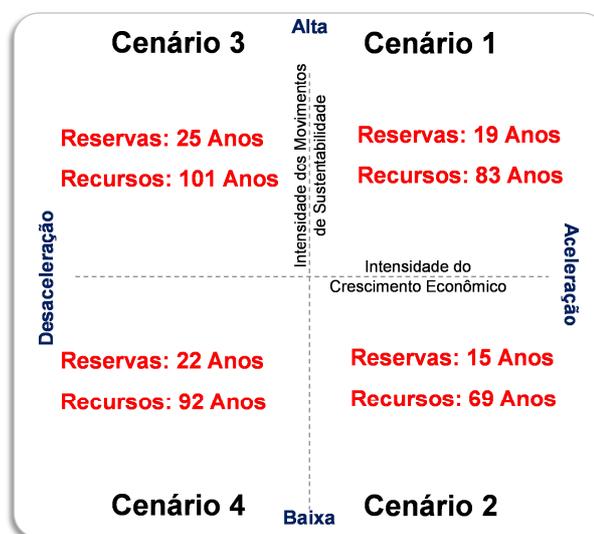
**Recursos:** estabelecer parcerias com comunidades e governos para desenvolvimento e utilização de recursos que limitem o crescimento da indústria.

### 7.3 – AVALIAÇÃO DAS RESERVAS

Para analisar a longevidade da indústria, os cenários estudados foram confrontados com as reservas e recursos declarados. Conforme demonstrado na Figura 7.2 as reservas e recursos não representam uma limitação para o processo de crescimento econômico corrente.

(Milhões tons)	Reserva	Conteúdo Metálico
Estados Unidos	6.900	2.100
Austrália	35.000	17.000
Brasil	29.000	16.000
Canadá	6.300	2.300
China	23.000	7.200
Índia	7.000	4.500
Iran	2.500	1.400
Kazakhstan	3.000	1.000
Mauritania	1.100	700
México	700	400
Rússia	25.000	14.000
África do Sul	1.000	650
Suécia	3.500	2.200
Ucrânia	6.000	2.100
Venezuela	4.000	2.400
Outros Países	12.000	6.000
<b>Reservas Mundiais</b>	<b>170.000</b>	<b>80.000</b>
<b>Recursos Mundiais</b>	<b>800.000</b>	<b>230.000</b>

Fonte: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Janeiro 2012



\* Referência ao consumo de 2030

**Figura 7.2** – Reservas de Minério de Ferro X Cenários Estudados.

## CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES

A história, bem como os fundamentos econômicos, demonstra que os ciclos de vida das indústrias se repetem. O caso da siderurgia não é diferente. A questão chave é a disponibilidade de recursos, a custos competitivos. No início da história as limitações estavam relacionadas a mercados e recursos locais, posteriormente passou por movimentos de ampliação e comércio internacional com o desenvolvimento das colônias, principalmente nos Estados Unidos. A primeira conclusão é que a indústria tem passado por ciclos, que se aceleram continuamente. Pelo lado do mercado, esse movimento é protagonizado pelo crescimento populacional e pelos processos de distribuição de renda que estimulam a demanda da indústria; pelo lado da indústria, pelo processo de aceleração de consumo das reservas locais, dependendo cada vez mais do mercado transoceânico.

Analisando-se as taxas de crescimento experimentadas na atualidade, chega-se à segunda conclusão importante desse trabalho: o fato das taxas de crescimento estarem sob influência de grandezas não lineares, os modelos tradicionais de planejamento se mostram bastante limitados. Nessa condição a metodologia de pensamento sistêmico e planejamento de cenários se mostra eficaz em lidar com a complexidade inerente ao sistema estudado neste trabalho.

