



# **FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU**

**GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

**MARCELO GUALBERTO ROCHA**

**ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE  
FERROCROMO NO BRASIL:  
UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E  
FINANCEIRA**

Salvador

2016

**MARCELO GUALBERTO ROCHA**

**ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE  
FERROCROMO NO BRASIL:  
UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E  
FINANCEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Figueiredo

Salvador  
2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

R672r Rocha, Marcelo Gualberto

Rotas tecnológicas para a produção de ferrocromo no Brasil: um estudo de viabilidade técnica, econômica e financeira / Marcelo Gualberto Rocha. – Salvador, 2016.

147 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial - GETEC) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2016.

Inclui referências.

1. Eficiência energética. 2. Ferrocromo. 3. Ferroligas. 4. Forno elétrico de redução. 5. Indústria eletrointensiva I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Figueiredo, Paulo Soares. III. Título.

CDD: 658. 5

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada "Rotas tecnológicas para a produção de ferro-cromo no Brasil: um estudo de viabilidade técnica, econômica e financeira", apresentada no dia 11 de abril de 2016, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador:



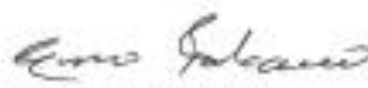
Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo  
SENAI CIMATEC

Membro Interno:



Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos  
SENAI CIMATEC

Membro Externo:



Prof. Dr. Cyro Takano  
USP

À

Maricele, minha esposa; e Luiza, minha filha, pela força e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

São tantos e queiram perdoar-me se esqueci de alguém.

A toda minha família, em especial, Maricele, minha esposa, e Luiza, minha filha: pelo companheirismo, apoio e compreensão ao longo desses dois anos de estudo.

À FERBASA pelo apoio financeiro e a valiosa contribuição com informações e acervo técnico.

Aos colegas de trabalho e profissionais do setor de ferroligas pelo compartilhamento de informações e experiências.

Aos novos e eternos amigos discentes da 7ª turma do GETEC.

Aos docentes do mestrado pelos ensinamentos e troca de conhecimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Figueiredo, um verdadeiro companheiro na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos: a partir do trabalho elaborado na disciplina EVTEC, surgiu a proposta deste estudo.

Ao Prof. Dr. Cyro Takano: pela humildade em transferir uma enorme bagagem de conhecimento na área de metalurgia.

Enfim, muito abrigado a todos que possibilitaram essa experiência enriquecedora e gratificante, de grande valor para o meu crescimento profissional e como ser humano.

“Permanecer sem conhecimento é jogar no lixo a oportunidade de galgar os mais altos degraus do espírito. Cultura e conhecimento são sinônimos de maior liberdade... consequentemente, maior chance de felicidade plena”.

Dr. José Corgosinho de Carvalho Filho

## RESUMO

A indústria de ferroligas é eletrointensiva, resultado do atual processo de fusão, o qual demanda uma expressiva quantidade de energia elétrica. Cromo é um dos mais importantes metais na indústria do aço, sendo insubstituível na produção do aço inoxidável. A sua adição no aço é via as ferroligas de cromo. Isso faz com que este setor da indústria tenha um papel estratégico para a siderurgia nacional. A indústria brasileira de ferroligas supre 94% da demanda interna de ferro cromo, no entanto, a tecnologia atual adotada não permite alcançar custos competitivos para exportar o FeCrAC. A elevação nos custos de produção, conjugado a uma tendência de elevação nas tarifas de custo da energia elétrica e a crescente pressão ambiental, tem estimulado o desenvolvimento de inovações no processo produtivo. A principal barreira para a implantação dessas inovações é a carência de informações sobre as melhores tecnologias e os custos-benefícios a elas associadas para as empresas. Foi evidenciada a existência de uma lacuna para o desenvolvimento de uma metodologia adequada para definir a rota tecnológica mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil. Na primeira etapa deste trabalho foram identificadas quatro rotas tecnológicas que produzem industrialmente o FeCrAC: (1) operação em forno elétrico de redução aberto e semifechado, com tratamento dos gases em filtros de manga; (2) operação em forno elétrico fechado, usualmente utilizando minério *lump* e/ou pelotas sinterizadas, com ou sem pré-aquecimento da carga; (3) operação em forno elétrico fechado com alimentação de pelota pré-reduzida; (4) operação em forno a arco tipo DC (*Direct Current* – Corrente Contínua). Essas rotas foram submetidas a dois filtros para a definição da rota mais adequada. O presente estudo visa avaliar estas rotas de acordo com critérios técnicos e econômicos. No primeiro filtro, avaliação técnica, as rotas (1) e (2) foram selecionadas. No segundo filtro, avaliação econômico-financeira, a rota 2 apresentou o melhor resultado em todos os indicadores econômicos. A partir da metodologia adotada neste trabalho, a rota 2 indicou ser candidata a BAT (*Best Available Technology*) para a produção de FeCrAC no Brasil.

Palavras-chave: Eficiência energética, Ferrocromo, Ferroligas, Forno elétrico de redução, Indústria eletrointensiva.



## ABSTRACT

The ferroalloy industry is electrointensive, as a result of the current manufacturing process, which requires a significant amount of electrical energy. Chromium is one of the most important metals in the steel industry, with no adequate replacement for it in the manufacturing of stainless steel. Its addition to steel is by means of chrome ferroalloys. This industry, therefore, has a strategic role for the national steel industry. Brazilian ferroalloy industry supplies 94% of the domestic demand for ferrochrome. However, the current technology does not lead to a competitive cost to export FeCrAC. As a result of increasing costs in conjunction with a trend to increase electricity prices and environmental pressure, there is an encouragement for the development of innovations in the manufacturing process. The major barrier to the deployment of these innovations is the lack of information on the best technologies and the cost benefit related to them for the companies. The existence of a gap for the development of an appropriate methodology to define the most suitable technological route for production of FeCrAC in Brazil has been demonstrated. In the first step of this study, four technological routes to produce FeCrAC on an industrial scale have been identified: (1) Conventional open and semi-closed electric furnace operation, with bag filter off-gas treatment; (2) Closed electric furnace operation, usually utilizing lump ore and/or oxidative sintered pelletized feed, with or without preheating; (3) Closed electric furnace operation with pre-reduced pelletized feed; (4) DC (Direct Current) furnace operation. These routes were submitted to two filters to define the most suitable route. This study aims to evaluate these routes according to technical and economic criteria. In the first filter, technical evaluation, routes (1) and (2) were selected. In the second filter, economic and financial valuation, route (2) showed the best results in all economic indicators. Based on the methodology used in this study, route (2) was appointed as the candidate for Best Available Technology (BAT) to produce FeCrAC in Brazil.

Keywords: Energy efficiency, Ferrochrome, Ferroalloys, Submerged arc furnace, Electrointensive Industry.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtores Mundiais de Ferroligas .....	7
Tabela 2 - Produção Brasileira de Ferroligas.....	14
Tabela 3 - Balança Comercial de Ferroligas.....	15
Tabela 4 – Balança Comercial do FeCrAC .....	16
Tabela 5 - Estimativa do Balanço de Energia Útil (BEU) para as distribuições percentuais, por usos finais em 2004, dos consumos dos energéticos utilizados na indústria de ferroligas do país .....	20
Tabela 6 - Consumo Específico de Energia das Principais Ferroligas Produzidas no Brasil .....	22
Tabela 7 – Fator de Emissão de CO <sub>2</sub> para algumas Ferroligas .....	24
Tabela 8 – Emissões de GEE na Geração Elétrica em 2011 – 10 Maiores .....	25
Tabela 9 – Consumo de Matérias Primas e Energia na Produção de FeCrAC e FeMnAC: Conversão do Coque para Eletricidade: 1 kg coque = 7,7.....	27
Tabela 10 – Tarifa de Energia Elétrica Industrial .....	33
Tabela 11 – Tarifas de Energia Elétrica Industrial.....	34
Tabela 12- Especificações Típicas Do Ferro Cromo Alto Carbono .....	39
Tabela 13 – Produção Mundial de FeCrAC .....	40
Tabela 14- Produção Mundial de Aço Inox .....	42
Tabela 15 - Especificação dos Minérios de Cromita .....	48
Tabela 16 - Recursos e Reservas de Minério de Cromo em 2010 .....	50
Tabela 17 - <i>Range</i> de Temperaturas em que os Produtos da Reação Carbotérmica são estáveis.....	57
Tabela 18 – Efeito no consumo específico de energética devido diversos parâmetros.....	70
Tabela 19 – Distribuição dos tipos de fornos para a produção de FeCrAC.....	74
Tabela 20 – Resultados comparativos para as diferentes rotas de produção do FeCrAC.....	104
Tabela 21 – Pontuação dos parâmetros de avaliação técnica.....	105
Tabela 22 – Demonstrativo de resultados das rotas 1 e 2 no ano 2 em R\$ ...	113
Tabela 23 – Indicadores econômicos das rotas 1 e 2.....	114
Tabela 24 – Indicadores econômicos nos cenários 1, 2 e 3 .....	116
Tabela 25 – Indicadores econômicos sem incentivo fiscal da SUDENE .....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da Produção Mundial de Ferroligas e Aço de 1994 a 2013 ..6	6
Figura 2 - Unidades Produtoras de Ferroligas no Brasil ..... 12	12
Figura 3 - Consumo de Energia na Indústria de Ferroligas de 1971 a 2013..... 18	18
Figura 4 - Percentual dos Energéticos Utilizados na Indústria de Ferroligas Brasileira em 2013..... 19	19
Figura 5 - Consumo de Eletricidade na Indústria de Ferroligas Brasileira.....21	21
Figura 6 - Consumo Específico de Eletricidade na Indústria de Ferroligas Brasileira .....21	21
Figura 7 – Tarifas Médias de Energia Elétrica Industrial em 2012 .....33	33
Figura 8 – Preços Médios Nacionais da Eletricidade Industrial .....36	36
Figura 9 - Produção de Aço Inox e FeCrAC.....41	41
Figura 10- Produção e Consumo Aparente de Aço Inox no Brasil .....43	43
Figura 11 - Consumo Per Capita de Aço Inox no Brasil.....44	44
Figura 12 – PIB per capita versus uso per capita de aço inox em 2010 .....44	44
Figura 13 - Países Produtores de Minério de Cromo em 2011 .....49	49
Figura 14- Zonas nos Fornos de FeCrAC .....62	62
Figura 15 - Zonas do Balanço de Energia e Calor .....65	65
Figura 16 - Balanço de energia num Forno a Arco Submerso .....67	67
Figura 17 – Percorso metodológico .....81	81
Figura 18 - Fluxograma e etapas das rotas tecnológicas para a produção do FeCrAC .....93	93
Figura 19 – Seção transversal do forno arco tipo aberto .....94	94
Figura 20 – Processo integrado para produção de FeCrAC da Outotec.....97	97
Figura 21 – Processo PREMUS para produção de FeCrAC da Xstrata.....99	99
Figura 22 – Seção transversal do forno a arco tipo DC ..... 101	101

Figura 23 - Fluxograma e etapas da rota tecnológica 1 para a produção do FeCrAC no Brasil.....	106
Figura 24 - Fluxograma e etapas da rota tecnológica 2 para a produção do FeCrAC no Brasil.....	107
Figura 25 – Variação da taxa de câmbio no cenário 1 .....	118
Figura 26 – Variação da taxa de câmbio no cenário 2.....	119
Figura 27 – Variação da taxa de câmbio no cenário 3.....	119
Figura 28 – Variação da receita líquida unitária no mercado externo .....	120
Figura 29 – Variação no preço da energia elétrica no cenário 1 .....	122
Figura 30 – Variação no preço da energia no cenário 2 .....	122
Figura 31 – Variação no preço da energia elétrica no cenário 3.....	123

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINOX	Associação Brasileira do Aço Inoxidável
ABRACE	Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABRAFE	Associação Brasileira de Ferroligas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AOD	Argon Oxygen Descarburization
BAT	Best Available Technologies
BEU	Balanço de Energia Útil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
CAPEX	Capital Expenditure
CBCC	Companhia Brasileira de Carbureto de Cálcio
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CMI	Consolidated Metallurgical Industries
CONSERVE	Programa de Conservação de Energia Elétrica no Setor Industrial
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
EDF	Électricité de France
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
DC	Direct Current
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRE	Demonstração do Resultado do Exercício
FeCr	Ferro Cromo
FeCrAC	Ferro Cromo Alto Carbono
FeMnAC	Ferro Manganês Alto Carbono
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GEE	Gases do Efeito Estufa
ICDA	International Chromium Development Association
ILL	Índice de Lucratividade Líquida

IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
IRR	Internal Rate of Return
ISSF	International Stainless Steel Forum
JSR	Joint Research Centre
MME	Ministério das Minas e Energia
MP	Medida Provisória
MTD	Melhor Tecnologia Disponível
OPEX	Operational Expenditure
PIB	Produto Interno Bruto
RESEB	Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SRC	Solid State Reduction of Chromite
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
VOD	Vacuum Oxygen Decarburizing
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1.PROBLEMA DA PESQUISA E MOTIVAÇÃO .....	3
1.2.OBJETIVOS DO ESTUDO.....	4
<b>2. A INDÚSTRIA DE FERROLIGAS</b> .....	5
2.1.DEFINIÇÃO E USO DE FERROLIGAS .....	5
2.2.CENÁRIO MUNDIAL DA INDÚSTRIA DE FERROLIGAS .....	6
2.3.A INDÚSTRIA NACIONAL DE FERROLIGAS .....	9
<b>2.3.1.Histórico</b> .....	9
<b>2.3.2.Localização e distribuição da indústria de ferroligas</b> .....	10
<b>2.3.3.Caracterização econômica</b> .....	13
<b>2.3.4.Caracterização energética</b> .....	16
<b>2.3.5.Caracterização ambiental</b> .....	23
<b>2.3.6.Eficiência energética na indústria de ferroligas</b> .....	26
<b>3. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO</b> .....	30
3.1.CONTEXTUALIZAÇÃO .....	30
3.2.TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA O SETOR INDUSTRIAL.....	32
<b>4. FERRO CROMO ALTO CARBONO – FeCrAC</b> .....	39
4.1.DESIGNAÇÃO GERAL.....	39
4.2.USO E APLICAÇÕES DO FERRO CROMO ALTO CARBONO .....	40
4.3.MATÉRIAS PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO FeCrAC .....	45
<b>4.3.1.Minérios de Cromo</b> .....	46
<b>4.3.2.Redutores</b> .....	51
<b>4.3.3.Fundentes</b> .....	53
4.4.PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FeCrAC.....	54
4.5.BALANÇO DE ENERGIA.....	63
4.6.FATORES QUE AFETAM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICO NA PRODUÇÃO DE FeCrAC .....	68
<b>5. ROTAS TECNOLÓGICAS PARA PRODUÇÃO DO FeCrAC</b> .....	72
<b>6. BAT – BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES</b> .....	78
<b>7. METODOLOGIA</b> .....	81
<b>8. ANÁLISE E DISCUSSÃO</b> .....	92

8.1. MAPEAMENTO DAS ROTAS TECNOLÓGICAS PARA PRODUÇÃO DO FeCrAC .....	92
8.2. DEFINIÇÃO DA ROTA MAIS ADEQUADA PARA A PRODUÇÃO DO FeCrAC NO BRASIL .....	102
<b>8.2.1. Avaliação Técnica</b> .....	103
<b>8.2.2. Avaliação econômico-financeira</b> .....	110
8.3. ANÁLISE DO RISCO E DA INCERTEZA .....	115
8.4. DESCRIÇÃO GERAL DA ROTA ESCOLHIDA .....	123
<b>9. CONCLUSÕES</b> .....	126
9.1. SUGESTÕES PARA POSTERIORES PESQUISAS .....	129
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	130
APÊNDICE A – Taxa de câmbio (R\$/US\$) .....	135
APÊNDICE B – Plano de produção (t) e receita (R\$) nos cenários 1, 2, 3 .....	136
APÊNDICE C – Capital de giro .....	137
APÊNDICE D – Fluxo de caixa da rota 1 em R\$ .....	138
APÊNDICE E – Capex da rota 1 .....	139
APÊNDICE F – Balanço de massa da rota 1 .....	140
APÊNDICE G – Fluxo de caixa da rota 2 em R\$ .....	141
APÊNDICE H – Capex da rota 2 .....	142
APÊNDICE I – Balanço de massa da rota 2 .....	143
APÊNDICE J – Balanço térmico da rota 1 .....	144
APÊNDICE K – Balanço térmico da rota 2 .....	144
ANEXO A – ITR – Informações Trimestrais (SET/15) da FERBASA .....	146
ANEXO B – Preço da energia convencional .....	147



## 1. INTRODUÇÃO

O setor de ferroligas é considerado uma atividade industrial eletrointensiva. As ferroligas podem ser obtidas por diversos processos. O processo de produção de ferroligas mais empregado envolve a redução carbono térmica em fornos elétricos de arco submerso. Este processo envolve, basicamente, as seguintes etapas: preparação das matérias-primas, fusão e redução das cargas, preparação do produto. Dentre as etapas mencionadas, a fusão redutora é a mais importante, tanto do ponto de vista de produção física quanto sob o aspecto do consumo de energia (TOLMASQUIM; SZKLO, 2000). De acordo com Leite, Bajay e Gorla (2010), o maior potencial está associado à etapa de fusão e redução da carga – 80% do total – em fornos elétricos.

A tecnologia adotada atualmente na indústria brasileira de ferro cromo (FeCr) é o forno elétrico aberto convencional, sendo que consumo específico de energia está numa faixa de 4.000 a 4.200 kWh/t (GOEL, 1997). A contribuição típica da energia no custo total de produção nas plantas de ferro cromo é de 22% e sua contribuição no custo variável é de cerca de 33%, sendo assim, uma variável que afeta diretamente a competitividade dessas plantas (MARTINS, 2004).

A disponibilidade de energia a preços módicos é, cada vez mais, fator decisivo para competitividade da indústria brasileira. De acordo com as informações do Anuário Estatístico de Energia Elétrica, EPE (2014), no ano de 2012 a tarifa média de energia elétrica para a indústria do Brasil foi de US\$177/MWh, quase 38% a mais que a média de US\$128,30/MWh em um conjunto de 28 países do mundo que possuem dados disponíveis na Agência Internacional de Energia.

A indústria de ferroligas brasileira supre 94% da demanda interna de ferro-cromo. O cromo é um elemento insubstituível na produção do aço inoxidável, sendo essa a sua principal aplicação. Isso faz com que este setor da indústria tenha um papel estratégico para a siderurgia nacional.

A FERBASA é uma empresa integrada de ferroligas de cromo e silício, com mais de 50 anos de atuação no mercado siderúrgico. Líder em seu segmento, está entre as 500 maiores empresas do país. É a única produtora de ferroligas de cromo das Américas.

Estimativas apontam para um possível crescimento da demanda de Ferro Cromo Alto Carbono (FeCrAC) no mercado interno, da ordem de 100.000 toneladas nos próximos dez anos.

Por outro lado, os países asiáticos são um mercado promissor para a FERBASA. A demanda por FeCrAC na Ásia deverá crescer a uma taxa de 11% ao ano nos próximos 10 anos, o que representa um acréscimo de 14 milhões de toneladas.

Neste contexto, surge a oportunidade de aumentar a capacidade produtiva da empresa, visando, por um lado, a manutenção da liderança do mercado interno e, por outro, a exportação, principalmente para países asiáticos. A tecnologia atual adotada não permite alcançar custos competitivos para a empresa exportar o FeCrAC.

Em março de 2012, a Ferbasa, detentora de 85% das reservas brasileiras, anunciou em fato relevante que o montante saltou de 13 milhões para 40 milhões de toneladas. Em cálculos simples, este volume corresponde a aproximadamente 100 anos da necessidade da companhia considerando a capacidade de produção atual. Isso significa que a empresa tem reservas de minério de cromo que suportam investimento intensivo em capital para a produção do FeCrAC.

Os custos crescentes de energia elétrica e, portanto, a necessidade de reduzir a energia necessária para a produção de FeCrAC têm estimulado as inovações nas tecnologias utilizadas para a fusão redutora do minério de cromita. A indústria enfrenta desafios evidentes, como a tendência de queda dos preços de venda e o aumento da consciência sobre as condições de trabalho e ambientais. Esses desafios podem ser respondidos por tecnologias inovadoras já existentes e pelo desenvolvimento de novos processos.

Empresas que investem em projetos de eficiência energética podem economizar recursos, ganhar competitividade e amenizar a pressão sobre o aumento da oferta de energia. Postergar parte do investimento no aumento da oferta

de energia permite ao governo e ao empresário liberarem recursos para outras prioridades, sem perda de qualidade, segurança no abastecimento e com ganhos sociais e ambientais.

Em consequência da integração e de maior sinergia das ações entre a entidade corporativa - planta industrial – e o consumidor, adequações tecnológicas inovadoras podem assegurar e ampliar as perspectivas de mercado. O setor industrial eletrointensivo e de produção contínua, em especial o setor metalúrgico, deve estar atento às novas estratégias tecnológicas, em nome da sobrevivência setorial e da maior competitividade.

### 1.1. PROBLEMA DA PESQUISA E MOTIVAÇÃO

O uso intensivo de energia e os maiores preços da energia elétrica tem efeito direto na elevação do custo operacional e, conseqüentemente, na rentabilidade das indústrias eletrointensiva, inclusive das plantas de ferroligas no Brasil.

Conforme dados coletados do Ministério de Minas e Energia no ano de 2013, há hoje no Brasil 408 empresas consideradas eletrointensiva, que absorvem 28,8% de toda a energia consumida no País, contra 22,6% demandados pelas residências 46,2% por outros setores da indústria. (Em: <http://goo.gl/aOzpsv>. Acesso em: 18 de julho de 2015).

Especialistas em energia elétrica afirmam que, caso as indústrias eletrointensiva diminuam em 10% sua demanda energética da rede de distribuição comum, o Brasil terá sua dependência às termelétricas reduzida em aproximadamente 25%, gerando uma poupança de quase R\$ 500 milhões todos os meses aos cofres públicos.

Embora exista conhecimento sobre estratégias governamentais, atitudes gerenciais e alternativas tecnológicas para a utilização mais racional e eficiente da energia, nos mais diversos processos produtivos, observa-se que são muitos os desafios e barreiras que impedem um avanço mais veloz nos níveis de eficiência

energética que são possíveis de serem alcançados. Dentre as diversas barreiras e desafios envolvendo as abordagens da inovação tecnológica para o desenvolvimento mais acentuado dos conceitos e práticas da eficiência energética no Brasil, temos: desconhecimento das vantagens econômicas e ambientais da conservação e uso racional da energia em inúmeros setores da atividade produtiva, carência de informações sobre as melhores tecnologias e os custos-benefícios a elas associados para as empresas, difícil avaliação dos resultados econômicos alcançados pelas empresas, seja pela dificuldade de se calcular os ganhos ou pela falta de percepção dos reais benefícios previstos.

A adoção das melhores tecnologias disponíveis em termos de eficiência energética tem conduzido à redução de custos e melhorias na eficiência das operações, podendo ser um indutor para o aumento da competitividade e também na redução de impactos ambientais gerados pelo setor produtivo.

Neste contexto, define-se o seguinte problema de pesquisa: Qual tecnologia para a produção de FeCrAC é mais adequada para este setor industrial brasileiro?

## 1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo deste estudo é definir a rota mais apropriada a ser adotada no Brasil, para a produção do FeCrAC, bem como analisar o risco e a incerteza da implantação dessa rota.

Este objetivo geral será alcançado por intermédio dos seguintes objetivos específicos:

- Mapear das rotas tecnológicas industrialmente existentes para a produção de FeCrAC.
- Definir a rota mais adequada para a produção de FeCrAC no Brasil.
- Elaborar uma análise do risco e da incerteza.

## 2. A INDÚSTRIA DE FERROLIGAS

### 2.1. DEFINIÇÃO E USO DE FERROLIGAS

O setor de ferroligas está inserido no conjunto de atividades industriais eletrointensiva, assim como as indústrias de cimento, siderúrgica (ferro-gusa e aço), não ferrosos (alumínio e silício), química, papel e celulose. Conforme Bermann (2003), trata-se de setores produtivos que se caracterizam por consumir uma quantidade muito grande de energia elétrica para cada unidade física produzida. Em função da escala de produção, podemos acrescentar a atividade de extração e beneficiamento de minério de ferro.

As ferroligas, como o próprio nome diz, são ligas de ferro com outros elementos químicos, como manganês, silício, cromo, níquel, nióbio, entre outros. As adições de tais elementos são efetuadas em proporções adequadas para aproveitamento industrial ou para a introdução de novos elementos na própria liga. Na siderurgia, são matérias-primas fundamentais e sua falta impossibilitaria a produção de vários produtos siderúrgicos.

As ferroligas convencionais são: ferro manganês, ferro silício, ferro silício manganês e ferro cromo, presentes na quase totalidade dos processos de produção de ferro e aço comum ou especial. As ligas não convencionais, como ferro níquel, ferro molibdênio e ferro titânio, entre outras, servem como vetores para adição de elementos de liga na produção de aços especiais. Para introdução de elementos de liga no aço, as ferroligas são mais adequadas quando comparados com os metais puros. Eles têm ponto de fusão mais baixo, menor densidade e ainda menor custo de produção.

Outro importante uso das ferroligas na siderurgia é na etapa final do refino do aço, em uma operação denominada desoxidação. Essa operação visa a remoção do oxigênio dissolvido no aço, cuja presença afeta fortemente suas propriedades. A

desoxidação também objetiva criar condições para a adição de elementos de liga, evitando perda de rendimento pela reação desses elementos com o oxigênio.

## 2.2. CENÁRIO MUNDIAL DA INDÚSTRIA DE FERROLIGAS

Mais de 85% da produção mundial de ferroligas são consumidos pela siderurgia, sendo o restante destinado às indústrias metalúrgica, química e eletrônica. Desse modo, a evolução de produção de ferroligas possui uma correlação direta com o comportamento da atividade siderúrgica.

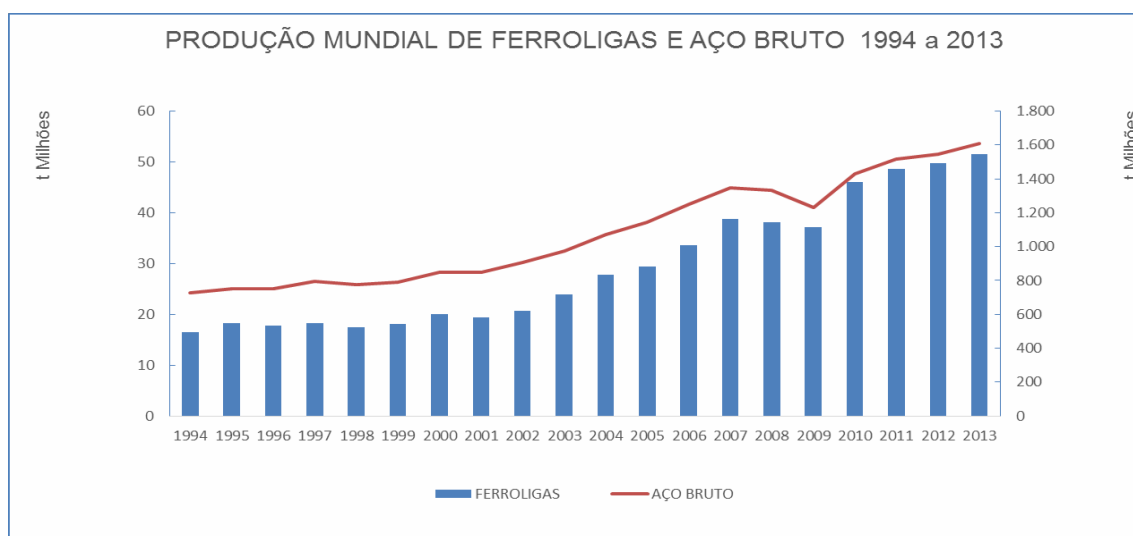


Figura 1 - Gráfico da Produção Mundial de Ferroligas e Aço de 1994 a 2013

Fonte: WORLD MINERAL STATICS, 2015

Figura 1 mostra a correlação entre a produção de aço bruto e de ferroligas ao longo de 20 anos (1994 a 2013).

A produção mundial de aço bruto em 2013 foi pouco acima de 1,6 bilhões de t. Para o ano de 2020, a estimativa de demanda global de aço bruto é de 1,85 bilhões de t e a expectativa para o ano 2030 é alcançar em torno de 2,29 bilhões de t. Sendo que o crescimento na produção de ferroligas é quase proporcional ao

crescimento da produção de aço, pode-se projetar um crescimento na produção de ferroligas em 2030 entre 20 e 25% (MEDOVAR et al., 2015).

Atualmente, em torno de 20 kg de várias ferroligas são consumidas para 1 tonelada de aço em média. Essa quantidade é distribuída entre as ferroligas da seguinte proporção: ferro cromo - 20%; ferro silício - 18%, sílico manganês - 22%, ferro manganês alto carbono - 12%, ligas de manganês refinada e manganês metálico - 5%, ferro níquel - 4%, outras ferroligas juntas - 19%.

A indústria mundial vem enfrentando atualmente um cenário bastante difícil, caracterizado por excesso de capacidade, enfraquecimento da demanda e preços em queda. Os preços das ferroligas no mercado interno guardam estreita relação com os do mercado internacional. É de alguma forma, adotado o princípio da indiferença de mercado, onde as alíquotas tanto de importação quanto de exportação estão zeradas. Essa situação permite ao consumidor escolher seus fornecedores, sejam no mercado interno ou externo.

Tabela 1 - Produtores Mundiais de Ferroligas

PRODUTORES MUNDIAIS DE FERROLIGAS - (t)							
POS	PAÍS	2009	2.010	2011	2.012	2013	%
1°	China	23.092.900	27.242.700	29.755.300	31.500.000	32.500.000	63,0%
2°	África do Sul	2.913.132	4.590.132	4.686.911	4.196.000	4.196.000	8,1%
3°	Índia	1.702.340	1.730.985	1.777.848	1.815.225	1.807.857	3,5%
4°	Rússia	1.429.169	1.797.161	1.799.900	1.796.599	1.794.556	3,5%
5°	Cazaquistão	1.468.794	1.701.790	1.668.689	1.724.035	1.707.512	3,3%
6°	Noruega	847.932	948.566	944.002	923.886	1.529.389	3,0%
7°	Brasil	713.743	1.094.450	1.054.600	1.169.399	1.174.800	2,3%
8°	Ucrania	1.200.692	1.671.259	1.419.569	1.279.084	1.142.219	2,2%
9°	Japão	722.277	892.937	833.817	908.146	938.493	1,8%
10°	Rep. da Coreia	334.738	411.097	554.859	555.200	555.200	1,1%
11°	USA	337.000	513.000	437.000	437.000	437.000	0,8%
12°	Finlândia	123.310	238.000	231.000	229.000	434.000	0,8%
13°	Espanha	186.300	362.900	372.000	375.000	376.000	0,7%
14°	França	198.400	339.500	380.900	365.000	365.000	0,7%
15°	Austrália	248.000	256.000	301.000	241.000	286.000	0,6%
	Demais países	1.710.474	2.316.037	2.416.371	2.327.806	2.381.689	4,6%
	<b>TOTAL</b>	<b>37.229.201</b>	<b>46.106.514</b>	<b>48.633.766</b>	<b>49.842.380</b>	<b>51.625.715</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: WORLD MINERAL STATISTICS, 2015 e MME, 2015

Conforme indica a Tabela 1, o volume total de produção das ferroligas no mundo em 2013 foi de 51,6 milhões de t, sendo que em 2012 a produção foi de 49,8 milhões de t, um crescimento de 3,6%.

Embora existam no mundo cerca de 48 países que produzem ferroligas, a produção é concentrada em poucos países. Conforme mostra a Tabela 1, no ano de 2013, os países líderes na produção de ferroligas foram a China (63,1%), África do Sul (8,1%), Índia (3,5%), Rússia (3,5%) e Cazaquistão (3,3%). Estes cinco países corresponderam por 81,5% da produção mundial de ferroligas.

Em razão das inovações tecnológicas na siderurgia e à melhoria da qualidade dos insumos siderúrgicos, tem-se evidenciado uma redução no consumo específico das ferroligas pela atividade siderúrgica. No período correspondente de 2010 a 2013, a produção de aço bruto cresceu 12,3 % e a de ferroligas somente 11,8%. Isso representou um decréscimo neste período no consumo específico de ferroligas de 0,44%.

As pressões competitivas focadas no baixo custo aumentaram a importância da localização geográfica da produção de ferroligas, que deve ser próxima às fontes de abastecimento de insumos, como o minério e energia elétrica. Outro aspecto importante é que devido às seguidas crises mundiais de petróleo e às pressões ambientais, os países desenvolvidos adotaram medidas para reduzir seu consumo energético, reformulando as suas políticas industriais e desinvestindo na produção de eletrointensivo.

A indústria de ferroligas é caracterizada pela presença de grupos empresariais com porte competitivo internacional, como Eramet, Anglo América, BHP Billiton, Glencore, etc. que, através de fusões e associações têm aumentado a concentração do setor (BNDES, 1999).



## 2.3. A INDÚSTRIA NACIONAL DE FERROLIGAS

### 2.3.1. Histórico

Apesar da existência de indústrias nacionais precursoras, ainda rudimentares, a primeira empresa brasileira a produzir ferroligas em escala industrial foi a Companhia Níquel do Brasil, que entrou em operação em 1935, com o incentivo do governo federal. Já em 1966 operavam no país seis empresas nesse mercado: CBCC, Paulista de Ferroligas, Mineração Geral do Brasil, Alumínio Minas Gerais, Ferbasa e CSN, as quais totalizavam uma produção de 51 mil t/ano aproximadamente. Alavancada pelo desenvolvimento da siderurgia brasileira, a indústria de ferroligas experimentou um grande desenvolvimento na década de 70, quando saltou de 127 mil t (1972) para 552 mil t (1980) (BNDES, 1999).

Após a segunda crise do petróleo, a produção de eletrointensivos passou a ser transferida gradativamente das nações desenvolvidas – que repensavam suas matrizes energéticas e sofriam pressões ambientais – para regiões com maiores vantagens comparativas em insumos, especialmente minério e energia, como a África do Sul, a Austrália e o Brasil. Na ocasião, o governo brasileiro, também em função da crise energética, desenvolvia um grande esforço para substituir o petróleo importado por energéticos nacionais, apoiando, através de programas como o Conserve, a substituição para a energia elétrica.

Foi incentivada a implantação e o desenvolvimento de investimentos destinados à produção em larga escala de eletrointensivos, especialmente, alumínio, metais não ferrosos e ferroligas. Com isso, a potência instalada do setor passou de 626 MVA, no início da década de 80, para 1.200 MVA em 1990, com capacidade de produção movendo-se do patamar de 500 mil t/ano para cerca de 1.130 t/ano no mesmo período. No início da década de 90, após uma grande expansão do setor, o Brasil ocupava o quarto lugar em produção e o terceiro em exportação, entre os

países produtores de ferroligas no mundo ocidental, sendo responsável por aproximadamente 7% das trocas internacionais do setor (BNDES, 1999).

A mudança do cenário internacional a partir dos anos 90, caracterizada pela queda dos preços, pelo dumping nas volumosas exportações da China e dos países do Leste Europeu e pelo conseqüente aumento do protecionismo comercial, atingiu fortemente a indústria nacional. Aliam-se a isso a demanda estagnada da indústria siderúrgica nacional e o despreparo gerencial e comercial das empresas, em sua maioria de gestão familiar.

No período subsequente, os preços da energia elétrica se elevaram a patamares em que ela deixou de ser uma vantagem competitiva, houve a abertura do mercado e a estabilização da moeda. Outros custos também se elevaram, como a mão de obra. Paralelamente, a indústria siderúrgica também se desenvolveu e se tornou mais sofisticada, com maiores exigências com respeito à qualidade. O resultado disso é que nos últimos 15 anos muitas unidades foram desativadas e as demais tiveram que rever radicalmente o seu *modus operandi*.

Apesar de ainda não haver dados publicados do ano de 2015, a previsão já era de que o Brasil perderia mais posições neste *ranking*, visto que várias empresas reduziram drasticamente a produção em razão da não renovação dos contratos de energia elétrica.

### **2.3.2. Localização e distribuição da indústria de ferroligas**

O parque produtor brasileiro é constituído de cerca de trinta unidades produtoras de ferroligas. A maioria das empresas é de capital privado nacional. Entretanto, o grau de nacionalização dessa indústria já foi maior. Nos últimos anos houve uma mudança significativa no perfil médio das empresas que constituem a indústria nacional de ferroligas, com um aumento da participação de empresas estrangeiras. Atualmente, constata-se que a atuação de grupos multinacionais é

bastante relevante e não acontece somente através de participações, mas também pelo controle efetivo das subsidiárias.

A interação com a indústria mundial não se dá apenas pela entrada de grupos estrangeiros no país. A brasileira Vale tem uma forte atuação no mercado internacional. Apesar do grande número de empresas, o mercado brasileiro de ferroligas possui um alto grau de concentração, com poucos participantes em cada um dos principais segmentos. Em um desses segmentos, o cromo, nota-se ausência de concorrência interna. A Ferbasa é a única produtora de cromo na América Latina. O segmento de silício é o que possui um maior número de empresas atuantes, cerca de 75% dos fabricantes nacionais de ferroligas produzem ligas de ferro silício e/ou silício metálico. O segmento de manganês é dominado pela Vale, vindo logo em seguida a Maringá S/A – Cimentos e Ferroligas e Granha Ligas.

Algumas unidades mostradas na Figura 2 estão temporariamente paralisadas, em decorrência da crise, mas com a expectativa de serem reativadas com a normalização do mercado e negociação de um contato de energia elétrica com tarifa competitiva.

UNIDADES PRODUTORAS DE FERROLIGAS NO BRASIL							
EMPRESA	ESTADO	TIPO DE FERROLIGAS					
		MANGANÊS	SILÍCIO	CROMO	NÍQUEL	NIÓBIO	OUTRAS
Vale - Onça Puma	PA						
Down Corning	MG, PA						
Libra - Ligas do Brasil S/A	CE						
Ferbasa	BA						
Vale Manganês S/A	BA						
Anglo American	GO						
Votorantim	GO						
Maringá AS - Cimento e Ferroliga	SP						
Granha Ligas	MG, MS						
Minasligas	MG						
Liasa	MG						
Eletrosílex S/A	MG						
Inonibrás	MG						
Italmagnésio	MG						
Rima	MG						
Bramag	MG						
Nova Era Silicon	MG						
Ligas Gerais	MG						
Bozel	MG						
Vale Manganês S/A - Rancheira	MG						
Vale Manganês S/A - Barbacena	MG						
CBMM	MG						
Puiatti & Filhos Comércio e Indústria LTDA	MG						
Eletroligas	MG						
Ferlig	MG						
Fertilig	MG						

Figura 2 - Unidades Produtoras de Ferroligas no Brasil

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

O estado de Minas Gerais destaca-se com uma concentração de produção de ferro ligas de silício no norte do estado, além de um grande número de unidades produtoras de ligas de manganês. Em Goiás destacam-se as unidades produtoras de níquel. Como destaque, temos na Bahia a Ferbasa, única produtora de ferroligas de cromo das Américas, bem como a CBMM em Minas Gerais, maior produtora de ferro nióbio do mundo, com participação acima de 85%.

### 2.3.3. Caracterização econômica

A indústria de ferroligas está inserida no setor metalúrgico sendo classificada pelo CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas - IBGE, na Seção C- Indústrias de Transformação, Divisão 24 - Metalurgia, dividida em cinco grupos: produção de ferro-gusa e de ferroligas; siderurgia; produção de tubos de aço, exceto sem costura; metalurgia dos metais não ferrosos e fundição.

Desenvolvida e apoiada num modelo exportador, a indústria nacional possui uma capacidade instalada bem acima do seu consumo interno. No ano de 2013, o setor de ferroligas exportou pouco mais de 46% de sua produção. No entanto, é importante notar que em termos de faturamento, 68% dessas exportações estão concentradas no ferro nióbio. A demanda interna é perfeitamente atendida pelas empresas nacionais, sendo o nível de importação bem pequeno, focado principalmente em alguns itens que não são produzidos internamente.

Portanto, com essa configuração, a indústria nacional impulsiona a sua atividade de acordo com as oportunidades do mercado externo. Tal fato é positivo, por um lado, porque permite uma saída para a estagnação do mercado interno e desfavorável, por outro, porque torna a indústria nacional dependente do mercado internacional e extremamente sensível às suas variações.

De acordo com a Tabela 1, no ano de 2013 o Brasil produziu próximo de 1,2 milhões de t de ferroligas, ocupando a posição de sétimo produtor mundial.

A Tabela 2 mostra a produção brasileira dos principais tipos de ferroligas.

Tabela 2 - Produção Brasileira de Ferroligas

	Unid.: t				
<b>FERROLIGAS</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Ferrocromo</b>	110.643	185.900	156.600	200.315	193.200
<b>Ferromangânês</b>	154.100	305.900	295.600	330.419	330.000
<b>Ferroníquel</b>	31.600	23.800	45.600	94.400	115.000
<b>Ferronióbio</b>	48.900	77.200	81.900	50.400	46.600
<b>Ferrosilício</b>	175.000	247.300	210.900	203.881	200.000
<b>Silício metálico</b>	154.000	184.100	210.400	230.000	230.000
<b>Outras ferroligas</b>	39.500	70.250	53.600	59.984	60.000
<b>TOTAL</b>	<b>713.743</b>	<b>1.094.450</b>	<b>1.054.600</b>	<b>1.169.399</b>	<b>1.174.800</b>

Fonte: WORLD MINERAL STATISTICS, 2015 e MME, 2014

O setor de ferroligas e de silício metálico brasileiro é totalmente globalizado e atende as mais exigentes normas de renomados institutos internacionais de auditoria e controle de qualidade.

As exportações de ferroligas e silício metálico equivalem a 65% das suas vendas totais e se destacam como o 6º segmento mais superavitário dos últimos quatro anos, representando 7% da balança comercial. Como atende o mercado interno com seus produtos, evita importações na ordem de R\$ 2,2 bilhões/ano, reduz o custo de logística e aumenta a competitividade da metalurgia e siderurgia brasileira. (Em: <http://www.abrafe.ind.br/>. Acesso em: 10 de agosto de 2105).

Nas localidades onde possuem indústrias instaladas, constitui parcela significativa das riquezas geradas e seu faturamento representa em média 34% do PIB da região, sendo de até 97% para algumas cidades. Gera mais de 80 mil empregos diretos e indiretos, sendo que a arrecadação de impostos e tributos totaliza mais de R\$ 1,4 bilhão/ano. (Em: <http://www.abrafe.ind.br/>. Acesso em: 10 de agosto de 2105).

De acordo com a Tabela 3, o saldo comercial, do setor de ferroligas vem mantendo sua tendência superavitária, registrando, em 2013, cerca de US\$ 2,1 bilhões. As exportações totalizando US\$ 2,3 bilhões apresentaram recuo de quase 16% em relação ao ano anterior.

Tabela 3 - Balança Comercial de Ferroligas

BALANÇACOMERCIAL DE FERROLIGAS										
	2009		2010		2011		2012		2013	
	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB
CONS APARENTE	374.979		684.911		635.354		656.091		536.866	
MERCADO INTERNO	326.501		595.215		513.024		565.522		454.024	
EXPORTAÇÃO	244.278	1.427.332	313.092	2.038.963	336.722	2.495.280	398.157	2.787.913	389.781	2.351.144
IMPORTAÇÃO	48.478	125.910	89.696	251.375	122.330	300.923	90.569	225.774	82.842	197.068
SALDO	195.800	1.301.422	223.396	1.787.588	214.392	2.194.357	307.588	2.562.139	306.939	2.154.076

Fonte: MME, 2014

Os principais produtos de exportação desse segmento são o ferro nióbio, que totalizou 63,7 mil toneladas (US\$ 1,6 bilhão); o ferro níquel, 79,8 mil toneladas (US\$ 354 milhões) e o ferro silício, 112 mil toneladas (US\$ 197 milhões). Os principais compradores brasileiros de ferroligas, em 2013, foram os Países Baixos (23,6%); China (20,8%); Japão (14,2%) e EUA (12,0%).

As importações de ferroligas são pouco representativas, totalizando, em 2013, 82,8 mil toneladas (US\$ 197 milhões), dentre as quais se destaca o ferro molibdênio, que registrou volume de 2,7 mil toneladas e US\$ 48,7 milhões (MME, 2014).

A Tabela 4, mostra especificamente a balança comercial do FeCrAC. No ano de 2013, esta liga apresentou um superávit de R\$ 3.708.000, após quatro anos consecutivos de déficit no saldo comercial.

Tabela 4 – Balança Comercial do FeCrAC

BALANÇACOMERCIAL DO FeCrAC										
	2009		2010		2011		2012		2013	
	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB	t	10 <sup>3</sup> US\$ FOB
<b>CONS APARENTE</b>	80.925		141.330		121.976		148.137		132.834	
<b>MERCADO INTERNO</b>	77.735		134.528		109.515		139.909		124.443	
<b>EXPORTAÇÃO</b>	4.108	3.774	7.434	9.251	6.850	8.867	1.861	2.441	17.670	16.514
<b>IMPORTAÇÃO</b>	3.190	5.315	6.802	11.640	12.461	18.408	8.228	13.383	8.391	12.806
<b>SALDO</b>	<b>FeCrAC</b>	<b>-1.541</b>	<b>632</b>	<b>-2.389</b>	<b>-5.611</b>	<b>-9.541</b>	<b>-6.367</b>	<b>-10.942</b>	<b>9.279</b>	<b>3.708</b>

Fonte: MME, 2014

Ao longo do período analisado, cerca de 94% do consumo aparente de FeCrAC foi suprido pela indústria nacional. No ano de 2013, a China foi o principal destino das exportações de FeCrAC, correspondendo a 71% das exportações deste produto (MME, 2014).

Segundo Bermann (2012), a indústria de ferroligas não é forte geradora de empregos, sendo que os setores eletrointensivo devem interromper os investimentos no aumento de sua capacidade de produção, para em seguida, reduzir a atual escala de produção, por meio de medidas que incentivem a modernização das plantas produtoras e o surgimento de inovações que possam reduzir o consumo energético no processo de produção.

A redução na escala de produção implicaria na comercialização direta do minério in natura, que tem menor valor agregado que as ferroligas.

#### 2.3.4. Caracterização energética

O processo de produção de ferroligas envolve várias etapas e em cada etapa é preciso energia para suprir as três funções básicas:



#### A. Funções de Processo:

As funções como cominuição ou fragmentação<sup>1</sup>, mistura, transporte de material, transformação mecânica, etc., envolvem operações com máquinas, que demandam energia elétrica. A energia elétrica é também necessária para iluminação, sistemas de refrigeração, etc.

#### B. Funções Químicas:

A extração do metal a partir do seu óxido é baseada em reação química com algum redutor como o carbono ou hidrogênio. O carbono é o redutor mais comumente usado nas ferroligas na forma de coque metalúrgico ou carvão vegetal.

#### C. Funções Térmicas:

As reações metalúrgicas ocorrem a elevadas temperaturas e energia térmica é necessária para sustentar o processo. O metal a ser produzido precisa ser separado da ganga associada ao minério por fusão, para causar a separação física do metal e escória. Isso demanda energia térmica para o aquecimento e fusão. Essa energia térmica poderia ser obtida por combustão do carvão mineral, óleo ou gás natural. No caso das ferroligas, que é um processo eletro metalúrgico, é a energia elétrica que fornece a energia térmica.

A energia total requerida na obtenção da ferroligas a partir dos seus minérios inclui a energia do processo, a energia química, a energia térmica e as várias perdas de energia durante as operações de produção.

A energia necessária para a produção da ferroligas inicia do seu minério e depende de vários fatores tais como: qualidade da matéria prima, rota de processo e tipos de tecnologia adotada.

A fabricação de ferroligas foi responsável por 0,6% do consumo energético final total da indústria brasileira em 2013 (EPE, 2014).

---

<sup>1</sup> A operação de fragmentação, no campo de beneficiamento de minérios, agrupa um conjunto de técnicas que tem por finalidade reduzir, por ação mecânica externa e algumas vezes interna, um sólido, de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor (LUZ et al., 2010 p. 143).

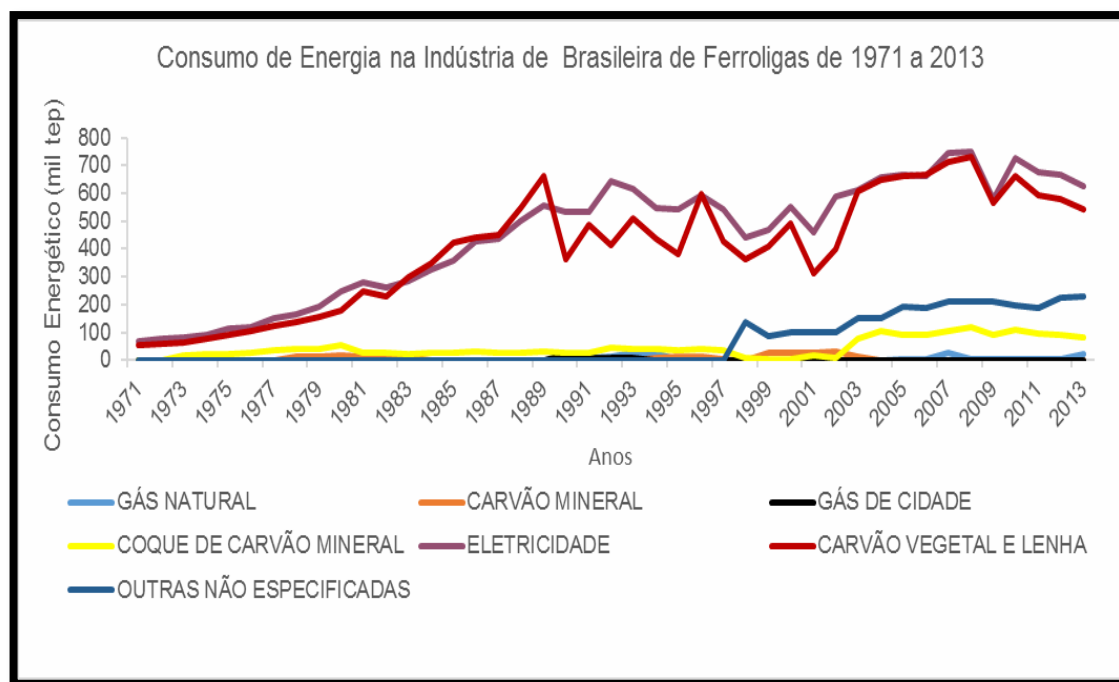


Figura 3 - Consumo de Energia na Indústria de Ferroligas de 1971 a 2013

Fonte: EPE, 2014

A Figura 3 mostra a evolução, de 1971 a 2013, do consumo dos energéticos utilizados na indústria de ferroligas no Brasil.