A terceira conclusão importante foi obtida a partir de análises das transformações recentes da indústria. Na década de 90, motivadas por um intenso movimento de *downsizing*, as siderúrgicas abriram mão dos seus ativos de mineração. Logo a seguir, com o crescimento exponencial da produção de aço na China a indústria siderúrgica se viu num processo de perda de margens significativas. As explicações para isso são relacionadas ao excesso de oferta, com conseqüente baixo nível de utilização da capacidade instalada; mas principalmente pelo baixo poder de barganha a montante e a jusante. A dinâmica estabelecida à condição de mercado atual suscita a possibilidade que a indústria está numa transição para uma nova realidade, com várias possibilidades e incertezas: a indústria siderúrgica retorna a processos de integração vertical por aquisições de minas de minério de

ferro? Esse processo ocorre com aumentos de volumes no mercado transoceânico ou a indústria se desloca para as proximidades das reservas? As minerações avançam por processos de integração vertical à montante? A China vai direcionar a sua capacidade de produção de aço para o mercado externo?

A quarta conclusão está relacionada ao posicionamento da indústria de mineração brasileira. O Brasil detém recursos de qualidade e está bem posicionado para usufruir de suas vantagens competitivas, mas precisa de ações estrategicamente articuladas entre governos e empresas de modo a se aproveitar da oportunidade nas dimensões econômicas e de sustentabilidade.

A análise do processo de pelotização gerou a referência para a quinta conclusão: o processo de pelotização se mostra como a principal alternativa para lidar com a disponibilidade de recursos minerais num futuro próximo. O Brasil conseguiu atingir uma importante posição no mercado transoceânico e pode reforçar esse posicionamento se estabelecer estratégias para tal. O processo de pelotização representa a possibilidade de agregação de valor aos produtos comercializados, gerando divisas para o país e renda para as regiões onde esta indústria esteja instalada.

Por fim, dada a importância dos recursos minerais no momento econômico atual, a reestruturação de um núcleo de economia mineral, seria uma alavanca muito importante no desenvolvimento de estudos que suportem políticas de exploração, comercialização e tributação para o setor. Este núcleo deveria ser o esteio para conciliar os interesses dos governos, empresas, sociedades e as limitações tecnológicas.

## **CAPÍTULO 9: RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS**

O setor de mineração, especificamente de minério de ferro, tem passado por profundas transformações advindas das mudanças combinadas de crescimento da demanda, exaustão de reservas de qualidade e do contexto geoeconômico.

A metodologia de pensamento sistêmico e planejamento de cenários utilizada neste trabalho se mostrou adequada no entendimento da dinâmica do mercado e na definição de estratégias para o setor de mineração de ferro brasileiro.

A partir de cenários estudados concluiu-se que o setor de mineração de ferro brasileiro está bem posicionado para aproveitar as oportunidades de mercado e que o processo de pelotização se confirmou como a principal alternativa tecnológica para o novo contexto econômico.

Este trabalho pode servir de base para inúmeros outros trabalhos científicos que fundamentem o posicionamento do setor de mineração de ferro brasileiro frente às oportunidades presentes no mercado global.

## **CAPÍTULO 10: SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

O presente trabalho abriu uma nova abordagem para análise da indústria, num cenário de grandes transformações e possibilidades de configuração para a siderurgia e mineração de ferro. Dada a importância desse setor para economias emergentes como a brasileira, trabalhos de aprofundamento no tema deveriam ser endereçados.

O autor sugere os seguintes trabalhos como forma de aprofundamento das questões abertas nessa pesquisa:

- desenvolvimento de modelos de simulação dinâmica para exploração de aspectos quantitativos não explorados nesse trabalho;
- levantamento de ações necessárias a reestruturação de um núcleo de economia mineral, com identificação da melhor localização geográfica para este núcleo;
- identificação e descrição das vantagens competitivas do minério de ferro brasileiro frente aos demais fornecedores;
- modelamento do valor em uso das vantagens competitivas do minério de ferro brasileiro;
- definição de aspectos fundamentais para precificação do minério de ferro brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. *Pensamento Sistêmico: Caderno de Campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BEER, J.; WORRELL, E.; BLOK, K. Future technologies for energy-efficient iron and steel making. *Annual Review Energy Environment*, Palo Alto, v.23, p. 123–205, Nov. 1998.