Os dois principais energéticos consumidos na fabricação de ferroligas são a energia elétrica e o carvão vegetal/lenha. A principal função da energia elétrica é térmica e do carvão vegetal é química. O coque é mais largamente empregado na fabricação do ferro cromo. O consumo de ambos aumentou, quase que continuamente, de 1971 até o início da década de 90. Como reflexo de variações de demanda internacional por ferroligas, seu consumo oscilou, com tendências de queda. A partir do início dos anos 2000, houve uma forte recuperação.

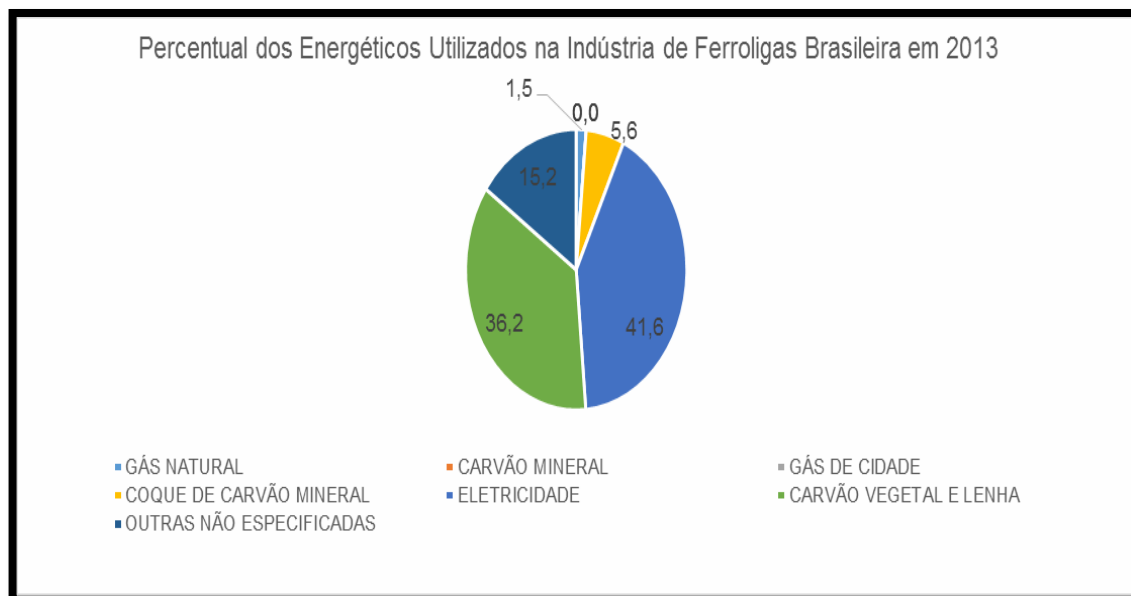


Figura 4 - Percentual dos Energéticos Utilizados na Indústria de Ferroligas Brasileira em 2013

Fonte: EPE, 2014

Conforme indica a Figura 4, a energia elétrica e o carvão vegetal/lenha responderam pela maior parcela de energéticos na indústria de ferroligas brasileira em 2013, totalizando 77,8%. A categoria “outras não especificada” vem aumentando sua participação a partir de 1998, alcançando 15,2% do consumo energético total em 2013. Isso também está ocorrendo com o coque de carvão mineral, em menor escala.

Tabela 5 - Estimativa do Balanço de Energia Útil (BEU) para as distribuições percentuais, por usos finais em 2004, dos consumos dos energéticos utilizados na indústria de ferroligas do país

ENERGÉTICO	FORÇA MOTIRZ	REFRIGERAÇÃO	AQUECIMENTO DIRETO	ILUMINAÇÃO	SOMA
Gás natural	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Lenha	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Óleo combustível	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Coque de carvão mineral	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Eletricidade	2,9	0,2	96,5	0,4	100,0
Carvão Vegetal	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Outras fontes secundárias do petróleo	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0

Fonte: LEITE et al., 2010

Aplicando-se as distribuições da Tabela 5 aos consumos finais destes energéticos em 2013, obtém-se que o uso final quase que exclusivo da energia na indústria de ferroligas no ano de 2013, foi o aquecimento direto (98,6%). O forno elétrico a arco é o equipamento que usa grande parte dessa energia. Os outros usos foram muito pequenos ou nulos.

O tipo de forno elétrico a arco, ou seja, aberto, fechado ou semifechado, tem uma influência importante no consumo de energia.

As Figura 5 e 6 mostram respectivamente a evolução do consumo absoluto e específico de energia elétrica na indústria de ferroligas no período de 1970 a 2013.

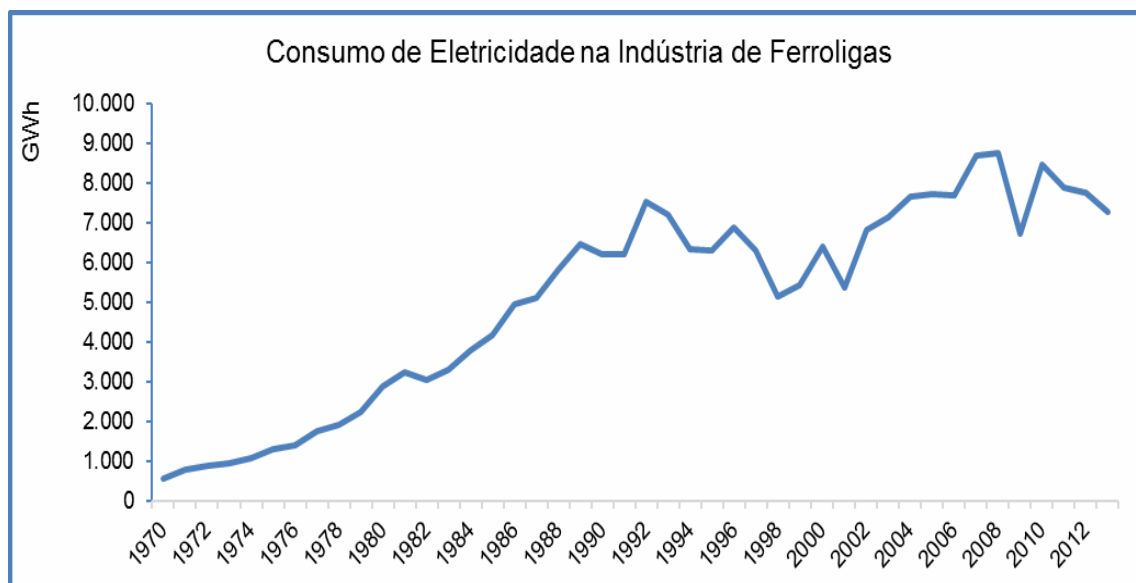


Figura 5 - Consumo de Eletricidade na Indústria de Ferroligas Brasileira

Fonte: EPE, 2014

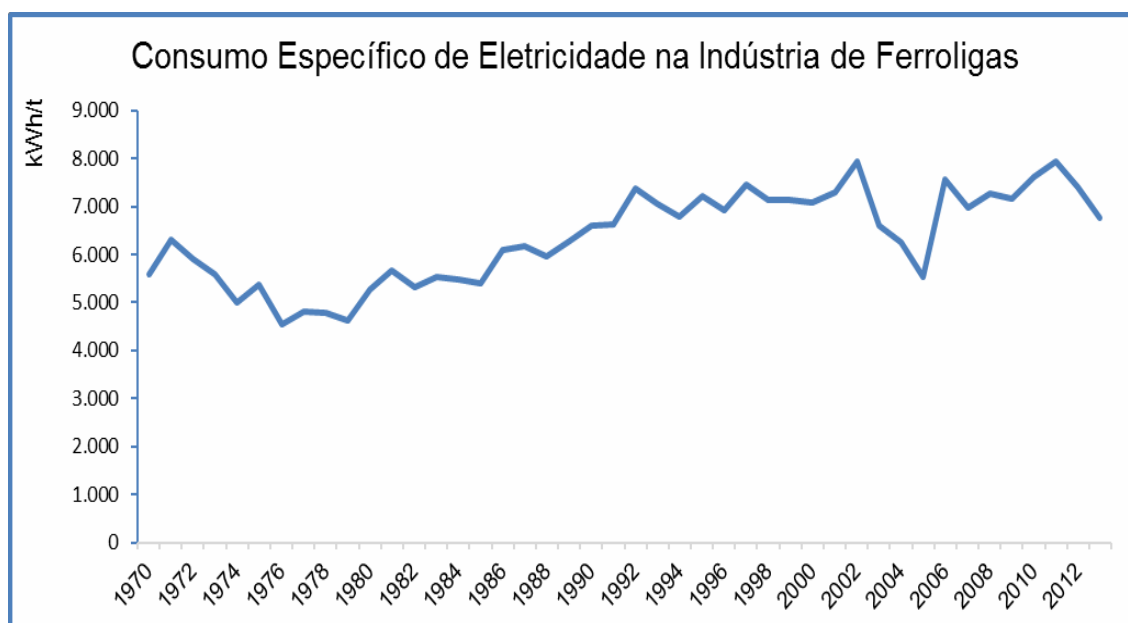


Figura 6 - Consumo Específico de Eletricidade na Indústria de Ferroligas Brasileira

Fonte: EPE, 2014

No ano de 2013 o setor de ferroligas consumiu 7.277 GWh, correspondendo a 1,4% de toda a energia elétrica consumida no país e 3,5% do setor industrial.

O consumo específico de energia apresentou a seguinte evolução nas últimas quatro décadas: 1970 a 1980 (5.249 kWh /t), 1980 a 1990 (5.851 kWh/t), 1990 a 2000 (7.081 kWh/t) e 2000 a 2013 (7.099 kWh/t).

Tabela 6 - Consumo Específico de Energia das Principais Ferroligas Produzidas no Brasil

<b>Ferroliga</b>	<b>Con. Es p. Energia (kwh/t)</b>
FeMnAC	2.800
FeSiMn	4.000
FeCrAC	4.000
FeSiCr	5.000
FeSi 75	8.000
Si metálico	12.000

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

As diversas ferroligas apresentam níveis diferentes de consumo de energia elétrica no processo produtivo. A Tabela 6 mostra os valores típicos de consumo de energia para as principais ferroligas produzidas no Brasil.

Houve ao longo da década de 90 um incremento próximo de 35% no consumo específico de energia, comparando-se com a década de 70, conforme indica a Figura 6. Isso ocorreu devido à introdução de unidades produtoras de ferroligas neste período que produziam FeSi e silício metálico, ligas essas mais energointensivas.

### 2.3.5. Caracterização ambiental

O processo produtivo das indústrias de ferroligas possui impactos negativos no ambiente, dada à geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e, principalmente, emissões atmosféricas.

As emissões atmosféricas são compostas, de modo geral, por material particulado e gases. Estes contêm dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarbonetos aromáticos e metais pesados. Nesse último caso, a presença e a concentração nos gases dependem do processo adotado.

Os particulados são gerados a partir de diversas atividades durante o processo produtivo de ferroligas, incluindo movimentação de matérias primas, fusão, vazamento e movimentação do produto. Materiais orgânicos são gerados quase que exclusivamente durante a etapa de fusão. Os fornos são as maiores fontes de emissões de particulado e material orgânico.

Emissões de particulados do forno elétrico a arco na forma de fumos correspondem, aproximadamente, por 94% do total de emissões de particulados na indústria de ferroligas (ERIC, 2014).

Em forno elétrico aberto, todo o monóxido de carbono e grande parte da matéria orgânica são queimados com o ar induzido que entra no topo do forno. Para reter o material particulado contido nessas emissões, utilizam-se principalmente filtros de mangas em fornos abertos e lavadores de gás (*scrubbers*) em fornos semiabertos e fechados.

Conforme já citado anteriormente, a produção de ferroligas é energointensiva com um elevado consumo de eletricidade, no entanto, com um moderado consumo de coque metalúrgico e pequenas quantidades de outros combustíveis e redutores. Isso afeta diretamente a emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 7 – Fator de Emissão de CO<sub>2</sub> para algumas Ferroligas

<b>Tipo de Ferroliga</b>	<b>Fator de Emissão, t CO<sub>2</sub>/t liga</b>
FeCrAC	1,30 - 1,63
FeMnAC	1,30 - 1,79
FeSi (45% a 90% Si)	2,50 - 4,8
SiMn	1,40 - 1,66

Fonte: GASIK, 2013

A Tabela 7 mostra o fator de emissão de CO<sub>2</sub> para os principais tipos de ferroligas produzidos no Brasil. Essas emissões referem-se apenas às emissões diretas da combustão do carbono quando coque ou eventualmente carvão mineral são usados como redutores, incluindo-se também as emissões do consumo de eletrodos.

Deve-se, também, levar em consideração as emissões indiretas geradas na produção de eletricidade, que dependendo da forma como a eletricidade é gerada, esse valor pode ser representativo. No caso do Brasil, a maior fonte de energia elétrica é a renovável. Segundo o EPE (2014), no ano de 2013, 76,8% da energia elétrica foi gerada por fontes renováveis.



Tabela 8 – Emissões de GEE na Geração Elétrica em 2011 – 10 Maiores

	<b>Emissões Mt de CO<sub>2</sub></b>	<b>Emissões per Capita t CO<sub>2</sub>/hab.</b>
<i>Mundo</i>	14.609,6	2,1
China	4.266,0	3,2
Estados Unidos	2.478,0	8,0
União Européia(27)	1.494,3	3,0
Rússia	1.000,2	7,0
Índia	963,5	0,8
Japão	561,2	4,4
Alemanha	350,5	4,3
Coréia do Sul	338,7	6,8
Austrália	241,7	10,8
Arábia Saudita	241,3	8,7
<i>Brasil (48°)</i>	<i>32,1</i>	<i>0,2</i>
Outros	2.642,0	-

Fonte: EPE, 2014

A Tabela 8 indica o Brasil como 48° no *ranking* de emissões de GEE no ano de 2011 na geração de eletricidade, reflexo da maior participação de fonte hídrica na geração de eletricidade.

Uma parte significativa dos produtores brasileiros de ferroligas (principalmente os de ferro silício e silício metálico) usa o carvão vegetal como redutor, fazendo com que essa indústria use da estratégia de reflorestamento, via plantio de eucalipto, para atender às suas necessidades de carvão vegetal. O reflorestamento propicia a redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Assim, com base no Protocolo de Kyoto, este benefício ambiental proporcionado pela indústria de ferroligas poderá gerar créditos de carbono comercializáveis no mercado internacional.

A contaminação de água na produção de ferroligas é muito dependente do processo de fabricação da liga e do sistema de redução. Os principais poluentes dessas águas são partículas suspensas e compostos metálicos. Alguns metais, mesmo em baixas concentrações, são muito tóxicos. Alguns exemplos são o cádmio e mercúrio. Os efluentes provenientes da lavagem dos gases, em vários casos, contêm cianetos formados no forno pela reação do carbono com o nitrogênio atmosférico.

Em relação aos resíduos sólidos, destaca-se a geração de escória, de lamas diversas e resíduos do filtro de poeira. Os resíduos de processos mais importantes são a poeira dos filtros, lama dos lavadores de gás, escória do processo de fusão e redução e material refratário oriundo da demolição de fornos.

### **2.3.6. Eficiência energética na indústria de ferroligas**

Eficiência energética industrial é definida como a quantidade de energia usada para produzir uma unidade de uma determinada commodity, que é determinada pelo tipo de processo usado, a geração dos equipamentos e da eficiência da produção, incluindo condições operacionais (UNIDO, 2008).

O contínuo desenvolvimento de tecnologias é parte integral de qualquer modelo de negócio. Tecnologia é um dos principais fatores que afetam a competitividade do produto final no mercado global. Cada nova geração de produtos é por “*default*” mais eficiente energeticamente que a geração anterior, assim, eficiência energética é um importante fator de custo durante o ciclo de vida do produto. Tecnologias em eficiência energética podem ser encontradas em todas as partes da cadeia de conversão de energia. No entanto, não é apenas o potencial técnico que é crucial para a introdução com sucesso de tecnologias com eficiência energética. Para efetuar uma completa avaliação de todo o potencial dessas tecnologias e identificar o caminho para a introdução das mesmas com sucesso no mercado são necessários considerar a viabilidade econômica e também o potencial realístico.

De acordo com World Energy Council (2013), os projetos em eficiência energética devem cumprir as seguintes etapas:

A- Potencial técnico: uso da melhor tecnologia disponível (MTD) ou “*best available technology*” (BAT) em todas as áreas sem levar em consideração aspectos econômicos.

B- Potencial de viabilidade econômica: uso de tecnologias com eficiência energética apenas quando é viável economicamente e quando o *payback* pode ser mostrado.

C- Potencial realístico: leva em consideração as barreiras para implementação (política, financeira, etc.).

A adoção das melhores práticas e tecnologias com foco em eficiência energética pode levar aos seguintes impactos:

I. Energia: eficiência energética conduz para um mesmo nível de produção, com menos energia. Ou ainda, pode-se aumentar o volume de produção, mantendo-se o mesmo nível de consumo de energia. Isso também se traduz em termos de demanda de energia: produzir a mesma quantidade com uma demanda menor ou aumenta-se a produção mantendo-se a mesma demanda.

II. Custos: os custos com energia são reduzidos como resultado do aumento da eficiência energética. Pode-se também haver uma diluição dos custos fixos se for adotada a estratégia do aumento do volume de produção.

III. Emissões: podem ser reduzidas pela melhoria do uso da energia e redução das perdas energéticas.

IV. Produção: poderá ser aumentada, se adotar a estratégia de manter a mesma demanda energética.

Tabela 9 – Consumo de Matérias Primas e Energia na Produção de FeCrAC e FeMnAC: Conversão do Coque para Eletricidade: 1 kg coque = 7,7 kWh.

Tipo de Ferroliga	FeCrAC		FeMnAC
	Aberto	Fechado	Fechado
<b>Tipo de Forno</b>	Aberto	Fechado	Fechado
<b>Tipo de Carga</b>	Lump/finos, sem pré-aquecimento	Pelotas, com pré-aquecimento	Sem pré-aquecimento
<b>Minério, kg/t</b>	2400-3000	2300-2400	1900-2400
<b>Redutor, kg/t</b>	550-700	500-550	410-500
<b>Fundentes, kg/t</b>	100-400	200-300	-
<b>Eletrodos, kg/t</b>	8-25	7-10	8-25
<b>Eletricidade, kWh/t</b>	3800-4500	3100-3500	2200-3200
<b>Energia Potencial do coque, kWh/t</b>	4200-5400	3900-4200	3100-3500
<b>Input Total de Energia, kWh/t</b>	8000-9900	7000-7200	5300-6700

Fonte: GASIK, 2013

Tabela 9 indica os consumos de matérias primas e energia na produção do FeCrAC e FeMnAC. No caso do FeCrAC, comparam-se os valores com forno aberto

e fechado, sendo possível obter uma redução no input total de energia de até 27%. Isso indica que a tecnologia adotada na produção das ferroligas e o pré-tratamento das matérias primas têm grande influência no consumo energético.

Ferroligas são produzidas em fornos elétricos e o maior potencial de conservação de energia está associado à etapa de fusão e redução da carga – 80% do total – em fornos elétricos (LEITE et al., 2010).

Baseado nos trabalhos de Pessoa e Oliveira (2002), UNIDO (2008), e Leite et al. (2010) são apontadas, a seguir, as barreiras e desafios para o combate ao desperdício de energia elétrica, envolvendo as abordagens da inovação tecnológica para o desenvolvimento mais acentuado dos conceitos e práticas da eficiência energética no Brasil. Têm-se, então, como aspectos relevantes relativos ao assunto abordado:

I. O custo mais elevado de novas tecnologias, conjuntamente com as indeterminações que estas acarretam;

II. A falta de investimentos para avanços tecnológicos superiores aos atuais estágios em que se encontram os cenários da indústria de energia elétrica e seus mercados consequentes;

III. Desconhecimento das vantagens econômicas e ambientais da conservação e uso racional da energia em inúmeros setores da atividade produtiva;

IV. Elevados custos iniciais de implantação de fontes alternativas de energia e eficiência energética, com possíveis mudanças tecnológicas;

V. Dificuldade de obtenção de recursos financeiros em condições atrativas (taxas de juros, carência, prazo de amortização, garantias, dentre outras), onde os agentes financeiros não estão acostumados com a avaliação deste tipo de projeto;

VI. Elevadas taxas de desconto usadas na avaliação econômica de projetos;

VII. Alta percepção de risco das tecnologias mais eficientes;

VIII. Estrutura legal pouco atrativa para cogeração ou produção de energia independente;

IX. Necessidade de treinamento de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis.

Empresas que estão em fase de expansão e que precisam aumentar a capacidade produtiva para atender a demanda, têm uma particular oportunidade para aumentar a sua competitividade adotando as melhores práticas em eficiência energética desde o início das novas instalações. A integração de eficiência energética desde o projeto básico tem, geralmente, um menor custo que uma readequação ou *revamp* nas instalações já existentes. Por outro lado, falhas na integração de eficiência energética em novas instalações, representam uma enorme e permanente perda na potencial mitigação das mudanças climáticas, e que vai persistir por décadas até que essas instalações necessitem novamente de readequação.

### 3. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

#### 3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria de energia elétrica é basicamente composta por geradores espalhados pelo país e pelas linhas de transmissão e de distribuição de energia, que compõem a chamada “indústria de rede”. Todo o sistema é eletricamente conectado, exigindo o balanço constante e instantâneo entre tudo o que é produzido e consumido. É constituída por agentes independentes que, ou produzem, ou transportam ou comercializam a energia elétrica. Os fluxos financeiros no sistema são diferentes dos fluxos energéticos físicos, isso pelo fato de que não se pode receber a energia diretamente de um único gerador, mas sim de todos os geradores ao mesmo tempo (ABRADEE, 2014).

A evolução do setor elétrico brasileiro nas últimas três décadas é sumarizada, a seguir, conforme ABRADEE (2014) e Bonini (2011). Logo no início da década de 1980 o Brasil estava vivendo a crise da dívida externa, que resultou em altos cortes de gastos e investimentos pelo governo. As tarifas de energia, que eram iguais para todo o país, foram mantidas artificialmente baixas como medida de contenção da inflação, não garantindo às empresas do setor uma remuneração suficiente para o seu equilíbrio econômico. Também vigorava a equalização tarifária entre todos os estados brasileiros, provocando subsídios cruzados entre empresas eficientes e ineficientes. Tal situação adversa criou condições para a proposição de um novo paradigma para o setor elétrico, assim como ocorreu também para outros setores de infraestrutura no país, como o de telecomunicações.

A partir da segunda metade dos anos 1990, a partir de um projeto de reestruturação do setor elétrico, denominado RESEB, o Ministério de Minas e Energia preparou as mudanças institucionais e operacionais que culminaram no atual modelo do setor. Esse se baseou no consenso político-econômico do “estado regulador”, o qual deveria direcionar as políticas de desenvolvimento, bem como

regular o setor, sem postar-se como executor em última instância. Assim, muitas empresas foram privatizadas e autarquias de caráter público e independente foram criadas, como é o caso da própria agência reguladora, a ANEEL.

Apesar das reformas, o novo modelo não garantiu a suficiente expansão da oferta de energia, levando o país a um grande racionamento em 2001. Foi então, a partir de 2004, que novos ajustes ao modelo foram feitos pelo governo com o intuito de reduzir os riscos de falta de energia e melhorar o monitoramento e controle do sistema. Os princípios que nortearam o modelo de 2004 foram: a segurança energética, a modicidade tarifária e a universalização do atendimento.

Apesar de alterações significativas em alguns mecanismos inicialmente previstos, como o de compra de energia por parte das distribuidoras, pode-se dizer que a espinha dorsal do modelo dos anos 1990 foi preservada em 2004. Todavia, um novo capítulo na história do setor elétrico iniciou-se com a Medida Provisória 579, de setembro de 2012. Nessa MP, posteriormente convertida na Lei 12.783/2013, empresas geradoras e transmissoras puderam renovar antecipadamente seus contratos de concessão desde que seus preços fossem regulados pela ANEEL. Principalmente devido à regulação dos preços das geradoras que aceitaram os termos da MP, observou-se significativa mudança no contexto institucional do setor elétrico: empresas geradoras que outrora atuavam em ambiente competitivo passaram a ter seus preços regulados, da mesma forma que já ocorria com as distribuidoras e transmissoras, consideradas monopólios naturais.

Mesmo após ter sido submetido a dois processos de reestruturação institucional nos últimos 15 anos, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB), apresenta atualmente uma situação contraditória: ao mesmo tempo em que está assentado em um sistema de produção de energia (geração) de baixo custo operacional, dada a participação expressiva de hidrelétricas na formação de sua capacidade instalada, o setor está organizado sob um modelo que impõem tarifas excessivamente elevadas de fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Segundo a EPE (2014), no ano de 2013, a fonte hidráulica correspondeu a 68,6% da geração interna de energia elétrica.

### 3.2. TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA O SETOR INDUSTRIAL

Nota-se que apesar do aumento de fontes não renováveis e mais caras, a base hídrica e de outras fontes renováveis, que com o tempo passaram a ser mais competitivas, deverão manter participação elevada na formação da capacidade instalada do parque gerador brasileiro. Isso quer dizer que, pelo menos na teoria, o Brasil deverá manter até 2020, sua base de produção de energia elétrica assentada em fontes com custos operacionais bem mais reduzidos que a maioria dos países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Segundo informações no Anuário Estatístico de Energia Elétrica, EPE (2014), a fonte hídrica correspondeu a 16,5% da geração elétrica no mundo no ano de 2011, sendo que neste mesmo ano no Brasil a fonte hídrica representou 80,6% de toda geração elétrica.

Ao compararmos nossas tarifas de fornecimento de energia elétrica com as praticadas em outros países, observa-se que as tarifas brasileiras se encontram em patamares bastantes elevados, na direção oposta ao que deveria ocorrer dadas as vantagens comparativas que a princípio a matriz de oferta de energia elétrica brasileira possui em relação àqueles países, que dependem essencialmente da queima de combustíveis fósseis ou de energia nuclear.



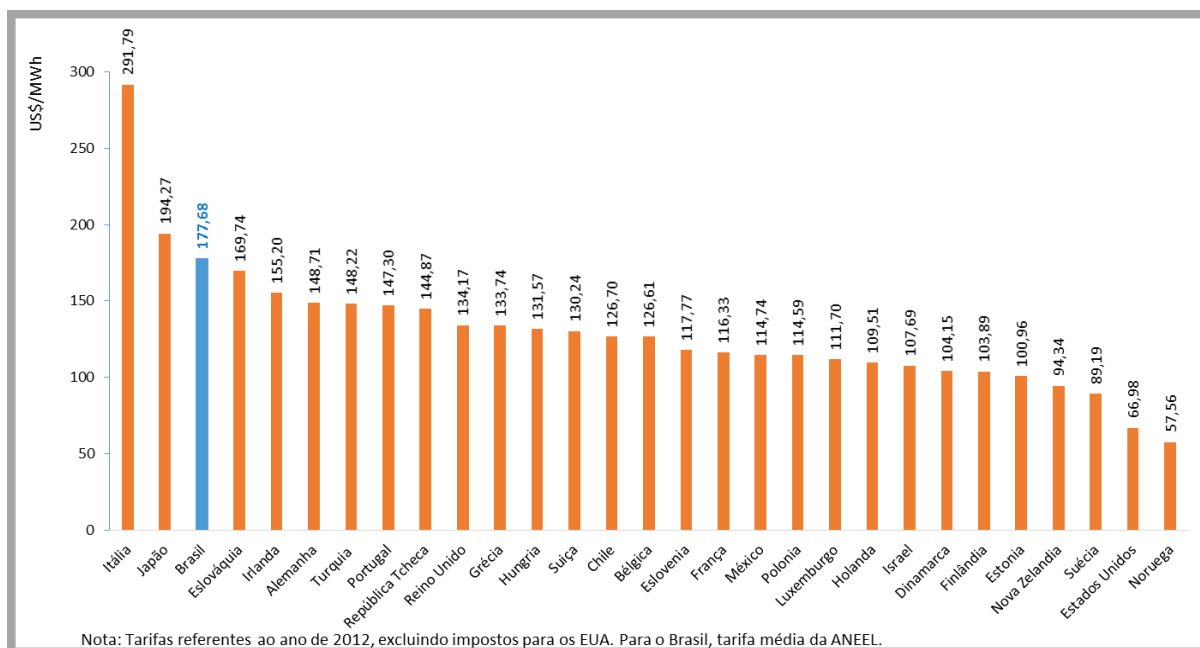


Figura 7 – Tarifas Médias de Energia Elétrica Industrial em 2012

Fonte: EPE, 2014

A Figura 7 mostra as tarifas médias de energia elétrica industrial praticadas em diversos países no ano de 2012. Neste ano, nota-se que o Brasil se encontrava na terceira posição.

Tabela 10 – Tarifa de Energia Elétrica Industrial no BRIC em 2011

PAÍSES	Tarifa Média (R\$/MWh)
<b>Brasil</b>	<b>329,0</b>
Índia	188,1
China	142,4
Rússia	91,5
Média de Índia, China e Rússia	140,7

Fonte: FIRJAN, 2011

Tabela 11 – Tarifas de Energia Elétrica Industrial  
na América Latina.

PAÍSES	Tarifa Média (R\$/MWh)
<i>Brasil</i>	<i>329,0</i>
Chile	320,8
México	303,7
El Salvador	295,3
Colômbia	190,7
Uruguai	179,7
Equador	117,4
Argentina	88,1
Paraguai	94,4
Média dos países latinos, exceto Brasil	197,5

Fonte: FIRJAN, 2011

Mesmo quando comparamos as tarifas industriais do Brasil com os países que compõem os BRIC's e os países da América Latina, o Brasil apresenta uma grande perda de competitividade. A Tabela 10 mostra que a tarifa média industrial praticada no Brasil em 2011 foi R\$329/MWh, bem superior que a média dos demais países do BRIC's, que foi de R\$140/MWh. O mesmo acontece quando analisamos a Tabela 11, ou seja, o Brasil apresenta a maior tarifa industrial entre os vizinhos latino americanos.

De acordo com estudo elaborado pela ABRACE – Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia em 2014, é necessária uma nova medida para devolver a competitividade aos preços e tarifas de energia para a indústria eletrointensiva. Nos moldes de países que competem com o Brasil, é possível desenvolver políticas públicas a partir do montante de energia das concessões ainda não renovadas. Ainda nesse estudo, a ABRACE elencou os seguintes benchmarks internacional para indústria eletrointensiva:

➤ A França aprovou, em 2011, lei que destina 25% da energia produzida pelas usinas nucleares históricas da EDF (ou seja, com investimento já amortizado), a preços diferenciados para grandes indústrias. Para o ano de 2012, a tarifa final era de 42 euros por MWh.

- A Alemanha, em apenas um ano, reduziu em 20% os preços da energia exclusivamente para a produção industrial. As indústrias selecionadas são isentas de tarifas de transmissão e também não têm de pagar pelos custos da energia eólica, mais cara do que o restante do parque gerador alemão.
- O estado de Nova Iorque criou o “ReCharge NY”, que destinou 900 MW de energia de baixo custo, proveniente de hidroelétricas, para empresas cujo custo com energia era significativo. Os contratos tinham duração de sete anos e o objetivo da política era incentivar o aumento da produção e do emprego.
- A província de Ontário, no Canadá, renovou neste ano um programa que reduz em até 25% os custos da energia da indústria com consumo superior a 50 mil MWh por ano. A província tem um programa de investimentos para oferecer descontos na tarifa de energia. O objetivo da redução dos custos é fortalecer a economia, gerar empregos e manter a competitividade da indústria da região. A província de Quebec tem programa similar.
- Estudos comprovam que a adoção de políticas de redução do custo da energia para a indústria siderúrgica chinesa colaboraram significativamente para que o país passasse de importador líquido de aço para exportador líquido. A participação da produção de aço chinesa no mercado global passou de 27% para 40% em cerca de quatro anos.

Um fator que merece destaque no processo de crescimento das tarifas industriais foi o processo de realinhamento tarifário introduzido pela ANEEL a partir de 2002. Esse processo teve como o objetivo minimizar os efeitos dos subsídios cruzados implícitos existentes entre as tarifas de baixa tensão e as de alta tensão. Esse processo de ajuste durou de 2002 a 2007, quando a estrutura tarifária deveria estar realinhada.

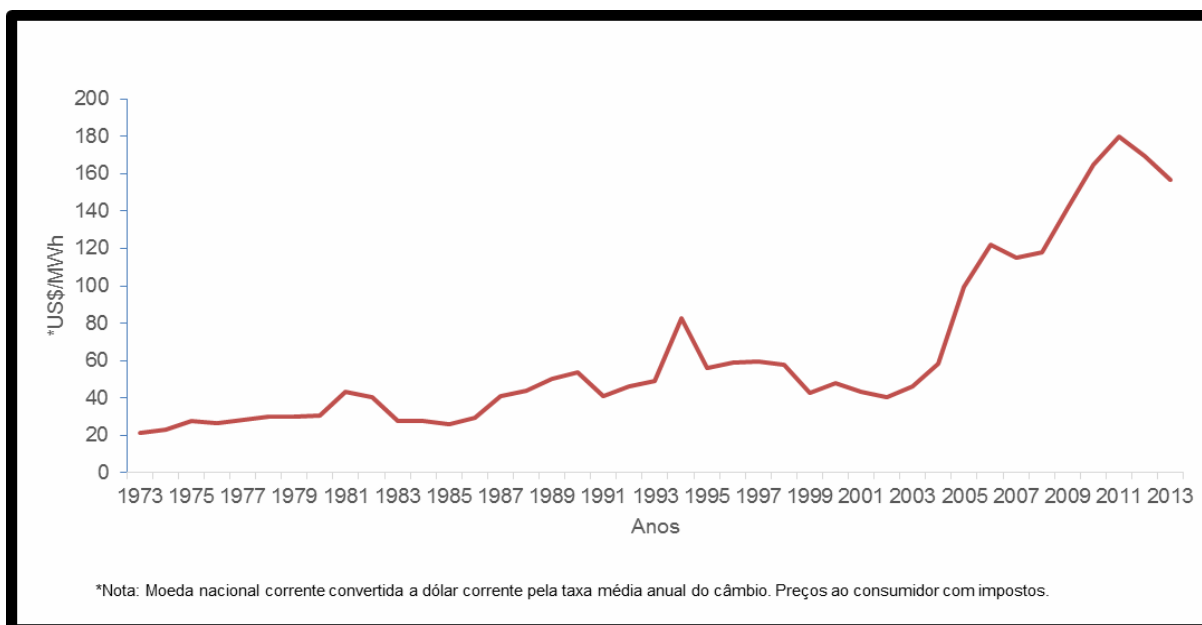


Figura 8 – Preços Médios Nacionais da Eletricidade Industrial

Fonte: MME, 2014

A resultante deste processo de realinhamento tarifário desde 2002, foi o aumento mais acelerado das tarifas industriais no período de sua implementação, conforme demonstra a Figura 8.

Os custos econômicos ao novo modelo, que tiveram impactos especialmente intensos no segmento de transmissão e os encargos que elevaram a sua participação na composição do custo final das tarifas, foram elementos que condicionaram a evolução das tarifas de fornecimento de energia elétrica nos últimos anos.

Em se tratando de perspectivas futuras para o comportamento das tarifas de fornecimento, essas não são animadoras no sentido de um barateamento das tarifas.

De acordo com Bonini (2011), dentre os fatores que tendem a aumentar o preço, podemos citar: o esgotamento dos melhores aproveitamentos para a realização de novas hidroelétricas e, dadas as restrições ambientais, a diminuição da capacidade dos reservatórios plurianuais para atender o sistema elétrico brasileiro em plena expansão; o aumento dos custos de transmissão; o aumento de custos para ampliar e modernizar as redes de distribuição.

A CHESF mantém contratos celebrados na década de 70 e que venceram em 30 de junho de 2015 com várias empresas na Bahia, em Pernambuco, em Alagoas e no Ceará. O contrato original foi firmado há mais de 30 anos e já estabelecia tarifas mais competitivas em comparação a outras empresas para as quais a energia também tem peso significativo. O último valor praticado a partir destes contratos era de aproximadamente R\$110/MWh, valor esse bem inferior ao disponível no mercado de curto prazo. O acordo, que envolve mais de 700 MW, foi renovado ao longo do tempo e o último acerto, que venceu em 30 de junho de 2015, ocorreu em 2010.

No ano passado, a consultoria Tendências realizou um estudo que mostra que as 13 unidades industriais dessas companhias geraram receita de R\$ 10 bilhões em 2013, o equivalente a 26,6% da produção industrial dos três estados e 9 mil empregos diretos.

Este grupo de sete empresas eletrointensivas com operações no Nordeste, que negociava há meses a renovação de um contrato especial de fornecimento de energia com a Chesf, aceitou reduzir o volume de eletricidade comprada e pagar um preço mais alto pelo insumo para obter a renovação do acordo até 2037.

As empresas Vale, Gerdau, Paranapanema, Ferbasa, Braskem, Mineração Caraíba e a americana Dow concordaram com reajuste de cerca de 25%, o que elevará o preço dos atuais R\$110/MWh para pouco mais de R\$130/MWh. Além disso, reduzirão o volume comprado em 25% a 30%, em relação aos atuais 800 megawatts e pagarão à CHESF um adiantamento de R\$ 250 milhões. O dinheiro será usado pela estatal para a compra de energia no mercado e aliviará seu fluxo de caixa no curto prazo. A partir de 2032, os valores contratados sofrerão redução uniforme de 1/6 por ano até 2037, quando se encerram os contratos. Este novo contrato está amparado nos termos previstos na MP 677/15 de 22 de Junho de 2015.

Na prática, o contrato firmado entre a CHESF e as usinas, prevê um preço de energia abaixo daquele praticado hoje no mercado, porém acima da tarifa prevista na MP 579. A diferença entre os dois valores é destinada ao fundo cujos recursos serão utilizados para a construção de projetos de fontes renováveis pela CHESF no Nordeste.

Está nos planos do governo criar um modelo de contrato de energia especial para todas as indústrias eletrointensivas do Brasil. A ideia é estender para o restante do país a solução criada para eletrointensivas do Nordeste. O volume de energia a ser contratada pelas demais eletrointensivas seria da ordem de 800 MW médios, sendo 600 MW médios em Minas Gerais, 130 MW médios em São Paulo e 70 MW médios no Pará. Como até o momento ainda este contrato especial ainda não foi concretizado, grande parte dessas empresas eletrointensiva desses estados ou estão com as suas atividades paralisadas ou reduzidas.

## 4. FERRO CROMO ALTO CARBONO – FeCrAC

### 4.1. DESIGNAÇÃO GERAL

O ferro cromo alto carbono representa um grupo de ligas com um conteúdo em cromo entre 60% e 70%, contendo um carbono tipicamente entre 4% e 6%. Para produzir com essa especificação, a liga demanda um minério de cromo com elevada relação Cr/Fe (>2). A partir do início dos anos 70 foi introduzido o processo AOD (*argon oxygen decarburization*), no qual foi possível utilizar ferro cromo produzido a partir de minérios de cromo com relação Cr/Fe mais baixa. Este é o tipo de minério de cromo predominante no Brasil. Esses minérios têm relação Cr/Fe entre 1,5 e 1,6 e produz um ferro cromo contendo entre 50% e 55% de cromo e com um carbono típico entre 6% e 8%. *Charge cromo* é denominação comercial para o ferro cromo produzido a partir desses minérios e faz parte também da categoria do ferro cromo alto carbono.

Com isso, existem no mercado duas classes de especificação para o ferro cromo, que seguem a clássica distinção entre o ferro cromo alto carbono e o charge cromo. Essas especificações são mostradas na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12- Especificações Típicas Do Ferro Cromo Alto Carbono

TIPO DE LIGA	ELEMENTOS				
	Cr	Si	C	P	S
Ferro Cromo Alto Carbono	60-70	<2	<8	<0,015	<0,02
		2-3	<6	<0,03	<0,04
				<0,05	<0,06
Charge Cromo	50-55	2-3	<8	<0,015	<0,02
		3-4		<0,03	<0,04
		4-5		<0,05	<0,06

Fonte: GASIK, 2013

A produção mundial de FeCrAC em 2014 foi de 11.179 kt, tendo um acréscimo de 7,8% em relação ao ano anterior (Tabela 13).

Tabela 13 – Produção Mundial de FeCrAC

PRODUÇÃO DE FeCrAC (kt)								
Região/País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
África do Sul	3487	3227	2401	3600	3354	3029	3164	3658
Zimbábue	232	189	91	181	196	155	150	235
<b>Total África</b>	<b>3.719</b>	<b>3.416</b>	<b>2.492</b>	<b>3.781</b>	<b>3.549</b>	<b>3.184</b>	<b>3.314</b>	<b>3.893</b>
China	1.312	1.527	1.522	2.249	2.653	3.100	4.002	4.280
Índia	818	754	778	884	944	977	996	939
Iran	17	10	8	16	16	16	16	11
Cazaquistão	960	921	862	1.007	980	997	1.033	1.060
Oman	0	0	0	0	0	0	21	44
Tuquia	57	61	40	64	76	70	133	86
<b>Total Ásia</b>	<b>3.165</b>	<b>3.273</b>	<b>3.211</b>	<b>4.220</b>	<b>4.676</b>	<b>5.175</b>	<b>6.199</b>	<b>6.419</b>
Brasil	171	193	119	157	131	161	150	164
<b>Total América do Sul e Centra</b>	<b>171</b>	<b>193</b>	<b>119</b>	<b>157</b>	<b>131</b>	<b>161</b>	<b>150</b>	<b>164</b>
Albânia	0	9	3	20	32	26	27	30
Finlândia	242	234	123	238	231	230	434	441
Rússia	249	264	140	241	246	187	199	164
Suécia	136	99	40	65	82	40	49	67
<b>Total Europa</b>	<b>627</b>	<b>605</b>	<b>306</b>	<b>563</b>	<b>591</b>	<b>483</b>	<b>709</b>	<b>702</b>
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>7.683</b>	<b>7.487</b>	<b>6.128</b>	<b>8.721</b>	<b>8.947</b>	<b>9.002</b>	<b>10.372</b>	<b>11.179</b>

Fonte: CRU<sup>1</sup>

Ainda de acordo com a Tabela 13, no ano de 2014 quase 89% da produção mundial de FeCrAC ficou concentrada em 04 países (África do Sul, China, Índia e Cazaquistão). As vantagens competitivas desses produtores estão na disponibilidade de matérias primas e energia. A exceção fica por conta da China, que não possui reservas de minérios de cromo, mas é o maior consumidor de FeCrAC do mundo.

<sup>1</sup> CRU – Chrome Monitor Data – abril de 2015



## 4.2. USO E APLICAÇÕES DO FERRO CROMO ALTO CARBONO

Os principais segmentos consumidores de cromo são as indústrias de aço e de ferro ligas, química e de refratários. A indústria metalúrgica absorve 94% da produção global de cromita na produção de ligas de ferro cromo, essencial para a produção de aço inoxidável e ligas especiais. Mais de 90% do FeCrAC é usado na produção do aço inox (GASIK, 2013).

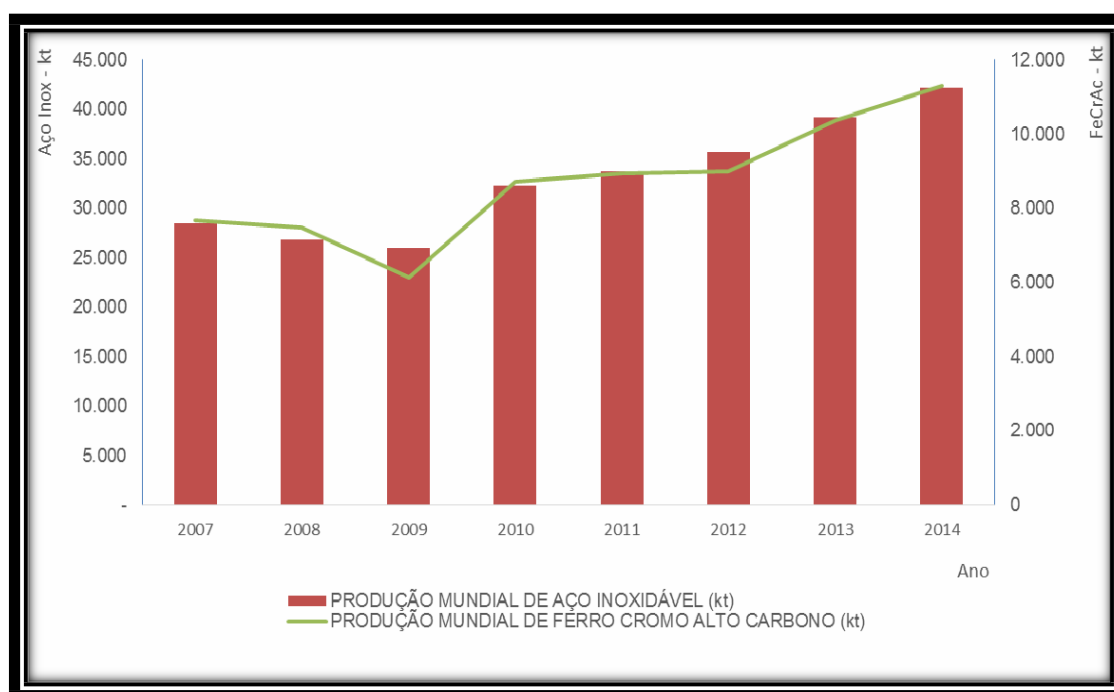


Figura 9 - Produção de Aço Inox e FeCrAC

Fonte: CRU <sup>1</sup>

A estreita correlação entre a produção de aço inoxidável e o ferro cromo alto carbono é mostrada na Figura 9.

Nesse setor, o cromo é o componente crucial de vários tipos de ligas. O cromo não tem substituto na fabricação de aços inoxidáveis ou na produção de superligas. Por outro lado, os substitutos para fabricação de ligas, de produtos químicos e

<sup>1</sup> CRU – Chrome Monitor Data – abril de 2015

produtos refratários são geralmente de custos mais elevados e de aplicações limitadas.

O ferro cromo alto carbono é uma liga de ferro, cromo, silício e outros elementos utilizada na fabricação de um grande número de tipos de aço e ligas especiais. Tem como característica fundamental o carbono acima de 4%. As principais utilizações ocorrem na produção de aços resistentes à corrosão, na produção de aços de alta resistividade elétrica, aços alta liga (indústria de automóvel), anti-oxidação e na produção de aços inoxidáveis quando a aciaria adota o processo AOD (*Argon Oxygen Descarburatization*).

Tabela 14- Produção Mundial de Aço Inox

PRODUÇÃO DE AÇO INOX (kt)								
Região/País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>África</b>								
África do Sul	657	528	546	478	444	505	499	520
<b>Total África</b>	<b>657</b>	<b>528</b>	<b>546</b>	<b>478</b>	<b>444</b>	<b>505</b>	<b>499</b>	<b>520</b>
<b>Ásia</b>								
China	7.477	7.322	9.630	12.415	14.091	16.087	19.448	21.666
Índia	2.045	1.980	2.002	2.120	2.271	2.470	2.680	2.973
Japão	3.882	3.566	2.607	3.427	3.256	3.132	3.175	3.328
Coreia do Sul	1.941	1.761	1.644	2.012	2.116	2.131	2.109	2.018
Taiwan	1.515	1.297	1.467	1.523	1.203	1.106	1.081	1.108
<b>Total Ásia</b>	<b>16.860</b>	<b>15.926</b>	<b>17.350</b>	<b>21.497</b>	<b>22.937</b>	<b>24.926</b>	<b>28.493</b>	<b>31.094</b>
<b>América do Sul e Central</b>								
Brasil	433	390	321	407	413	390	423	443
<b>Total América do Sul e Central</b>	<b>433</b>	<b>390</b>	<b>321</b>	<b>407</b>	<b>413</b>	<b>390</b>	<b>423</b>	<b>443</b>
<b>Europa</b>								
Austria	51	63	30	53	70	66	64	69
Bélgica	1.522	1.471	1.045	1.306	1.241	1.241	1.298	1.388
Finlândia	975	957	727	998	1.003	1.078	1.079	1.216
França	297	294	201	276	300	285	300	323
Alemanha	1.502	1.571	1.315	1.509	1.502	1.313	1.091	864
Itália	1.570	1.494	1.214	1.587	1.602	1.702	1.553	1.454
Rússia	109	109	73	100	102	100	99	86
Slovênia	75	79	70	88	106	121	133	141
Espanha	1.113	993	693	844	807	844	855	945
Suécia	645	574	445	546	586	510	501	541
Ucrânia	124	104	67	118	147	118	96	88
Reino Unido	350	341	227	269	330	290	257	295
Restante Europa	22	15	14	12	13	8	10	13
<b>Total Europa</b>	<b>8.355</b>	<b>8.066</b>	<b>6.121</b>	<b>7.706</b>	<b>7.809</b>	<b>7.675</b>	<b>7.336</b>	<b>7.423</b>
<b>América do Norte</b>								
Estados Unidos	2.171	1.925	1.618	2.201	2.114	2.209	2.513	2.765
<b>Total América do Norte</b>	<b>2.171</b>	<b>1.925</b>	<b>1.618</b>	<b>2.201</b>	<b>2.114</b>	<b>2.209</b>	<b>2.513</b>	<b>2.765</b>
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>28.476</b>	<b>26.836</b>	<b>25.956</b>	<b>32.289</b>	<b>33.717</b>	<b>35.704</b>	<b>39.264</b>	<b>42.246</b>

Fonte: CRU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CRU – Chrome Monitor Data – abril de 2015

A Tabela 14 mostra que a produção mundial de aço inox em 2014 foi 42,2 milhões t, sendo a que produção brasileira foi de 443 mil t.