BOYD, B. W. Iron Ore. 2009. Disponível em: <<http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=A1ARTA0004058>>. Acesso em: 19 ago. 2011.

BROADBERRY, S.; FREMDLING, R.; SOLAR, P. Industry. In: BROADBERRY, S.; O'ROURKE, K. H. *The Cambridge economic history of modern Europe*. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2010. v. 1, cap. 7, p. 164-186.

CHATTERJEE, A. *Beyond the blast furnace*. Cleveland: CRC Press, 1993. 272p.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – *Nota Técnica Minério de Ferro e Pelotas – Situação Atual e Tendências 2025*, Brasília, 2008.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – *Siderurgia no Brasil 2010-2025*, Brasília, 2010.

CRU ANALISYS. *Iron Ore Market Service*: 2011. Londres: CRU International Ltd, 2011. 260p. December 2007

CORCINI NETO, S. L. H. *Proposição de um Roadmap para a Implantação da Abordagem do Pensamento Sistêmico em Organizações*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2010.

FIGUEIREDO, C. R.; SIMÕES, R. C. F. A Evolução Histórica da Produção e Exportação do Aço Brasileiro. *Revista de Negócios Internacionais*, Piracicaba, v.5, n.9, p.7-12, nov. 2007.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Atlas, 1991.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – *Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM-2030)*, Brasília, 2010.

MORANDI, M. I. W. M. *Elaboração de um método para o entendimento da dinâmica da precificação de commodities através do pensamento sistêmico e do planejamento por cenários: uma aplicação no mercado de minérios de ferro*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2008.

MOREIRA, G. *Cenários Sistêmicos: Proposta de Integração entre Princípios, Conceitos e Práticas de Pensamento Sistêmico e Planejamento por Cenários*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2005.

PEREIRA, H. C. *Avaliação em escala piloto do comportamento dos produtos pellet feed, pellet screenings e micro pellet em substituição ao sinter feed em uma mistura de sinterização*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 131p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. Diretório interno da Gerência Geral de Marketing e Vendas. 2012.

SCHWARTZ, P. *A Arte da Visão de Longo Prazo*. São Paulo, Best Seller, 2000.

SENGE, P. M. *A Quinta Disciplina - Arte, Teoria e Prática da Organização de Aprendizagem (ed. revista e ampliada)*. São Paulo, Best Seller, 2002.

SENGE, P. *A Quinta Disciplina: Arte e Prática da Organização que Aprende*. 22ª ed. São Paulo: Best Seller, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. - *Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis : UFSC,PPGEP,LED, 2000, 113p.

SOUZA, G. S. *A dinâmica do mercado transoceânico de minério de ferro; evolução histórica e perspectivas do ano 2000*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1991. 150p. (Dissertação, Mestrado em Geociências).

STUBBLES, J. In: AISTECH 2006, 2006, Cleveland. *The Minimill story*. Warrendale: Association for Iron & Steel Technology, 2006 p. 25-34.

TCHA, M.; WRIGHT, D. Determinants of China's import demand for Australia's iron ore. *Resources Policy*, Amsterdam, v.25, n.3, p. 143–149, Sept. 1999.

UNCTAD - UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. *Trust fund on iron ore information iron ore market 2010-2012*. Geneva: United Nations Publication, 2011. 126p.

U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, January 2012

USIMINAS. *USIMINAS: Uma Nova Agenda para Criar Valor*. Apimec, 2011

VALADÃO, G. E. S.; ARAUJO, A. C. *Introdução ao Tratamento de Minérios*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 234 p.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. *Fundamentos de Economia*. São Paulo: Editora Saraiva, 2008.

WARREN, K. *Steel, ships and men*. Liverpool: Liverpool University Press, 1998. 297p.

YIN, R. K. *Estudo de caso, planejamento e métodos*. São Paulo: Bookman, 2001, 187 p.