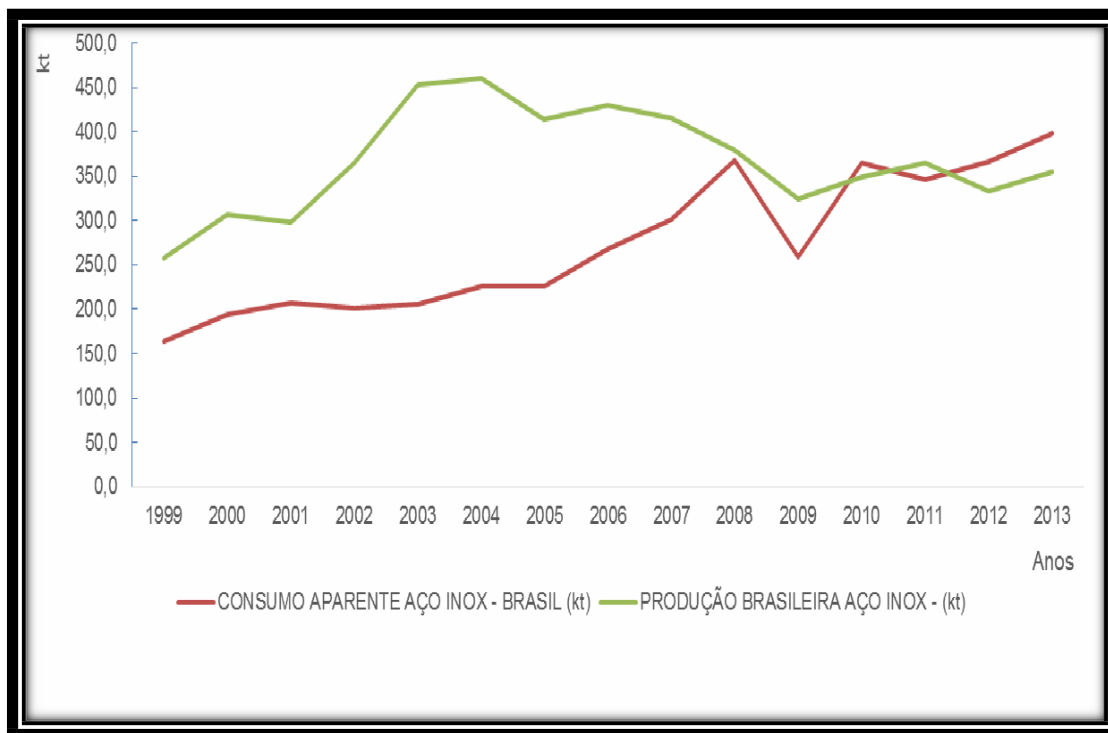


Figura 10- Produção e Consumo Aparente de Aço Inox no Brasil

Fonte: ABINOX

Conforme a Figura 10, embora o Brasil tenha registrado um crescimento médio anual de 9,4% nos últimos dez anos, o consumo brasileiro de aço inoxidável ainda é pequeno quando comparado com o consumo dos países desenvolvidos e até mesmo de alguns países com nível de desenvolvimento similar ao do Brasil. De 1999 até 2009, a produção brasileira de aço inoxidável sempre foi maior que o consumo aparente, sendo que em 2010 essa situação se inverte.

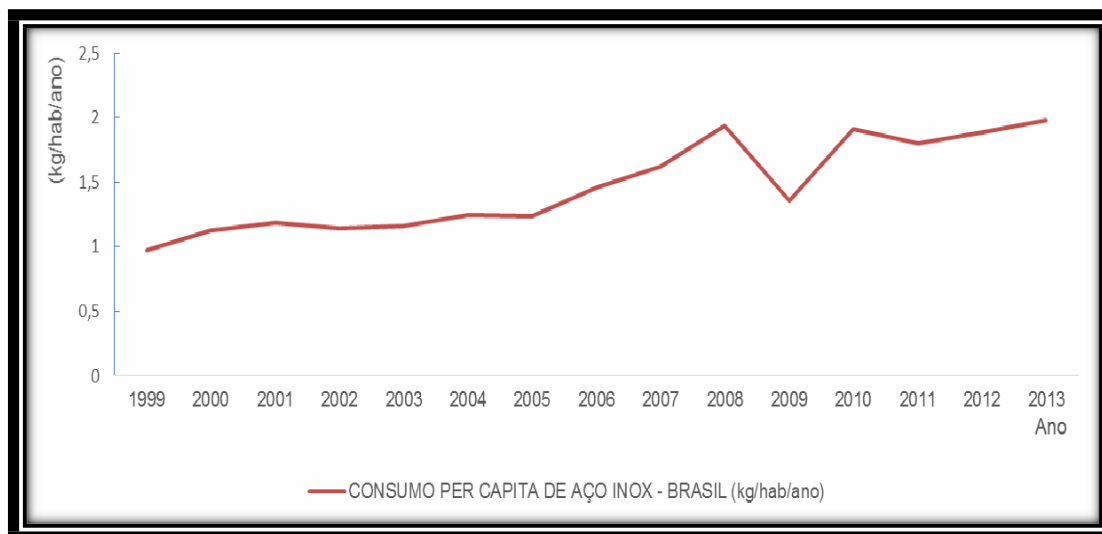


Figura 11 - Consumo Per Capita de Aço Inox no Brasil

Fonte: ABINOX

A Figura 11 mostra que o consumo per capita de aço inoxidável no Brasil em 2013 foi de 1,98 kg/t por habitante.

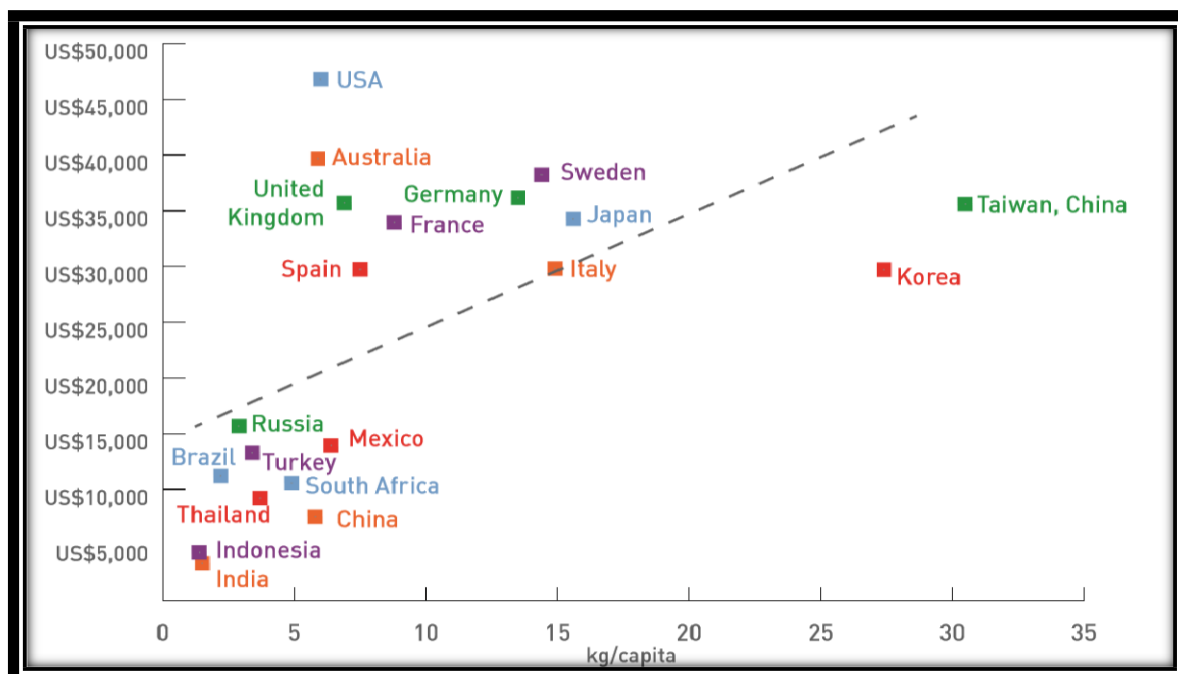


Figura 12 – PIB per capita versus uso per capita de aço inox em 2010

Fonte: ISSF, 2104

De acordo com a Figura 12, países como Taiwan e Coreia tiveram consumos acima de 20 kg/hab./ano e até mesmo países com PIB per capita próximos ao do Brasil, como Rússia, Turquia, México e África do Sul também apresentaram um consumo per capita de aço inox superior ao do Brasil. Esses dados mostram que há um enorme potencial para o aumento do uso do aço inoxidável no Brasil nos próximos anos e, como consequência, também o aumento da demanda pelo ferro cromo alto carbono.

#### 4.3. MATÉRIAS PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO FeCrAC

As matérias primas para a produção dessas ligas são os minérios de cromo, que se constituem na fonte desse elemento; coque ou carvão vegetal que são os agentes redutores; calcário, quartzo, dolomita e magnesita que são os fundentes utilizados para ajuste da composição da escória do processo. As características e propriedades das matérias primas desempenham um papel importante sobre o processo, nos aspectos relacionados com sua estabilidade operacional, custo e qualidade do produto.

Outro insumo fundamental para a produção das ligas de cromo é a energia elétrica. Para se atingir as temperaturas requeridas para o processo, a energia elétrica é transformada em calor no interior dos fornos. A produção de ligas de cromo é considerada uma atividade eletrointensiva.

#### 4.3.1. Minérios de Cromo

Classificam-se como minérios, os materiais que possuem alguma substância química de interesse em quantidade que torna sua exploração economicamente viável.

De maneira geral, os minérios são rochas (ou fragmentos de rochas) formadas por uma série de compostos químicos, com os mais diversos graus de afinidade entre si.

Os diversos minerais presentes no minério compõem os seguintes grupos:

Mineral-minério: É o mineral, objeto de interesse no minério.

Ganga: Conjunto de minerais presentes num minério, que não são objeto de interesse na exploração.

No processo metalúrgico, o objetivo é promover a redução química do óxido presente no mineral-minério e separá-lo dos demais constituintes de forma a criar condições para sua utilização.

Os principais pontos que devem ser avaliados quanto à composição química dos minérios de cromo são os seguintes: teor de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , relação Cr/Fe, composição química e mineralógica do mineral-minério, natureza da ganga e sua afinidade com o mineral-minério e a presença de contaminantes.

Os teores de cromo e ferro estabelecem relações quantitativas importantes para a avaliação técnica e econômica do minério e constituem-se nas principais variáveis de avaliação do valor de mercado.

Além da avaliação técnica e operacional, uma das grandes aplicações desta informação é a avaliação do custo de transporte do minério.

A composição química e mineralógica do mineral-minério possui importância técnica e operacional, pelo seu peso sobre os indicadores de produtividade do processo. As informações mais importantes são: grupo químico predominante no mineral-minério e natureza da ganga.

A ganga do minério deve ser avaliada principalmente com relação aos seguintes pontos: teores das substâncias com maior presença (geralmente sílica e alumina), afinidade química de alguma substância com o mineral-minério, presença e teor de contaminantes.

Os contaminantes merecem especial atenção pela sua presença indesejável no produto final. Devido às características negativas que agregam ao produto, eles possuem fortes restrições no mercado (especificações de produto), podendo inclusive inviabilizar a utilização do minério. Outros são indesejáveis pela sua toxicidade (ex.: P, S, As, Ti, etc.).

Outras impurezas que merecem especial atenção são os álcalis, particularmente o  $K_2O$  e o  $Na_2O$ . Estes compostos favorecem, sobretudo, a redução da resistividade elétrica da carga e o aumento da formação de crostas no forno.

Os mais importantes minerais de cromo utilizados industrialmente são os espinélios de cromo, que são denominados com frequência impropriamente de cromitas, devido a sua composição derivar da fórmula  $FeO-Cr_2O_3$ .

Encerra na sua composição proporções variadas de óxidos de cromo, ferro, alumínio e magnésio, além de outros elementos subordinados em quantidades mínimas, da ordem de ppm, como vanádio, níquel, zinco, titânio, manganês e cobalto. Em função da composição dos óxidos presentes, se distinguem as seguintes espécies minerais mais importantes: a cromita propriamente dita ( $FeCr_2O_4$ ), a magnesiocromita ( $Mg, FeCr_2O_4$ ), a aluminocromita  $Fe (Cr, Al)_2O_4$  e a cromopicotita ( $Mg, Fe) (Cr, Al)_2O_4$ . Dependendo do teor em  $Cr_2O_3$  e da razão  $Cr/Fe$ , a cromita é classificada como metalúrgica, química ou refratária.

A cromita é a fonte exclusiva de cromo. As jazidas de cromita incluem depósitos em forma de veio, filão e depósitos secundários, onde se distinguem os depósitos *stratiform* (estratificados) e *podiform* (lenticulares).

Os depósitos *stratiform* normalmente são complexos de grande porte podendo cobrir milhares de  $km^2$ . A melhor caracterização é o Complexo Ígneo de Bushveld na África do Sul. Bushveld cobre uma área de 12 mil  $km^2$  e concentra as maiores reservas do mundo. O Great Dyke no Zimbábue e depósitos em Madagascar e na região de Orissa na Índia são outros exemplos.

Os depósitos *podiform* são de menor porte relativo, mas usualmente com teores superiores de cromo e relações Cr:Fe mais elevadas do que os observados nos depósitos do tipo *stratiform*. Os minérios são geralmente do tipo compacto, granulado (mais comumente dito, minério tipo *lump*) contrariamente ao observado – minério mais friável - nos depósitos do tipo *stratiform*. As reservas do Cazaquistão ilustram esse grupo.

Tabela 15 - Especificação dos Minérios de Cromita

<b>Categoria</b>	<b>Tipo</b>	<b>% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
Comercial	Alto	58-62	0,3-3
		50-58	3-8
	Médio	38-50	8-15
	Baixo	25-38	15-24
Não comercial	Baixo	<25	>25

Fonte: GASIK, 2013

Dependendo da concentração do cromo e dos demais componentes do minério de cromo, os depósitos são subdivididos convencionalmente em tipos comercial e não comercial, conforme a Tabela 15.

Dados confiáveis de reservas de minério de cromita exploradas no mundo são virtualmente ausentes, devido diferentes revisões e previsões que fornecem grandes diferenças de estimativas de reservas e escala de produção de minério de cromita (ZHUCHKOV et al., 2010).





Tabela 16 - Recursos e Reservas de Minério de Cromo em 2010

<b>Reservas e recursos de minério de cromo em 2010</b>		
<b>País</b>	<b>Mt</b>	<b>Participação</b>
África do Sul	7.340	76,0%
Zimbabue	930	9,6%
Cazaquistão	387	4,0%
Turquia	220	2,3%
Finlândia	120	1,2%
Índia	67	0,7%
Brasil	17	0,2%
Outros	576	6,0%
<b>TOTAL</b>	<b>9.657</b>	

Fonte: Departamento de Recursos Minerais da África do Sul e Heinz H. Parizer<sup>1</sup>

Conforme a Tabela 16, a África do Sul detém mais de 70% dos depósitos conhecidos do mundo, sendo também, o principal fornecedor de minério de cromo do mundo e um dos grandes produtores de ferro cromo. O Cazaquistão é também um dos principais atores tanto na produção de minério de cromo como de ferro cromo. Cerca de 91% das reservas e recursos de minério de cromo no Brasil estão situados no estado da Bahia (DNPM, 2010).

De acordo com ICDA (2015), a produção mundial de cromita em 2014 foi de 29 Mt, sendo que a África do Sul produziu 15,9 Mt (55%) e o Cazaquistão 4,5 Mt (15%), ou seja, esses dois países corresponderam a 70% da produção mundial. Assim foi a distribuição do uso da cromita: 77% no aço inox, 18,8% nos aços ligados, 2,5% na indústria química, 1,5% em areia de fundição e 0,2% em refratários. O Brasil, praticamente o único produtor de cromo no continente americano, continua com uma participação modesta, da ordem de 0,2% das reservas e de 1,8% da oferta mundial de cromita.

<sup>1</sup> Em: <http://goo.gl/dWbnMB>. Acesso em: 31 de julho de 2015.

### 4.3.2. Redutores

Redutores são materiais utilizados no processo com a finalidade de promover a redução química dos elementos metálicos, introduzidos nos fornos sob a forma de óxido.

Eles devem ser suficientes reativos e apresentar características granulométricas e químicas bem precisas, pois são os redutores a principal fonte de contaminação de enxofre e fósforo e esses elementos passam diretamente para o FeCrAC na condição de impurezas.

No processo convencional de fabricação de ferro ligas, os redutores mais comumente utilizados são o carvão vegetal, o coque, o carvão mineral e o cavaco de madeira. Estes redutores são usados essencialmente como fontes de carbono.

O carvão vegetal é produzido pela carbonização da madeira e, em um processo semelhante, o coque é produzido através da coqueificação do carvão mineral.

O uso de carvão vegetal na siderurgia é uma prática predominantemente brasileira devido à baixa qualidade do carvão mineral nacional, que apresenta altos conteúdos de enxofre, cinzas e voláteis.

As características mais importantes dos redutores serão tratadas a seguir:

- Composição Química

As informações mais importantes quanto à composição química são: teor de carbono fixo, teor de cinzas e teor de voláteis.

O teor de carbono fixo é importante particularmente para os cálculos de balanço de massa e para a definição de custo do redutor.

A cinza incorpora-se à escória durante o processo de redução metalúrgica e, por isso, sua quantidade e composição química devem ser previamente conhecidos. A composição química das cinzas varia substancialmente conforme sua origem. O carvão vegetal tem uma cinza básica (CaO, MgO e álcalis), enquanto que as cinzas

do carvão mineral e coque geralmente são ácidas e com altos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . O carvão mineral e os coques nacionais possuem elevados teores de cinzas, tornando ainda mais importante determinar sua quantidade e composição. Além disso, a presença de cinzas pode limitar o uso destes redutores.

O teor de voláteis é pouco usado no processo de produção em fornos elétricos de redução e aplica-se basicamente na avaliação qualitativa (previsão) da temperatura do topo da carga. Há também casos em que é muito importante baixar a geração de gases no forno (forno fechado).

- Reatividade

A reatividade do redutor é uma medida relativa da sua capacidade de reagir com o  $\text{CO}_2$ , resultando em gás  $\text{CO}$ , ou seja, é a capacidade que o redutor tem de regenerar o poder redutor do  $\text{CO}_2$ .

A reatividade do carvão vegetal depende particularmente do processo de carbonização. Quanto mais alta for a temperatura de carbonização maior será a reatividade do carvão vegetal.

No caso do coque, além do comportamento descrito acima, a reatividade depende também do *mix* de carvões minerais utilizados na coqueificação.

A reatividade dos redutores é medida pela temperatura em que a reação de regeneração do  $\text{CO}_2$  ocorre em condições padronizadas.

- Densidade

A densidade do redutor é uma importante variável para a eficiência do processo metalúrgico. Como o redutor é muito menos denso do que os demais constituintes da carga, o volume ocupado pelo mesmo é muito alto. Redutores com menor densidade reduzem o volume útil do forno.

A densidade do carvão vegetal depende essencialmente da madeira utilizada no processo de carbonização. Madeiras mais densa geram carvões mais densos. A densidade do coque depende principalmente do controle operacional do processo de coqueificação.

- Resistência mecânica

A resistência mecânica varia fortemente entre os redutores. De maneira geral tem-se o seguinte:

- Carvão vegetal: o menos resistente.
- Coque: o mais resistente.
- Carvão mineral: resistência intermediária.

### **4.3.3. Fundentes**

Conforme detalhamento na próxima seção, na produção das ligas de cromo é gerada também uma fase chamada escória, responsável por reter e manter separadas da liga, a ganga e as impurezas que acompanham as matérias-primas. A escória gerada necessita ter propriedades adequadas que são fundamentais para o êxito do processo.

A composição química da escória determina sua temperatura de fusão, viscosidade, capacidade de reter impurezas e distribuição de alguns elementos importantes como cromo, fósforo e silício. Assim, os fundentes são adicionados à carga, em quantidades preestabelecidas, para garantir o ajuste da composição química.

A quantidade de escória gerada, comumente referida como volume de escória, também é um parâmetro importante porque está ligada diretamente ao rendimento de cromo e ao consumo energético do processo. Quanto maior o volume de escória, maiores as perdas de cromo (a menos que a escória seja reutilizada). Maior será também o consumo de energia, que traz como consequência diminuição da produtividade. Se a ganga introduzida pelos minérios, somada aos constituintes dos fundentes, for tal que gere um volume de escória muito elevado, o processo pode se tornar inviável. Este fato traz uma limitação para o uso de minérios.

Normalmente o quartzo, calcário e dolomita são utilizados como fonte de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , respectivamente.

Fundentes são materiais cujos constituintes reagem com as substâncias indesejáveis da carga, formando compostos estáveis e de baixo ponto de fusão, que se separarão do banho metálico, formando a escória.

Os principais constituintes indesejáveis estão presentes nos minérios (ganga) e redutores (cinzas) e são fundamentalmente sílica, alumina, fósforo e enxofre.

Os fundentes são classificados como ácidos, básicos ou neutros. Um fundente neutro típico é a fluorita.

#### 4.4. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FeCrAC

A produção da ferroliga envolve essencialmente a redução metalúrgica dos metais presentes nos minérios e sua separação da escória formada.

A redução dos óxidos metálicos pode ser feita por diversos processos, conforme a conveniência e a necessidade:

- Processo eletroquímico: eletrólise aplicada a uma solução líquida.
- Processo termoquímico: aquecimento do óxido e sua redução química por algum elemento que possui maior afinidade química com o oxigênio, se comparado ao elemento que se quer reduzir. O exemplo mais comum deste caso é o processo carbotérmico (redução por carbono).
- Processo químico: utilização de um elemento com forte potencial de oxidação para remover o oxigênio do óxido metálico. O exemplo de maior destaque neste caso é processo aluminotérmico.

Quando sua aplicação é possível, o processo carbotérmico é o que apresenta o menor custo. Suas grandes aplicações são a produção de gusa em alto forno e a produção de diversos ferro ligas em fornos elétricos de redução.

Com relação à produção de ligas de cromo, devem ser destacados os seguintes pontos descritos a seguir.

De forma geral, o mineral-minério encontra-se associado a outras substâncias que constituem a ganga. Por isso, a redução do óxido de interesse deve ser seguida pela sua separação dos demais materiais. A ganga é a causa primária da geração de escória.

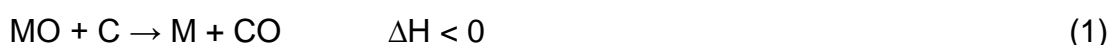
Como a ganga é formada por óxidos que possuem elevada temperatura de fusão, é necessário ajustar a composição química da escória formada para viabilizar seu escoamento, juntamente com a liga, durante o vazamento do forno. Os materiais usados para abaixar a temperatura de fusão da escória são os fundentes.

Para efetuar a redução metalúrgica do mineral-minério pelo processo carbotérmico, em forno elétrico de redução utiliza-se uma fonte de carbono (reductor) e uma fonte de calor (energia elétrica).

Conseqüentemente, os principais insumos para a produção de ligas de cromo ficam assim definidos: minérios de cromo, redutores, fundentes, energia elétrica.

O princípio geral do processo carbotérmico consiste em efetuar a redução de um óxido metálico contido num minério pelo carbono num forno elétrico dito a arco submerso.

A reação fundamental que se produz pode ser representada conforme abaixo:



Sendo:

MO o óxido do metal a produzir, C carbono que pode ser introduzido a partir de diferentes fontes, M o metal a produzir e  $\Delta H$  a variação de entalpia.

Esta reação é endotérmica ( $\Delta H < 0$ ) e é realizada a partir de um aporte de energia elétrica.

A utilização do carbono como reductor dos óxidos conduz normalmente à produção de ligas saturadas em carbono, tal como o FeCrAC.

A produção industrial do FeCrAC utiliza o minério de cromo como fonte do óxido metálico e como fonte de reductor, principalmente, o coque metalúrgico.

Os minérios de cromo contêm, além do óxido principal, óxidos secundários. Os coques metalúrgicos contêm cinzas, que são constituídas igualmente de óxidos. Todos esses óxidos secundários constituem impurezas, que devem ser eliminadas sob a forma de uma escória que permita ser fundida e escoada junto com o metal. A escória gerada necessita ter propriedades adequadas que são fundamentais para o êxito do processo. A composição química da escória determina sua temperatura de fusão, viscosidade, capacidade de reter impurezas e distribuição de alguns elementos importantes como cromo, fósforo e silício.

Os óxidos secundários de difícil redução são geralmente o CaO, o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumina), o MgO e o SiO<sub>2</sub> (sílica). O fato que esses óxidos são dificilmente reduzidos no processo produtivo e o objetivo é que essa redução também não ocorra, para que se possa extraí-los do forno, faz-se necessário adicionar fundentes à carga. Assim, os fundentes são adicionados à carga, em quantidades preestabelecidas, para garantir o ajuste da composição química.

O processo mais eficiente para a produção do FeCrAC é a fusão redutora em um baixo forno elétrico sendo o carbono o agente redutor. A função redutora do FeCrAC é realizada por um processo contínuo, com os eletrodos submersos profundamente na carga, com o topo do forno sendo mantido sempre fechado.

As seguintes etapas têm lugar na fabricação de FeCrAC: remoção da umidade, redução dos óxidos de ferro e cromo com formação simultânea de carbetos de cromo e ferro, fusão dos elementos reduzidos com a formação de ferro cromo líquido, formação e fusão da escória, redução dos óxidos de cromo e silício da escória.

A redução do óxido de cromo pelo carbono não conduz a formação do cromo, mas sim a um carboneto de cromo, sendo que a sua natureza depende essencialmente da temperatura de redução e da proporção do carbono em relação ao óxido. A Tabela 17 mostra o *range* de estabilidade para os produtos da redução e também o teor de carbono dos carbetos.



Tabela 17 - *Range* de Temperaturas em que os Produtos da Reação Carbotérmica são estáveis

Produto	Faixa de Temperatura (°C)	% C
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1150 ~ 1250	13,3
Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1250 ~ 1600	9
Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1600 ~ 1820	5,7
Cr	>1820	0

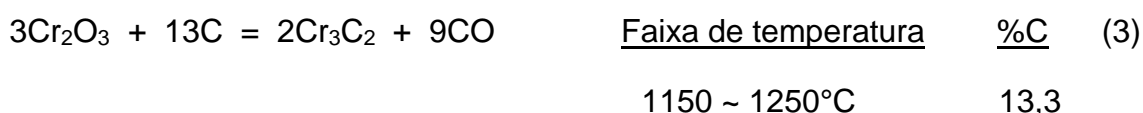
Fonte: GOEL, 1997

A representação esquemática da reação mais correntemente admitida é a seguinte:

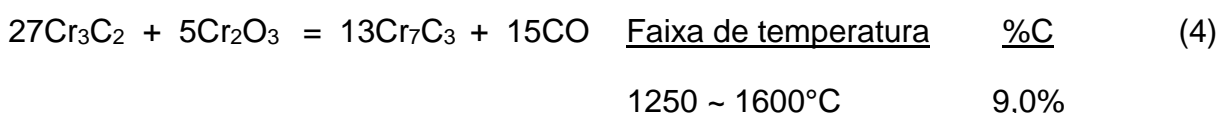


As reações, normalmente ocorrem em múltiplos estágios, formando carboneto de cromo, cujo teor de carbono será mais elevado em temperaturas mais baixas.

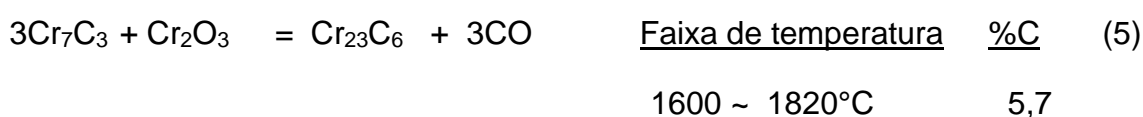
Abaixo, reações que podem ocorrer:



À medida que a temperatura vai se elevando, o composto Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> pode reagir com o óxido de cromo resultando no composto Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> que é mais rico em cromo:



Acima de 1600°C, o composto Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> pode reagir com o Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> produzindo o Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>:



E finalmente, acima de 1800°C forma-se o cromo metálico, conforme a seguinte reação:



Observa-se pela Tabela 17 que é necessário atingir temperatura acima de  $1600^\circ\text{C}$  para se atingir uma liga com teor de carbono  $< 9,0\%$ . O teor de carbono nas ligas comerciais é inferior ao teórico devido à presença de outras impurezas no ferro cromo e também a precauções especiais tomadas para se evitar carbono tão elevado.

O teor de carbono no ferro cromo pode ser controlado, até certo ponto, ajustando rigorosamente a quantidade de carbono na carga, operando com baixo volume de escória, bem como com teor relativamente elevado de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  na escória. Neste caso o teor de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  normalmente encontra-se acima de  $5\%$ . Deste fato, resulta uma escória de alta viscosidade e com presença de metal incrustado. Portanto, esta escória precisa ser britada e tratada em um concentrador para recuperar o metal.

Nas condições reais de operação do forno, observou-se que o teor de carbono na liga está relacionado com o teor de  $\text{FeO}$  do minério de cromo. Um minério rico em  $\text{FeO}$  terá elevada reatividade em temperaturas relativamente baixas. Assim, a redução do óxido de cromo deste tipo de minério ocorrerá em temperaturas menores em comparação com minérios pobres em  $\text{FeO}$ . Como a redução ocorrerá em temperaturas mais baixas, o ferro cromo produzido conterá teor de carbono mais elevado, uma vez que o carvão de cromo, que é rico em carbono, é estável em baixas temperaturas. Por outro lado, o ferro cromo produzido a partir de um minério de cromo pobre em  $\text{FeO}$  terá teor de carbono mais baixo.

A composição da escória tem também um efeito significativo no teor de carbono do ferro cromo, uma vez que a ganga influencia na temperatura da zona de reação. Um minério que contenha elevado teor de  $\text{MgO}$  exigirá uma temperatura mais alta na zona de reação em comparação com outro minério pobre em  $\text{MgO}$ . Além do  $\text{MgO}$ , o minério normalmente contém  $\text{Al}_2\text{O}_3$  como outro principal constituinte. Não é possível conseguir escória com baixo ponto de fusão neste sistema binário, sendo necessária a adição de  $\text{SiO}_2$  como fundente. O teor de  $\text{SiO}_2$  na escória pode variar de  $25$  a  $45\%$ , enquanto a relação  $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  deve ser mantida entre  $0,7$  a  $1,5$ . Neste sistema, é possível produzir escória com ponto de

fusão entre 1400 e 1600°C. Caso seja reduzida a quantidade de sílica ou for adicionada cal, o ponto de fusão da escória será aumentado, resultando em elevação da temperatura de operação.

Na prática, observou-se que o tamanho da partícula do minério e a relação  $MgO/Al_2O_3$  da escória podem afetar o teor de carbono na liga. Minérios com partículas de granulometria elevada e que formam uma escória cuja relação  $MgO/Al_2O_3$  seja igual a 1 reduzem o teor de carbono na liga.

Elevada concentração de CaO pode promover a elevação do teor de carbono na liga. Isto pode ocorrer devido ao aumento de carbeto de cálcio na escória à medida que a quantidade de CaO aumenta. Esta situação pode transferir carbono para a liga. Além disto, a cal pode baixar a viscosidade da escória e temperatura de redução. Finos de minério, devido sua maior superfície de contato em relação ao volume, reage em temperaturas mais baixas e, assim, o produto será rico em carbono. Por outro lado, minério em *lump* de maior granulometria não será tão reativo quanto o minério fino e pode sobreviver até regiões mais profundas do forno, onde ele reage com a liga de elevado teor de carbono que também está se movendo para baixo. O produto da reação será um ferro cromo com teor de carbono relativamente baixo.

O efeito da relação  $MgO/Al_2O_3$  no teor de carbono da liga é devido à mudança na viscosidade da escória. A viscosidade da escória reduz com a elevação da relação  $MgO/Al_2O_3$ . Assim, se o processo de redução envolve dissolução de minério na escória, então, uma escória viscosa exigiria alta temperatura de reação. Alguns tipos de minérios de cromo possuem relação  $MgO/Al_2O_3$  maior que a unidade, exigindo a blendagem com minérios que contenham teor mais elevado de  $Al_2O_3$  ou a adição de bauxita como fundente, a fim de reduzir a relação para valores próximos de 1.

Assim, baixo teor de carbono no ferro cromo é conseguido com temperatura acima de 1600°C e operando com escória ácida, cuja relação  $MgO/Al_2O_3$  seja aproximadamente igual à unidade. Caso a temperatura de operação do forno for baixa e a escória básica, então, o teor de silício da liga será baixo e o teor de carbono elevado.

Um dos métodos usados para minimizar o teor de carbono na liga é criar uma atmosfera oxidante para o carvão de cromo dentro do forno. Para se conseguir este objetivo, deve-se escolher um minério de alta densidade e elevado ponto de fusão. Devido à alta densidade do minério, cerca de  $4,0\text{g}\ \text{cm}^3$ , ele passa através da escória que possui densidade menor,  $3,0\ \text{g}\ \text{cm}^3$ , formando uma camada de óxido de cromo sobre o ferro cromo líquido depositado na soleira do forno. Esta camada de óxido reage com o carvão de cromo. Além disto, este material é viscoso e permanece no forno mesmo depois da corrida. Este efeito explica o porquê de se obter ferro cromo com baixo teor de carbono quando se utiliza minério *lump* de alta densidade e de baixa redutibilidade. A descarburização ocorre na interface do metal com a escória. Estudos mostraram que a descarburização também ocorre quando o metal passa através da escória. A taxa de descarburização depende da temperatura, tempo de residência na escória e do tamanho da gota do metal. Durante a descarburização, o carbono é removido em forma de CO e os carbões de alta concentração são reduzidos a carbões de concentração mais baixa.

O minério utilizado além de conter o óxido de cromo, contém também o óxido de ferro, a sílica, a alumina e a magnésia.

A representação esquemática da redução do óxido de ferro é conforme a seguir:



No processo de redução o ferro diminui a atividade do cromo e favorece a sua redução. No forno elétrico de redução o ferro diminui a temperatura de fusão do cromo a facilita o escoamento da liga durante a etapa de vazamento do metal e escória.

O FeO é mais facilmente reduzido que o óxido de cromo. Ao que parece os óxidos são reduzidos simultaneamente dentro do forno formando um carboneto misto do tipo  $(\text{Fe-Cr})_7\text{C}_3$  (CHENEVIER, 1998).

A sílica presente na carga é parcialmente reduzida, conforme a reação:



O teor de silício na liga depende da temperatura do processo, da proporção de sílica na carga e do excesso de agente redutor em relação ao necessário para a

redução dos óxidos de ferro e de cromo. Quando se carrega quartzito como fundente o teor de silício na liga pode alcançar 2-4%, mas, se houver um grande excesso de agente redutor, o teor de silício no ferro cromo pode alcançar 5-8%.

Se o minério de cromo é redutível, a redução da sílica ocorrerá quando o  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  estiver quase completamente reduzido. Neste caso, todo o silício formado passa para a liga. No caso de minério pouco redutível, a redução da  $\text{SiO}_2$  se processa paralelamente, e o silício formado passa a tomar parte no processo de redução do óxido de cromo:



A sílica formada por esta reação passa para a escória (LÚCIO et al., 1980).outros óxidos que estão contidos nas matérias primas ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), não são reduzidos e passam para a escória. A composição dessa escória é o resultado dos óxidos das matérias primas que não são reduzidos mais os fundentes adicionados. Com a adição destes fundentes, objetiva-se formar uma escória com temperatura de fusão ligeiramente superior à do metal e uma relação entre a massa dos óxidos básicos ( $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ) em relação a massa do óxido ácido ( $\text{SiO}_2$ ) que permite obter o melhor rendimento de cromo no processo de redução. A temperatura típica das escórias de cromo no processo produtivo gira em torno dos  $1650^\circ\text{C}$  (CHENEVIER, 1998).



Figura 14- Zonas nos Fornos de FeCrAC

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

A Figura 14 acima mostra de uma forma simplificada o processo produtivo do FeCrAC no interior do forno elétrico de redução. A maior parte da redução acontece na zona onde se encontra a cama de coque, onde maior parte do suprimento de energia do forno é aplicada. Esta zona fica na parte mais profunda do forno e consiste de coque sólido, escória líquida e metal, bem como pequenas partículas não dissolvidas de cromita suspensas na escória líquida.

A escória e a liga produzidas são vazadas próximas à soleira do forno. A cromita não dissolvida e que se encontra entremeadado na escória, em vez de estar na liga, representa perda e resulta na redução do rendimento do cromo.

#### 4.5. BALANÇO DE ENERGIA

O FeCrAC é produzido pela redução dos minérios de cromo pelo carbono em fornos a arco submerso. A produção de FeCrAC exige consumo intensivo de energia, exigindo em torno de 3500~4400 kWh/t de liga. O consumo de energia e o rendimento do cromo variam em função de diversos fatores, tais como: composição do produto, tipo de minério e condução da operação do forno. O consumo específico de energia pode ser reduzido através do pré-tratamento dos minérios.

As matérias primas usadas para a produção do ferro cromo são os minérios de cromita, fundentes e carbono. Quando a carga composta pela mistura das matérias primas (minério de cromo, redutores e fundentes) é aquecida sob uma atmosfera redutora, diversas reações químicas irão ocorrer. Em temperaturas baixas a água livre irá evaporar, consumindo 0,63 kWh/Kg de água a 100°C, conforme a reação:



Alguns minérios de cromo contêm água de cristalização, principalmente o serpentino, cuja liberação ocorre em torno de 800°C. O H<sub>2</sub>O liberado reage com o CO, formando CO<sub>2</sub> que, a estas temperaturas, reage posteriormente através da energia exigida pela reação de *Boudouard* com C para CO, segundo as reações:



Reação global:



O H<sub>2</sub> produzido é detectado nas análises dos gases liberados no topo do forno.

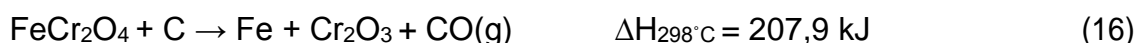
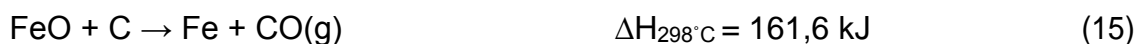
Nos minérios de cromo contendo hematita livre, o Fe pode reagir com o gás CO ascendente em paralelo com a reação de *Boudouard*, gerando a seguinte reação total em temperaturas entre 800°C e 1200°C:



Em temperaturas elevadas, acima de 1200°C, o espinélio de cromita será reduzido. O minério de cromo é uma solução sólida formada entre os espinélios

FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> os quais são misturas dos óxidos Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tanto os espinélios quanto os óxidos são reduzidos com o carbono através das seguintes reações:



Tanto o óxido de ferro quanto o óxido de cromo podem ser reduzidos a metal no estado sólido na camada de carga nas regiões superiores do forno ou através de um pré-tratamento fora do forno. A redução dos óxidos de Fe e Cr, juntamente com a cromita magnesiânica, MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ocorrerá na camada de coque onde as partículas da cromita dissolvem na fase líquida da escória e os óxidos de Fe e Cr são reduzidos a partir da escória. A energia necessária para a fusão dos óxidos e das ligas soma-se a energia necessária para a redução.

Rocha et al., (2015), determinou o consumo específico de energia, o balanço de massa e as diferentes zonas no forno elétrico de redução, conforme a Figura 15.



<b>Charge in</b>		<b>Gas out</b>
<b>25°C</b>	$3,39 \text{ H}_2\text{O}(\text{l}) = 3,39 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$ $1,55\text{CO} + 0,78 \text{ O}_2 = 1,55\text{CO}_2$	<b>450°C</b> 25,5 CO
<b>300°C</b>	$2,7 \text{ H}_2\text{O} + 2,7 \text{ C} = 2,7 \text{ H}_2 + 2,7 \text{ CO}$ <b>778</b>	<b>1000°C</b> 27,0 CO
<b>1000°C</b>	$0,32\text{FeO} + 0,32\text{C} = 0,32 \text{ Fe} + 0,32\text{CO}$ <b>169</b>	<b>1200°C</b> 24,3 CO
<b>1200°C</b>	$5,33 \text{ FeCr}_2\text{O}_4 + 5,33 \text{ C} = 5,33 \text{ Cr}_2\text{O}_3 + 5,33 \text{ Fe} + 5,33 \text{ CO}$ <b>530</b>	<b>1400°C</b> 24,0 CO
<b>1400°C</b>	$5,33 \text{ Cr}_2\text{O}_3 + 16\text{C} = 10,66 \text{ Cr} + 16 \text{ CO}$ $1,31\text{SiO}_2 + 2,62\text{C} = 1,31\text{Si} + 2,62 \text{ CO}$ $6,31 \text{ C} = 6,31 \text{ C}$ $8,8 \text{ SiO}_2 = 8,8 \text{ SiO}_2(\text{l})$ $9,5\text{MgO} = 9,5\text{MgO}(\text{l})$ $3,26 \text{ Al}_2\text{O}_3 = 3,26 \text{ Al}_2\text{O}_3(\text{l})$ $0,42\text{CaO} = 0,42 \text{ CaO} (\text{l})$ <b>2108</b>	<b>1700°C</b> 18,62 CO
<b>1700°C</b>	<b>Total 3585</b>	

Figura 15 - Zonas do Balanço de Energia e Calor

Fonte: ROCHA et al., 2015

O forno é dividido em 5 zonas diferentes:

25 – 300°C - Zona 1: secagem e aquecimento

Queima do CO. Secagem. Não há fornecimento de energia elétrica.

300 - 1000°C - Zona 2: aquecimento

Aquecimento a até 1000°C. Redução da água de cristalização.

1000 -1200°C - Zona 3: redução no estado sólido

Redução do óxido de ferro não ligado à cromita.

1200 - 1400°C - Zona 4: redução para a liga líquida

Cromita ferrosa é reduzida e o óxido de cromo é liberado.

1400 - 1700°C - Zona 5: redução no estado líquido

Cromita magnesiana e o óxido de cromo são reduzidos para liga. Escória líquida é formada e certa quantidade de sílica é reduzida a silício que incorpora na liga.

A queima do gás CO para CO<sub>2</sub> próximo ao topo da camada de carga produz energia suficiente para evaporar a umidade da carga e aquecê-la até 300°C.

Assume-se que a água estrutural contida nos minerais é normalmente reduzida em temperaturas próximas de 700°C, cuja reação libera o H<sub>2</sub> que é encontrado nos gases da chaminé (RINGDALEN, 1999).

Escavações industriais têm mostrado que o ferro é produzido em regiões mais altas do forno (RINGDALEN, 1999). Assume-se aqui que todo FeO é reduzido na zona 3, entre 1000 e 1200°C. O CO<sub>2</sub> produzido pela redução do FeO pelo gás CO irá, nesta temperatura, reagir com o C resultando em CO (reação de *Boudouard*).

Liga líquida pode existir em temperaturas um pouco acima de 1200°C, situação em que a cromita ferrosa é reduzida a Fe líquido e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sólido. A escória líquida é formada em temperatura próxima de 1400°C. Assume-se que a temperatura máxima atingida no forno elétrico é de 1700°C. Entre esta faixa de temperatura, zona 5, o restante da cromita é reduzida, a escória funde e certa quantidade de SiO<sub>2</sub> da escória é reduzida para Si que incorpora na liga. O carbono dissolve na liga até atingir o teor final, faixa de 7~8 %.

Conforme indica a Figura 15, a energia requerida é de 3585 kWh/t quando as perdas de energia nos transformadores, condutores, eletrodos, bem como a dissipação pela carcaça do forno são desprezadas. Se considerar que a eficiência térmica e elétrica for 85%, o consumo total de energia por tonelada de liga será de 4200 kWh/t. Este é um valor típico encontrado em plantas que operam com forno elétrico de redução a arco submerso.

A maior parte da energia, cerca de 73%, é consumida na faixa do 1200°C~1700°C (zonas 4 e 5), ou seja, nas zonas localizadas no topo e no meio da

camada de coque. Aqui, a energia é fornecida ao forno através de aquecimento ôhmico gerado pela passagem da corrente pela camada de coque.

Outra forma de avaliar a distribuição do calor no forno elétrico de redução é através do diagrama *sankey*, que é um diagrama do fluxo de calor através do equipamento de processo. Ele mostra como o calor fornecido é utilizado no sistema. Kapure et al., (2007), mostra que para uma carga contendo um minério de cromo com 45% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e 25% de  $\text{FeO}$ , considerando-se 100% de eficiência energética no processo, temperatura de vazamento igual a  $1700^\circ\text{C}$  e relação escória:metal igual a 1, obtém-se o diagrama *sankey* conforme Figura 16.

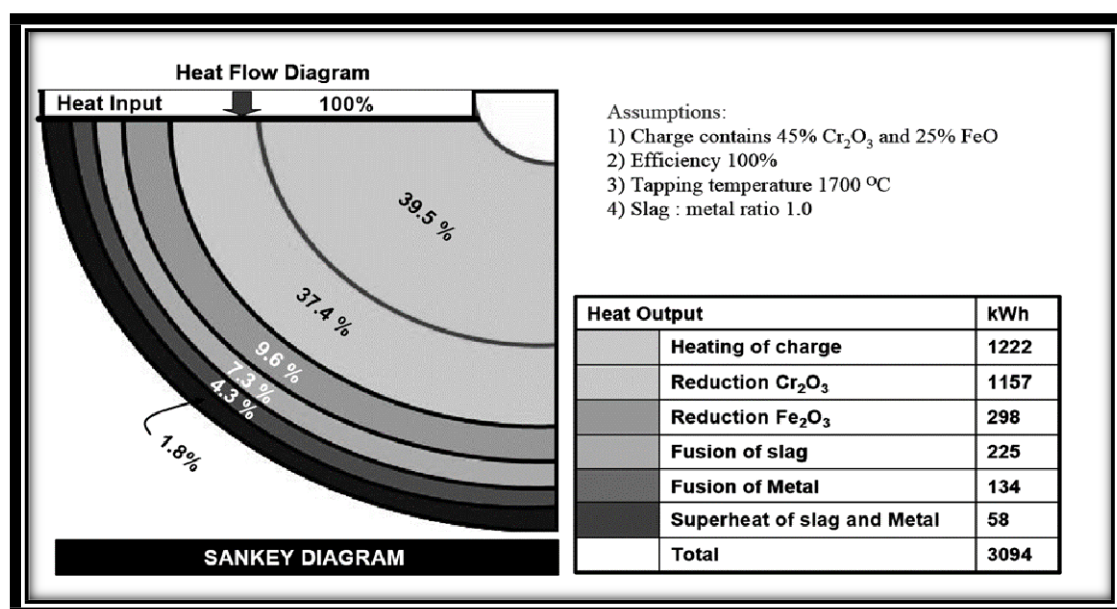


Figura 16 - Balanço de energia num Forno a Arco Submerso

Fonte: KAPURE et al., 2007

A partir da Figura 16, verifica-se que num forno elétrico a arco submerso, com as premissas adotadas neste caso, aproximadamente 40% do input de energia (1222 kWh) é utilizada no aquecimento da carga. Isso indica que existe uma oportunidade significativa para substituir este calor por energia alternativa disponível tal como a energia química do CO rico do gás do forno.

#### 4.6. FATORES QUE AFETAM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICO NA PRODUÇÃO DE FeCrAC

O valor da energia necessária ao processo de produção do FeCrAC é função de uma série de variáveis tais como características construtivas dos fornos, tecnologia adotada, características das matérias primas e práticas operacionais. Há de se somar a todas essas variáveis, principalmente nas plantas de ferroligas no Brasil, a dependência de bons operadores, visto que os processos de automação ainda não são amplamente aplicados ao setor.

A economia de energia possível, sob o ponto de vista elétrico, pode ser obtida a partir de técnicas introduzidas tanto na área de projetos como na área de processo (SILVERIA et al., 1997).

A tecnologia de produção adotada, capacidade da unidade, os equipamentos e auxiliares, além das instalações complementares representam oportunidades de economia de energia em plantas produtoras de ferroligas, do ponto da concepção do projeto. Fornos fechados, de maior capacidade produtiva, com elevado nível de automação e com pré-tratamento das matérias primas (secagem, aquecimento e pré-redução), conduzem a um menor consumo energético.

Partindo-se da premissa que o projeto foi bem concebido e implantado, a economia de energia passa agora a depender unicamente das condições de operação. O desempenho do forno será tanto melhor quanto mais fino o controle operacional sobre os níveis de potência, parâmetros elétricos, tempos de paralisação e qualidade da mistura (natureza das matérias-primas, proporção entre elas e granulometria).

O uso eficiente da energia é crítico para qualquer operação de fusão. A energia elétrica é usada para aquecer as matérias primas e permitir que os processos de redução e fusão ocorram. A energia é, primeiramente, perdida através das operações tais como vazamento do metal e escória, extração dos gases do forno e sistema de resfriamento, que é necessário devido as limitações térmicas dos componentes do forno.

O fluxo de energia na produção do FeCrAC pode ser estratificado em duas categorias: primeiramente, a energia usada no processo e a segunda categoria consiste nos fluxos de energia fora do forno. A diferenciação pode também ser baseada nos seus potenciais de recuperação. A primeira categoria é a energia que não pode ser recuperada, mas pode ser minimizada. A segunda categoria é a energia que pode ser recuperada.

Conforme mencionado, a primeira categoria corresponde a perda de energia que deve ser minimizada. Nesta categoria, estão inclusos as perdas elétricas e o consumo de energia no processo de redução.

As perdas elétricas no transformador e nos eletrodos correspondem a aproximadamente 4% de todo o suprimento de energia elétrica. Essa energia é perdida na forma de calor antes de ser introduzida no forno (LANDAM et al., 2013).

De acordo com KAPURE et al. (2007), o consumo de energia no processo de redução do FeCrAC é estimado em 3.094 kWh/t. Essa é a energia elétrica que é necessária para o aquecimento das matérias primas até a temperatura requerida e para o processo de redução de redução propriamente dito, transformando a matéria prima em metal líquido, escória líquida e gases a elevadas temperaturas.

A segunda categoria corresponde aos fluxos de calor que podem ser recuperados. Nessa categoria estão inclusos: energia térmica nos gases de exaustão, gases do processo de vazamento metal e escória e escória e metal líquidos. A energia contida na água do sistema de refrigeração, como também a energia química do CO contido nos gases de exaustão estão nesta categoria.

A seguir serão descritos os fatores mais preponderantes que afetam no consumo de energia. Ressalta-se que esses fatores não devem ser analisados somente isoladamente, visto que, na prática operacional existem interações entre eles.

ROCHA et al. (2015) avaliou e quantificou a influência dos principais fatores no consumo de energia na produção do FeCrAC num estudo de caso na empresa FERBASA. Este é um estudo particularmente aplicável ao problema dessa pesquisa. A referência adotada foi a partir do caso base: Jacurici como minério de cromo, temperatura das matérias prima 25°C, umidade na carga zero, temperatura da saída dos gases 300°C, 4,2% de Si na liga, 10% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 35% de SiO<sub>2</sub> na escória e

com temperatura de vazamento de 1700°C. Considerado o C igual a 7,5% em todos os casos. Para cada cenário apenas uma variável é alterada e os resultados são comparados com o caso base, onde o consumo específico de energia é 3440 kWh/t.

Tabela 18 – Efeito no consumo específico de energética devido diversos parâmetros

Scenario	Base case	1	2	3	4	5
<b>Off gas temperature</b>	300	100	300	500	800	
kWh/ton	3440	3398	3440	3484	3552	
$\Delta$ kWh/ton	0	-42	0	44	112	
<b>Slag temperature</b>	1700	1600	1650	1700	1750	
kWh/ton	3440	3383	3412	3440	3469	
$\Delta$ kWh/ton	0	-57	-28	0	29	
<b>Raw material temp</b>	25	100	200	400	600	
kWh/ton	3440	3387	3311	3140	2952	
$\Delta$ kWh/ton	0	-53	-129	-300	-488	
<b>% Si in alloy</b>	4.2	1	3	4.2	5	7
kWh/ton	3440	3303	3375	3440	3476	3566
$\Delta$ kWh/ton	0	-137	-65	0	36	126
Slag/alloy	1.42	1.47	1.44	1.42	1.41	1.37
<b>%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in slag</b>	10	5	8	10	12	15
kWh/ton	3440	3318	3390	3440	3505	3627
$\Delta$ kWh/ton	0	-122	-50	0	65	187
Slag/alloy	1.42	1.21	1.33	1.42	1.53	1.72
<b>%H<sub>2</sub>O</b>	0	2	5	10	15	
kWh/ton	3440	3494	3575	3711	3845	
$\Delta$ kWh/ton	0	54	135	271	405	

Fonte: ROCHA et al., 2015

A Tabela 18 mostra o efeito no consumo específico de energia devido a variação de diversos parâmetros. A partir dessas informações é possível fazer as seguintes avaliações:

A - O consumo de energia varia com a qualidade do produto: uma elevação no Si de 4,2% para 7,0% demanda mais 126 kWh/t.

B - Parâmetros que são afetados pela operação do forno ou pelo tipo de carga usada também influenciam no consumo de energia: uma redução na temperatura de saída dos gases de 300°C para 100°C resulta numa redução de 42 kWh/t. Uma redução na %Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na escória de 10% para 5% reduz o consumo de energia em 122 kWh/t (neste caso a redução no consumo de energia é devido, principalmente, à redução da relação escória/metálico). A redução na temperatura da escória de 1.700°C para 1.600°C reduz o consumo de energia em 57 kWh/t.

O efeito acumulado dessas variações pode levar uma redução de 221 kWh/t, ou seja, 6,4%.

C - Propriedades das matérias primas também afetam o consumo de energia: matéria prima com 10% de umidade vai acrescentar 271 kWh/t no consumo de energia. Se a matéria prima for aquecida de 25°C até 600°C, o consumo de energia reduz em 488 kWh/t.

## 5. ROTAS TECNOLÓGICAS PARA PRODUÇÃO DO FeCrAC

A produção do FeCrAC é caracterizada como um processo contínuo, que de acordo com SLACK et al. (2002) situa-se um passo além dos processos de produção em massa, pelo fato de operar em volumes ainda maiores e em geral ter variedade ainda mais baixa. Normalmente, opera por períodos de tempo muito mais longos. Às vezes, é literalmente contínuo no sentido de que os produtos são inseparáveis, e produzidos em um fluxo ininterrupto. É contínuo pelo fato de a operação ter que suprir os produtos sem uma parada. Está associado a tecnologias relativamente inflexível, de capital intensivo com fluxo altamente previsível.

No início da produção do FeCrAC, os fornos eram supridos por minérios de cromita na forma de lump de países tais como Zimbábue, mas com o aumento da demanda a partir dos anos 70, outros países, em particular a África do Sul, passaram a produzir o ferro cromo a partir de seus minérios *low grade*. A liga produzida a partir desses minérios tornou-se conhecida como *charge cromo*, devido o teor de cromo ser mais baixo e o teor de carbono, e em particular a relação C:Cr, ser mais elevado que o ferro cromo alto carbono. Essa liga não era adequada para utilização na fabricação do aço inox, que demandava carbono o mais baixo possível. No entanto, essa situação mudou radicalmente com o advento dos processos *AOD – Argon-Oxygen Decarburising* e *VOD – Vacuum-Oxygen Decarburizing*, sem excessiva oxidação e predação de cromo. Isso viabilizou a utilização do *charge cromo* na fabricação do aço inox.

Os processos de produção das ferroligas de um modo geral são muito tradicionais e nenhuma tecnologia revolucionária tem sido lançada no mercado. Certamente tecnologias em equipamentos auxiliares e processos de automação têm sido desenvolvidos consideravelmente e, com isso, melhorado a operação das plantas (DAAVITTILA et al., 2004).

Dentre as ferroligas, a maior parte dos novos processos tecnológicos tem sido introduzido na produção do FeCrAC. Principalmente nos anos de 1980, houve um grande interesse em pesquisa e implementação de novos métodos, tais como a fusão a plasma, pré-redução e redução direta.



Em 2009, HOLAPPA (2010) efetuou uma pesquisa junto a vários experts em ferroligas em vários países, com o objetivo de saber a respeito da importancia dos diversos fatores que afetam a produção sustentável de ferroligas. A pesquisa tratava de questões relativas a matérias primas e pré-tratamento, questões de energia, meio ambiente, sub produtos e aspectos economicos. Quase todas as questões apresentadas foram consideradas como importantes.

Energia elétrica foi considerado o fator mais crítico entre todos os aspectos pesquisados. Questões economicas (investimentos e custos operacionais, custo da energia) apareceram logo em seguida como mais críticos. Na sequência, as questões mais críticas foram eficiência energética, que incluiu a utilização do gás CO, pré-tratamento das matérias primas (sinterização, pelletização) e emissões no ar e na água, sendo quase todos essas questões tendo o mesmo peso de importancia.

O setor de ferroligas tem inúmeros desafios pela frente e deve passar por uma modernização tecnológica e uma profunda transformação nos aspectos ambientais, saúde e segurança do trabalho.

A eficiencia de alguns processos podem ser melhorados pelo adequado processamento parcial da matéria prima antes da mesma entrar no forno elétrico de redução. Isso pode ser alcançado a partir de três processos: aglomeração dos finos, pré-redução do minério e pré-aquecimento das matérias primas. A eficiência ou não de um determinado pré-tratamento é fortemente dependente da caracterização mineralógica do minério. É usual conduzir previamente extensivos testes em laboratórios para determinar se o minério pode ser aglomerado com sucesso ou se pode efetivamente ser pré-reduzido.

A grande maioria da produção de FeCrAC no mundo é feita em forno elétrico de redução a arco submerso. Os fornos elétricos a arco podem ser abertos, semi fechados ou fechados com correspondente melhor eficiência térmica e com possibilidade para usar a energia dos gases dos fornos fechados. Uma minoria é produzida via forno DC.

Tabela 19 – Distribuição dos tipos de fornos para a produção de FeCrAC

FORNO DC	FORNO ELÉTRICO A ARCO	TIPO		
		ABERTO	SEMI FECHADO	FECHADO
3%	97%	34%	30%	36%

Fonte: NELSON, 2014

A Tabela 19 mostra que do total de fornos instalados para a produção de FeCrAC, 97% é forno elétrico a arco, sendo quase 40% do tipo fechado. Mais da metade da produção do FeCrAC é feita em fornos abertos e semi fechados. Tem ocorrido avanços no sentido de reduzir as emissões nesse tipo de fornos, mas a instalação de novos fornos tem encontrado dificuldades devido à questões ambientais.

Uma das restrições no forno elétrico a arco é a alimentação direta de finos de cromita no forno. A tentativa mais avançada para superar este problema foi a introdução do forno a arco DC ou tecnologia de forno a plasma. Uma das vantagens do forno DC é a utilização dos finos de minérios sem a necessidade de aglomerá-los, uso de redutores mais baratos, recuperação de cromo mais elevada e sendo o forno fechado, permite a utilização do gás do forno como fonte de energia.

Métodos para pré-tratamento do minério para a fusão do FeCrAC, tais como aglomeração, pré-aquecimento e pré-redução têm sido desenvolvidos e usados comercialmente.

Para pré-redução e pré-aquecimento são utilizados fornos rotativos (*rotary kilns*), leitos fluidizados e fornos de cuba dos quais o forno rotativo é o mais utilizado.

A pré-redução do minério de ferro é algo já estudado e desenvolvido há bastante tempo. No entanto, a pré-redução da cromita não tem sido largamente usada comercialmente. Vários testes experimentais têm sido desenvolvidos com redução da cromita no estado sólido usando várias fontes de redutores, tais como: hidrogênio, metano, monóxido de carbono e coque.

O processo SRC, desenvolvido pela *Showa Denko K. K.* (SDK) do Japão, para produzir FeCrAC, utiliza um forno rotativo, onde as pelotas são pré-reduzidas com finos de carvão e a carga pré-reduzida é introduzida num forno a arco submerso fechado. O grau de redução total do cromo e ferro na pré-redução é de

aproximadamente 60%. Este foi o primeiro processo comercial de pré-redução de cromita. Este mesmo processo foi instalado na *Consolidated Metallurgical Industries* (CMI - África do Sul) em meados dos anos 70 (SLATTER, 1995).

Estudos para pré-redução da cromita num forno de leito fluidizado têm sido desenvolvidos pela JFE Steel (*ex-Kawasaki Steel Corporation*) do Japão e MS&A/Samancor. A JFE Steel testou metano e a MS&A/Samancor tem investigado outros gases portadores de hidrocarbonetos (SLATTER, 1995).

O processo CODIR foi concebido e testado pela Krupp nos anos 1980 e posteriormente comercializado pela Mannesmann Demag. Foi desenvolvido para finos de minério de cromo. Este processo utiliza um forno rotativo de 4,8m de diâmetro por 80 m de comprimento, os finos de cromita e carvão estão a 1723K (1450°C), produzindo um material semi-sólido de alta metalização de ferro cromo (aproximadamente 90%) e escória, que logo é introduzido no forno elétrico para uma separação de metal e escória (GOEL, 1997).

De acordo com NAIKER (2007), existem apenas duas plantas industriais onde a redução no estado sólido da cromita foi previamente provada com sucesso: a planta *Showa Denko* no Japão e a planta CMI localizada em *Mpumulanga* na África do Sul. Essas duas plantas têm utilizado o processo *Showa Denko Solid-State-Reduction* da cromita (SRC). A empresa Xstrata adquiriu a CMI e tem melhorado e modificado o processo original, tendo êxito em patentear em 2006 o novo processo denominado *Premus*.

Uma abordagem mais recente e que tem sido adotada por muitas plantas, é o processo *Outokumpum*. Os minérios friáveis são aglomerados via pelotização. As pelotas são produzidas com coque e são sinterizadas e parcialmente pré-reduzidas num sistema denominado “*steel belt sintering*”. Na sequência, as pelotas são enviadas para pré-aquecimento nos *shaft kilns* que se situam acima do forno elétrico a arco. Minério tipo lump, coque e fundentes são também carregados diretamente para os silos de alimentação.

Um desenvolvimento ulterior foi o uso direto num forno rotativo de finos de cromita sem aglomeração e carvão mineral de baixo custo com fundentes. Já nesta etapa, alto grau de redução foi alcançado (80 a 90%), sendo que o forno DC tornou-se essencialmente um forno de fusão (ICDA, 2011).

Algumas tecnologias emergentes têm sido desenvolvidas em escala experimental, tais como: pré-aquecedores com leito fluidizado e processo de fusão baseado na combustão do carvão com oxigênio, sem o uso da energia elétrica. Dentre elas, destacam-se os processos de autoredução, que se baseiam na utilização de aglomerados auto-redutores, onde o agente redutor, no caso o carbono, é adicionado diretamente à mistura a ser aglomerada, visando, a partir do contato íntimo entre as partículas e à alta pressão parcial dos reagentes, obterem tempos menores de reação, e conseqüentemente, tempos de residência dos aglomerados nos fornos muito curtos. Porém por serem tecnologias relativamente novas e proprietárias, as bibliografias específicas disponível para a produção de ferro cromo é bastante limitada.

O processo TecnoRed é, dentre os processos emergentes, o único brasileiro. O processo TecnoRed foi concebido, primeiro para pelotas autorredutoras de hematita, para produção de ferrogusa e está sendo consolidado a nível industrial pela Gerdau-Pindamonhangaba (ex.: Aços Villares). Para a fabricação de FeCrAC, cujas experiências foram realizadas em 1994, é um processo inovador, que ainda falta consolidar e melhorar a eficiência e recuperação de cromo (PILLIHUAMAN, 2009). No processo são utilizados como carga aglomerados autorredutores de cura a frio (dispensando fornos de queima), produzidos com finos de minério de cromo, mais finos de alguma fonte de carbono (carvão mineral, coque verde de petróleo, carvão vegetal, resíduos carbonosos etc.). Estes materiais, misturados com fundentes e ligantes, são aglomerados em briquetadeiras ou em discos tradicionais de pelletização, na forma de briquetes e pelotas respectivamente, e em seguida curados e secados. Em seguida, os aglomerados produzidos são reduzidos e fundidos num forno de geometria modificada e alta eficiência, o forno TecnoRed. Os produtos do processo são: metal líquido, escória e gás de topo, similares aos produzidos via forno elétrico a arco.

Conforme descrito anteriormente, várias rotas tecnológicas estão disponíveis para a produção do FeCrAC. Algumas dessas rotas já estão estabelecidas e consagradas, enquanto que outras estão sendo comercializadas recentemente. Restrições quanto propriedade intelectual e patentes tornam algumas dessas tecnologias menos acessíveis.

Embora haja uma certa variedade de rotas tecnológicas, existem provavelmente quatro grupos que cobrem praticamente todos os processos para a produção do FeCrAC. De acordo com GASIK (2013), os grupos são os seguintes:

- 1 – Forno elétrico a arco submerso aberto e semi fechado.
- 2 – Forno elétrico a arco submerso fechado, com ou sem pré-aquecimento.
- 3 – Pré redução seguida por forno elétrico a arco submerso fechado.
- 4 – Forno a arco DC aberto.

A seleção da rota tecnológica é determinada por um conjunto de fatores, tais como: acesso a uma determinada tecnologia, característica e disponibilidade de matérias primas (principalmente minério de cromo), custo da eletricidade, eficiência metalúrgica, eficiência elétrica, economia de escala, investimento de capital e legislação ambiental e saúde ocupacional.

## 6. BAT – BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES

BAT – *Best Available Technologies* ou MTD – Melhores Técnicas Disponíveis, tem como propósito ajudar a identificar as tecnologias que são as melhores para o meio ambiente como um todo, e que são economicamente e tecnicamente viáveis para a sua indústria.

De acordo com GASIK (2013), essa nova abordagem para avaliação do processo foi definida no Artigo 2(11) da prevenção e controle da poluição direta integrada (IPPC), conforme a seguir:

"BAT ou MTD", sendo o estágio mais eficaz e avançado no desenvolvimento das atividades e dos seus métodos de operação que indica a adequação prática de técnicas específicas para constituir a base dos valores-limite de emissão e outras condições do licenciamento para prevenir e, sempre que tal não seja possível, a reduzir as emissões e o impacto no meio ambiente como um todo:

*A – Best* - Melhores: tecnologias mais eficazes para alcançar um nível geral elevado de proteção do ambiente no seu todo.

*B – Technologies* - Tecnologias: tanto as tecnologias utilizadas no processo de produção como o modo segundo o qual a instalação é projetada, construída, conservada, explorada e desativada.

*C – Available* - Disponíveis: as tecnologias desenvolvidas a uma escala que possibilite a sua aplicação no contexto do setor industrial em causa, em condições econômica e tecnicamente viáveis, tendo em conta os custos e os benefícios quer essas tecnologias sejam ou não utilizadas ou produzidas no território do Estado-Membro em questão, desde que sejam acessíveis ao operador em condições razoáveis.

Em relação à indústria de não ferrosos, na qual inclui-se o setor de ferroligas, um abrangente estudo foi preparado na virada do milênio e publicado em 2001 (JRC, 2001). Uma versão revisada foi recentemente preparada e publicada em Outubro de 2014, referenciada à *IPPC - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU* (JRC, 2014).

A seleção das melhores técnicas disponíveis consiste em encontrar o equilíbrio adequado entre desempenho ambiental, a aplicabilidade técnica e a viabilidade econômica.

Há cada vez mais foco sobre os impactos ambientais nos projetos industriais, com isso, é crescente a importância para garantir que as tecnologias e práticas implementadas alcancem o melhor nível de desempenho ambiental.

De acordo com GASIK (2013), a lista a seguir sumariza as tecnologias mais efetivas e avançadas para aplicação na produção do FeCrAC:

- Sinterização do minério de cromo a partir da utilização do gás CO gerado no forno de fusão;
- Pré-aquecimento da carga (minério de cromo, redutor e fundente) do forno de fusão a partir da utilização do gás gerado no forno elétrico a arco;
- Pré-redução da carga mineral antes do enforamento da mesma no forno elétrico a arco;
- Fusão em forno elétrico a arco com eficiente recuperação do gás do forno e com utilização nas instalações e processos da planta ou até mesmo fora dela;
- Utilização do calor latente do metal e escória líquidos do forno de fusão;
- Integração da produção do FeCrAC com a produção do aço inox e com outras indústrias. Isso oferece excelentes possibilidades para recuperação de energia, produção de eletricidade, utilização do gás CO, recuperação e utilização do calor latente;
- Aplicação de sistema eficiente de tratamento dos gases para mitigação das emissões tóxicas, de poeira e metais pesados;
- Utilização de circuito fechado de água para remoção de partículas e componentes novos;
- Reciclagem, reuso e utilização de resíduos sólidos como escória e subprodutos;

Do ponto de vista de energia, apenas os quatro primeiros aspectos são mais significativos. Atualmente no mundo, somente as plantas da Outokumpu em Tornio (Finlândia) e da Samancor em Middelburg (África do Sul), usam o calor latente do FeCrAC diretamente na produção do aço inox (HOLAPPA, 2010).

Melhoria na rendimento metálico é um problema metalúrgico, mas tem também uma conexão com a reciclagem e a integração do processo.

Os três últimos aspectos são ambientais e extremamente importantes. O processo produtivo do FeCrAC envolve elevadas temperaturas e uma quantidade expressiva de poeiras são geradas via vaporização e outros mecanismos. Essas poeiras podem conter diversos componentes nocivos e devem ser cuidadosamente coletados e dispostas de tal forma que não causem danos ao ser humano e contaminação no ar, água ou solo.

A adoção dos procedimentos e tecnologias preconizadas como BAT pode conduzir a uma economia total de energia em torno de 20% a 30%. Com uma integração eficiente , este benefício pode ser ainda maior (GASIK, 2013).



## 7. METODOLOGIA

Para a consecução do objetivo proposto pelo presente trabalho faz-se necessário definir uma metodologia que determine os critérios e os indicadores de avaliação das rotas tecnológicas disponíveis para a produção do FeCrAC, estabelecendo seus respectivos limites de abrangência.

A definição da rota tecnologia mais adequada para a produção do FeCrAC será baseada nos critérios preconizados pelo BAT – *Best Available Technologies* ou MTD – Melhores Técnicas Disponíveis, pois tem como propósito ajudar a identificar as técnicas que são as melhores para o meio ambiente como um todo, e que são economicamente e tecnicamente viáveis para a sua indústria. Em relação à indústria de não ferrosos, na qual inclui-se o setor de ferroligas, um abrangente estudo foi preparado na virada do milênio e publicado em 2001 (JRC, 2001). Uma versão revisada foi recentemente preparada e publicada em Outubro de 2014, referenciada à *IPPC - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU* (JRC, 2014).



Figura 17 – Percurso metodológico

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A Figura 17 mostra o percurso metodológico a ser aplicado.

A etapa 1 consistirá em efetuar um mapeamento das rotas tecnológicas industrialmente existentes para a produção de FeCrAC, segundo o modelo de BEUKES et al. (2010).

Na sequência, a etapa 2 tratará de definir a rota mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil. Haverá dois filtros subsequentes e distintos, sendo:

#### FILTRO 1 – Avaliação Técnica das Rotas

A avaliação técnica das rotas será feita a partir de um modelo multicritério de apoio a decisão conforme a seguir:

##### A – Parâmetros de Avaliação:

Os parâmetros de avaliação receberão uma pontuação de 1 a 5, sendo que quanto maior o valor, melhor o parâmetro é avaliado. Cada parâmetro receberá um determinado peso, para refletir a importância de cada um deles na avaliação técnica. O resultado final será a multiplicação da pontuação com o peso adotado. Os maiores valores deste resultado indicarão as rotas tecnicamente mais adequadas para a produção de FeCrAC no Brasil.

A definição dos pesos de cada parâmetro será a partir dos resultados da pesquisa realizada em 2009, por HOLAPPA (2010), junto a vários experts em ferroligas em vários países, com o objetivo de saber a respeito da importância dos diversos fatores que afetam a produção sustentável de ferroligas. Nessa pesquisa, energia elétrica foi considerado o fator mais crítico entre todos os aspectos pesquisados. Questões econômicas (investimentos e custos operacionais, custo da energia) apareceram logo em seguida como mais críticos. Na sequência, as questões mais críticas foram eficiência energética, que incluiu a utilização do gás CO, pré-tratamento das matérias primas (sinterização, pelletização) e emissões no ar e na água, sendo quase todos essas questões tendo o mesmo peso de importância.

Parâmetros de avaliação quantitativos e qualitativos, de acordo com GASIK (2013) e JRC (2014):

A.1 – Eficiência metalúrgica: avalia o potencial de recuperação do cromo para a liga. Peso: 4.

A.2 – Eficiência da energia elétrica: avalia a eficiência do processo em termos de necessidade de energia elétrica para a produção de uma tonelada de FeCrAC. Peso: 5.

A.3 – Economia de escala: avalia o impacto da rota em termos de economia de escala (tamanho da unidade de produção versus volume de produção), com consequente diluição dos custos fixos. Peso: 4.

A.4 – Capital investido: avalia o capital investido para a implementação da rota. Peso: 4.

A.5 – Meio ambiente e saúde ocupacional: avalia o impacto em termos de meio ambiente e saúde ocupacional com a adoção da rota. Peso: 2.

A.6 – Flexibilidade: avalia a flexibilidade quanto ao uso de matérias primas e modulação na produção. Peso: 1.

A.7 – Complexidade: avalia o grau de complexidade tecnológica, nível de controle das operações e processo produtivo e grau de capacitação da mão de obra. Peso: 4.

## FILTRO 2 – Avaliação Econômico-financeira

As rotas selecionadas no primeiro filtro, serão submetidas ao segundo e último filtro, que é a avaliação econômico-financeira de projetos mutuamente excludentes. Dois projetos são excludentes se a aceitação de um implica na rejeição de outro. Portanto, só é possível aprovar um ou outro. (Em: <http://goo.gl/FiifPR>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015).

A análise de viabilidade econômico-financeira será feita adotando-se como premissa de implantação *brownfield* da rota tecnológica mais adequada no estado da Bahia.

O termo *brownfield* é utilizado na construção para referenciar terrenos que foram previamente ocupados por estruturas permanentes. Projetos *brownfield* são, portanto, empreendimentos executados sobre terrenos com estruturas existentes, devendo estas ser demolidas ou renovadas. (Em: <http://goo.gl/Tae3LZ>. Acesso em: 14 de novembro de 2015).

O DRE, fluxo de caixa dos investimentos, capital de giro e critérios para análise do projeto, seguirão a metodologia apresentada por ABREU et al. (2003). O software Microsoft Excel foi usado como ferramenta para os cálculos.

➤ Fluxo de caixa do projeto:

A construção do fluxo de caixa do projeto de investimento deverá ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas na tomada de decisão sobre a implantação ou não. O fluxo de caixa será estruturado mediante a estimativa dos valores de entradas e saídas de recursos financeiros.

No caso base, a taxa de câmbio (R\$/US\$) será a média do período de Janeiro a Setembro de 2015 e será considerado o incentivo fiscal da SUDENE de 75% redução no imposto de renda para empresas instaladas no nordeste.

Etapas a serem seguidas para estimar o fluxo de caixa:

✓ Vida útil do projeto: com base nos ativos operacionais necessários aos investimentos serão estimados os fluxos de caixa, dentro do horizonte de projeção, que será de 20 anos.

✓ Receita líquida de venda: considera-se que toda a liga produzida será vendida e a receita líquida unitária será o valor praticado pela FERBASA e disponível nas demonstrações financeiras anuais completas de setembro de 2015.

✓ Custos Operacionais Fixos: são aqueles que existem seja qual for o nível de produção e que não são diretamente alocáveis aos produtos. Serão considerados dados históricos em plantas onde as rotas tecnológicas foram implementadas e posteriormente serão calculadas equivalências com os custos “brasileiros”, referentes ao ano de 2015.

✓ Custos Operacionais Variáveis: são aqueles que dependem proporcionalmente ao nível de operação do investimento.

Os consumos específicos de matérias primas e energia serão calculados a partir de um balanço de massa e térmico. O software Microsoft Excell será usado como ferramenta para os cálculos.

A energia elétrica, no cenário base, será utilizado o preço estimado no mercado livre projetado para novembro de 2015 pela Thymos Energia.

Redutores, quartzo, pasta eletródica e materiais auxiliares serão utilizados os custos incorridos pela FERBASA em setembro de 2015.

Minérios cromo serão também utilizados os custos incorridos pela FERBASA em setembro de 2015. Será adotada uma redução de 20% neste custo, devido ao ganho de escala na mineração decorrente do aumento da demanda para atender a produção prevista no projeto.

✓ Despesas Operacionais: são dispêndios determinados fundamentalmente pela decisão de implementação de um investimento. Aqui estarão incluídas as despesas comerciais, de administração e despesas gerais. Adotar-se-á como referência os percentuais em relação à receita líquida, praticados pela FERBASA e disponíveis nas demonstrações financeiras anuais completas de setembro de 2015.

✓ Despesa de Depreciação: é a redução do valor do bem no tempo em decorrência de desgaste ou pela obsolescência. Será adotado o cálculo do método de depreciação linear, que consiste na divisão do valor do ativo investido pela sua vida útil (20 anos).

✓ Investimento Total: refere-se ao volume comprometido de capital direcionados a geração de resultados futuros. O valor residual do investimento no final do projeto será considerado zero.

Os investimentos em ativos fixos serão valores a partir do último investimento executado em 2014 para a produção do FeCrAC pela FERBASA e valores estimados pela empresa de engenharia TENOVA.

O investimento em capital de giro será considerado como uma porcentagem do incremento de vendas. A porcentagem atribuída dependerá do giro e do índice de

rotação das principais operações do negócio, sendo: clientes igual a 38 dias, estoque igual a 90 dias e fornecedores igual a 25 dias.

A avaliação de projetos de investimentos comumente envolve um conjunto de técnicas que buscam determinar sua viabilidade econômica e financeira, considerando uma determinada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), assim definidas por ABREU et al. (2003):

➤ Payback simples:

O *payback* simples é quanto tempo um projeto demora para se pagar. Obtém-se essa medida simplesmente contando quantos períodos o projeto precisa para acumular um retorno igual ao investimento realizado. Assim sendo, o investidor deverá comparar o *payback* simples com a vida econômica útil do ativo sob análise.

➤ Valor presente líquido (VPL):

Para compreender melhor o critério do VPL, é preciso lembrar que o VP de um projeto quer dizer o seu valor presente, e que  $I_0$  representa o investimento inicial necessário ou custo para aquisição ou implementação do projeto na data zero. VPL é simplesmente a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual.

A fórmula para cálculo deste indicador é:

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad 20$$

Onde:

- $i$  é a taxa de desconto;
- $j$  é o período genérico ( $j = 0$  a  $j = n$ ), percorrendo todo o fluxo de caixa;
- $FC_j$  é um fluxo genérico para  $j = [0... n]$  que pode ser positivo (ingressos) ou negativo (desembolsos);
- $VPL(i)$  é o valor presente líquido descontado a uma taxa  $i$ ;

- $n$  é o número de períodos do fluxo; e
- $I_0$  é o investimento inicial.

VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, se for implementado, trará prejuízo.  $VPL = VP - I_0$ . Portanto, basta calcular o valor presente de todos os fluxos de caixa, no sentido de série de valores, que se seguem à data zero e depois subtrair o investimento feito na data zero.

O critério decisório diz que um projeto só deverá ser realizado se o seu VPL for nulo ou positivo, jamais se for negativo. Para calcular o VPL, primeiro será preciso determinar a taxa de desconto adequada ou a denominada taxa mínima de atratividade do investimento (TMA). A TMA é a taxa mínima de rentabilidade que o projeto deve ter para que seja considerado rentável. Uma forma de indicar o cálculo do VPL a uma taxa de desconto  $i$  é  $VPL(i)$ . Portanto, se  $VPL(i) = 0$ , o projeto tem um  $VPL=0$  quando calculado com a taxa  $i$ . Isso significa que o projeto remunera exatamente a taxa  $i$ . Se o  $VPL(i) = R$ , sendo  $R > 0$ , pode-se dizer que o projeto, além de conseguir remunerar a taxa  $i$  exigida, consegue criar uma riqueza no valor de  $R$ . Mas se o  $VPL(i)$  for negativo, pode-se dizer que, além de não conseguir atingir a rentabilidade  $i$  exigida, o projeto ainda destrói riqueza.

➤ Taxa interna de retorno (TIR) ou *internal rate of return* (IRR):

A taxa interna de retorno (TIR), é a taxa pela qual o VPL de um projeto é zero. Portanto, uma forma de obter a taxa interna de retorno é traçar o gráfico de variação do VPL em função de variações da taxa de desconto. A taxa de desconto que anular o VPL é, então, chamada de taxa interna de retorno.

A fórmula para o cálculo deste indicador é:

$$\sum \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad 21$$

$$\sum \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad 22$$

$$\sum \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad 23$$

Onde:

- $FC_j$  é o valor presente das entradas de caixa;
- $j$  é o período genérico ( $j = 0$  a  $j = n$ ), percorrendo todo o fluxo de caixa;
- $I_0$  é o investimento inicial;
- $TIR$  é a taxa interna de retorno;
- $n$  é o tempo de desconto do último fluxo de caixa.

A maioria dos projetos tem um fluxo de caixa que pode ser assim resumido: na data zero investe-se um valor e a partir daí o projeto só fornece benefícios, isto é, fluxos de caixa positivos. Nesse caso, diz-se que o fluxo de caixa tem apenas uma inversão de sinal. A inversão de sinal é quando o fluxo de caixa muda de positivo para negativo, ou vice-versa, apenas uma vez. Se o fluxo tiver uma única inversão de sinal, isso implica matematicamente que poderá haver somente uma taxa interna de retorno positiva. No caso mencionado, pode-se então garantir que, se houver taxa interna de retorno, esta será única e positiva. Então, para que se possa investir no projeto, a TIR deverá ser superior ou, na pior das hipóteses, igual à taxa mínima de atratividade (TMA). Se a  $TIR < TMA$  não se deve investir.

➤ Índice de Lucratividade Líquida (ILL):

O ILL é uma medida relativa. Mede a relação entre o valor recebido e o custo do investimento. O ILL é medida relativa de benefício/custo:  $ILL = VP/I_0$ .

Pela definição do índice de rentabilidade, e sabendo-se que o VPL não pode ser negativo, conclui-se que o índice de rentabilidade terá sempre de ser maior ou igual a 1 para que o VPL não seja negativo. Ao empregar o ILL para a análise de projetos, deve-se decidir assim: se o ILL for menor que 1, o projeto não deve ser executado.

Após definir, neste segundo filtro, a rota mais adequada para a produção de FeCrAC no Brasil, será conduzida a terceira etapa, que tratará da condução de uma



análise do risco e da incerteza. O software Microsoft Excel foi usado como ferramenta para os cálculos.

Serão utilizados os seguintes instrumentos de análise do risco e da incerteza, conforme BUARQUE (1984):

➤ Ponto de equilíbrio (break even):

Uma das incertezas mais graves do projeto refere-se às perspectivas de vendas da empresa.

O mercado, com a projeção das tendências e a análise das perspectivas, define a procura insatisfeita e os preços de vendas previsíveis para os produtos da empresa.

Com base nisso, definem-se as receitas esperadas e calcula-se a rentabilidade do projeto.

No entanto, os preparadores e os avaliadores necessitam conhecer o que aconteceria com tal rentabilidade, no caso de ocorrer alguma mudança nas perspectivas desse mercado.

Isso é necessário se considerarmos que, além dos investimentos, todo projeto apresenta custos fixos operacionais que devem ser cobertos a cada ano, independentemente do nível de produção em que funcionará a empresa.

O instrumento mais utilizado correntemente para tal fim é o ponto de equilíbrio. O ponto de equilíbrio (ou ponto de nivelção ou *breakeven point*) é o ponto no qual as receitas de vendas e os custos de produção se igualam, ou seja é o ponto de lucro zero do empreendimento.

O princípio em que se baseia o ponto de equilíbrio é dos mais simples. Se o projeto está desenhado para produzir e vender uma quantidade  $Q$  de bens, e obter um lucro  $L = R - C$ , ao empresário interessa saber qual a quantidade mínima  $q$ , que deve ser vendida, para que, pelo menos, não ocorram perdas; ou seja, interessa-lhe saber: no caso de o estudo de mercado estar errado ou a demanda comportar-se mal em algum ano, até que ponto pode-se reduzir as vendas sem que a fábrica sofra

prejuízo. O ponto de equilíbrio é o nível mínimo de produção e venda em que a fábrica pode funcionar “autonomamente”, ou seja, sem perdas.

A quantidade que coloca um projeto em seu ponto de equilíbrio (*breakeven*) é aquela que deve ser produzida e vendida (bens e serviços) a fim de que o faturamento seja igual aos custos. Nessa condição, o projeto não produz lucro ou prejuízo. Produzindo e vendendo uma quantidade maior, haverá lucro; se a quantidade for menor, haverá prejuízo. Resulta da divisão da soma dos custos e despesas fixas pela margem de contribuição unitária. Determina-se, assim, o percentual que representa este valor em relação à capacidade nominal.

➤ Análise de sensibilidade:

Tanto no cálculo da rentabilidade como na determinação do ponto de equilíbrio, utilizam-se os dados como certos e constantes. Isso dificilmente ocorre, já que todos os dados utilizados num projeto são apenas valores aproximados de uma realidade que muda.

Vale a pena, portanto, incluir um método de análise que permita aos avaliadores e dirigentes conhecerem de que forma as variações de cada uma das variáveis pode influir nos resultados esperados para o projeto. Noutras palavras, qual é a sensibilidade do resultado do projeto a cada uma de suas variáveis principais.

Através da análise de sensibilidade, determina-se em que medida um erro ou modificação de uma das variáveis incide nos resultados finais do projeto. A análise de sensibilidade consiste em definir a rentabilidade do projeto em função de cada uma de suas variáveis, e observar a variação que ocorrerá na rentabilidade para cada alteração nas variáveis. A análise de sensibilidade consistirá em aplicar diferentes valores para cada uma das variáveis, supondo as demais como constante, avaliando-se a variação do VPL.

Os fatores que poderão impactar significativamente os resultados são: taxa de câmbio, receita líquida unitária no mercado externo e preço da energia elétrica. Será

feita uma análise do impacto de cada um desses fatores no resultado do VPL, em três cenários distintos.

Adicionalmente será também realizada uma análise de sensibilidade para todos os indicadores econômicos, nos três cenários, levando-se em consideração a não existência do benefício fiscal da SUDENE.

Cenários a serem analisados:

- ✓ Cenário 1 - mais provável: manutenção da quantidade média vendida no mercado interno dos últimos 5 anos (2010 a 2015), que corresponde a 50% da capacidade de produção.
- ✓ Cenário 2 - otimista: aumento da demanda no mercado interno em 50% em relação à média dos últimos 05 anos (2010 a 2015), equivalente, assim, a 75% da capacidade de produção.
- ✓ Cenário 3 - pessimista: vendas somente para o mercado externo. Este cenário avaliará se o projeto é competitivo em custo para suportar exportar o produto.

## 8. ANÁLISE E DISCUSSÃO

### 8.1. MAPEAMENTO DAS ROTAS TECNOLÓGICAS PARA PRODUÇÃO DO FeCrAC

O objetivo da primeira etapa foi mapear, descrever e caracterizar as rotas tecnológicas industrialmente disponíveis para a produção do FeCrAC, sem levar em consideração os aspectos econômicos. Na sequência, essas rotas passaram por uma avaliação técnica, econômica e financeira. Após essas duas avaliações, foi definida a rota mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil.

A Figura 18 mostra um fluxograma do processo produtivo das rotas tecnológicas industrialmente disponíveis para a produção do FeCrAC.

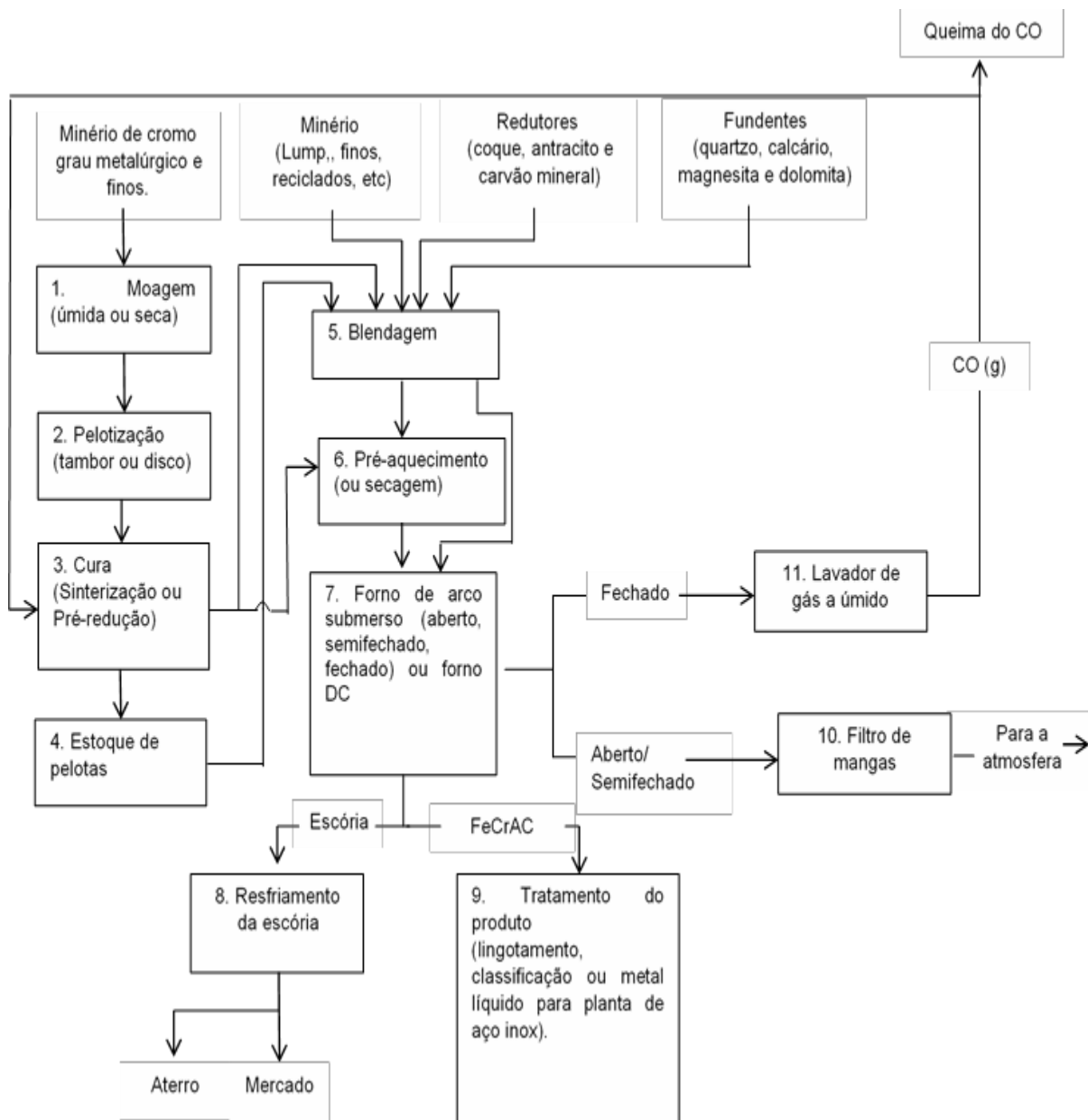


Figura 18 - Fluxograma e etapas das rotas tecnológicas para a produção do FeCrAC  
 Fonte: Adaptado de BEUKES et al., 2010

Em geral, quatro bem definidas combinações de processo caracterizam essas rotas tecnológicas (BEUKES et al., 2010):

➤ **ROTA 1: Operação em forno elétrico de redução aberto e semifechado, com tratamento dos gases em filtros de manga.** Essa é a mais antiga tecnologia, mas ainda é a que predomina no mundo e em vigor no Brasil. Neste tipo de operação minério de cromo *lump* e finos de minério podem ser fundidos sem prévia aglomeração. Embora tem-se afirmado que finos de minérios não podem ser alimentados diretamente no forno a arco submerso sem que isso cause perigosos distúrbios operacionais, uma quantidade substancial de finos de minérios tem sido de fato usados diretamente nos fornos. Tendo como referência o fluxograma da Figura 18, as etapas dos processos são 5, 7, 8, 9 e 10. Alguns fornos abertos (Figura 19) e semifechados também podem consumir pelotas, sendo que neste caso devem-se incluir as etapas 1, 2, 3 e 4.

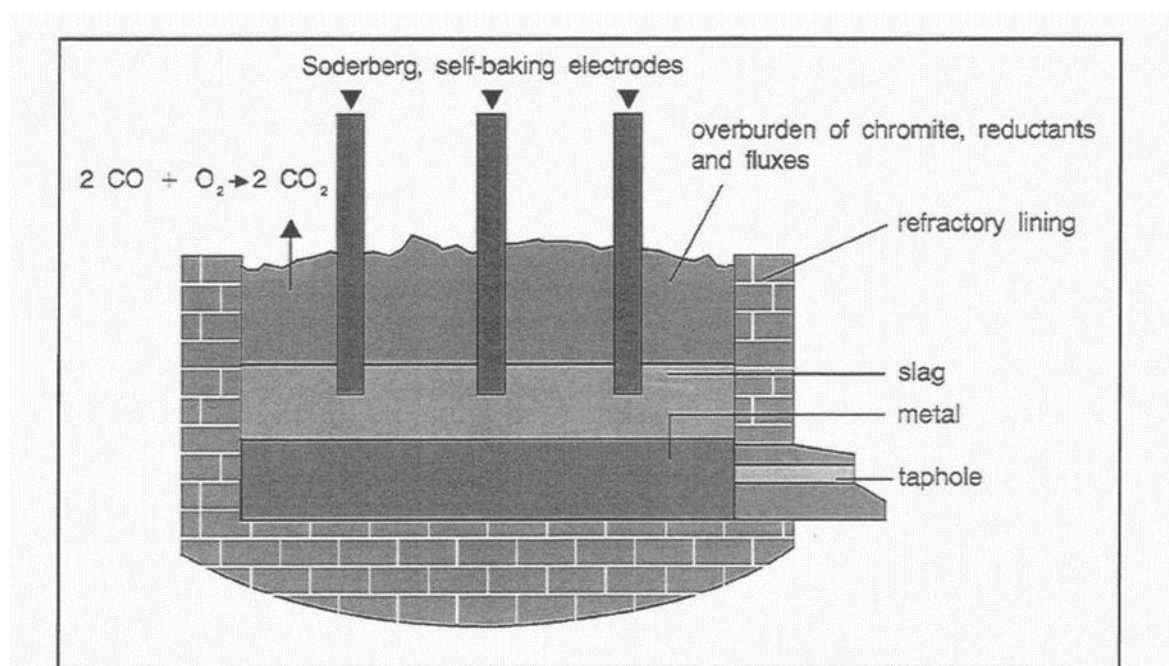


Figura 19 – Seção transversal do forno arco tipo aberto

Fonte: Adaptado de SLATTER, 1995

Nesta rota a mistura (etapa 5) de minério de cromo, redutores e fundentes é alimentada fria, com um mínimo de pré-processamento diretamente no forno a arco

submerso aberto (Figura 19) ou semifechado (etapa 7). Os gases produzidos são captados e limpos em filtros de manga (etapa 10), antes de serem enviados para a atmosfera.

Os líquidos produzidos, ferroligas e escória, depositam-se no cadinho, onde ocorre a separação dos dois por diferença de densidades. Em intervalos de tempo preestabelecidos, a liga e a escória são esgotadas do forno através de um furo, denominado "furo de corrida", situado no cadinho, para posterior processamento (etapas 8 e 9).

De acordo com JRC (2014), essa rota apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- *Design* simples e robusto,
- Baixos valores de investimento e custo de manutenção,
- Flexibilidade para usar todo tipo de matéria prima,
- Reuso e refusão dos resíduos do forno,
- O processo de fusão redutora pode ser facilmente controlado,

Desvantagens:

- Elevado consumo de energia elétrica,
- Nenhuma alternativa de recuperação de calor, exceto a partir da água produzida (sistema de refrigeração),
- Elevado volume de gás produzido, causando maior impacto ambiental,
- Necessidade de robusto sistema para controle da poluição,
- Formação do cromo hexavalente – Cr (VI).

➤ **ROTA 2: Operação em forno elétrico fechado, usualmente utilizando minério lump e/ou pelotas sinterizadas, com ou sem pré-aquecimento.** Este é o processo mais largamente utilizado na África do Sul e predominante nos projetos de

expansão *brownfield* e *greenfield*<sup>1</sup> no mundo. Tendo como referência o fluxograma da Figura 18, as etapas do processo normalmente incluem as etapas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 11, com ou sem a etapa 6. Existe uma forte tendência de todo desenvolvimento de projeto *greenfield* para FeCr as etapas 2 (pelotização) e 3 (sinterização), serem integradas com os fornos fechados.

Nesta rota, o minério de cromo fino passa por uma moagem a úmido (etapa 1) e então é pelotizado (etapa 2) utilizando-se um aglomerante, tal como a bentonita. As pelotas são, então, sinterizadas (etapa 3 – cura), resfriadas com ar e estocadas (etapa 4). As pelotas e minério *lump* com os fundentes são aquecidos (etapa 6) num pré-aquecedor (*shaft kilns*) localizado acima dos silos de mistura do forno. Redutor, normalmente coque, é adicionado à matéria prima pré-aquecida e alimentados no forno elétrico a arco fechado (etapa 7). Os gases gerados são captados e limpos num sistema de tratamento a úmido tipo venturi (etapa 11) e usado, a posteriori, como fonte energia, na etapa 6, de pré-aquecimento das matérias primas.

Um exemplo de sucesso de processo integrado com operação de forno elétrico fechado pode ser encontrado no processo de fabricação do FeCrAC da Outotec, no qual cobre a etapa de aglomeração, utilização do gás do forno e maximização da escala (tamanho) do forno, conforme a Figura 20. A planta mais representativa que usa essa tecnologia é a planta da Outokumpu em Tornio, na Finlândia (GASIK, 2013).

---

<sup>1</sup> Os investimentos *greenfield* são aqueles que envolvem projetos incipientes, ainda no papel, como se diz no jargão de negócios. Em vez de investir em uma joint venture ou na aquisição de uma empresa já atuante no setor, o investidor, nesse caso, coloca os seus recursos na construção da estrutura necessária para a operação. O contrário do investimento *greenfield* é o *brownfield*, no qual os recursos são destinados a uma companhia com estrutura pronta e que, na maioria das vezes, será reformada ou demolida. (Em: <http://goo.gl/kmGTAH>. Acesso em : 03 de dezembro de 2015).



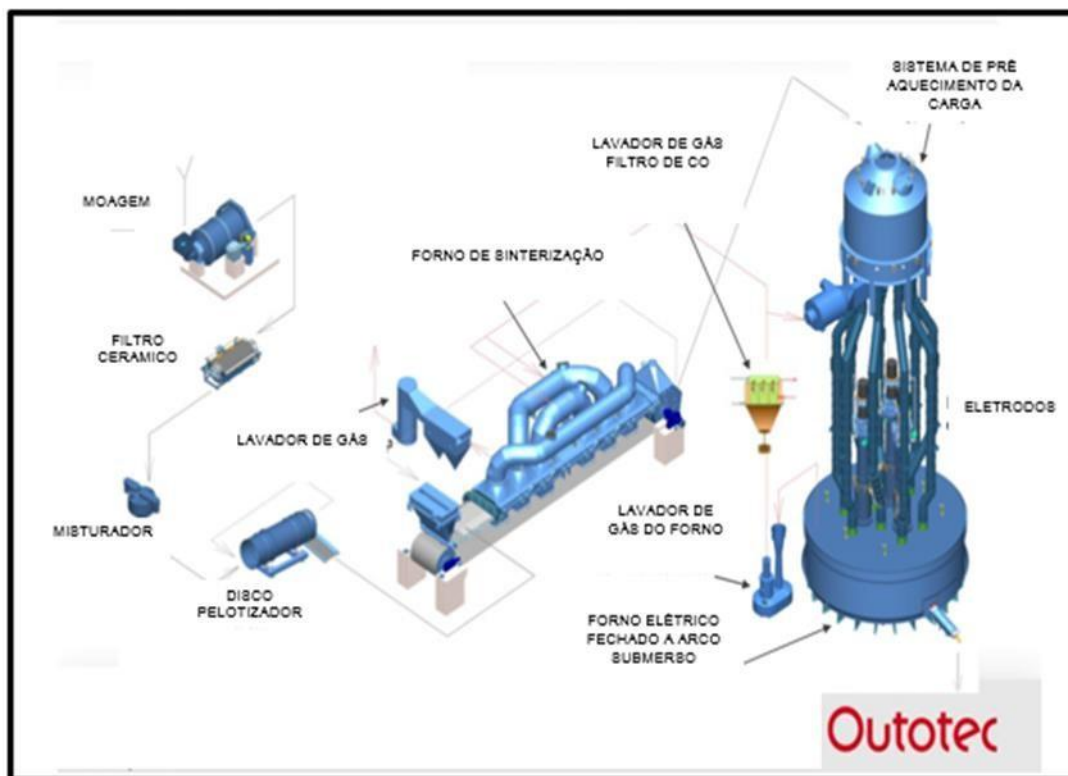


Figura 20 – Processo integrado para produção de FeCrAC da Outotec

Fonte: Outotec

De acordo com JRC (2014), essa rota apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Maior flexibilidade no uso de matérias primas quando comparado com as rotas 3 e 4,
- Baixo consumo de energia,
- Recuperação de energia,
- Baixo impacto ambiental,
- Aumento da produtividade do forno.

Desvantagens:

- Necessidade de minério lump sem finos ou matéria prima aglomerada,
- Sistema de lavagem de gás a úmido.

➤ **ROTA 3: Operação em forno elétrico fechado com alimentação de pelota pré-reduzida.** Tendo como referência o fluxograma da Figura 18, as etapas do processo incluem as etapas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, e 11. A pelota alimentada difere substancialmente da pelota sinterizada oxidada, devido ao fato dessas pelotas estar pré-reduzidas e a maioria alimentadas quentes, diretamente no forno fechado, logo após a etapa de pré-redução.

O processo Premus da Xstrata, conforme ilustra na Figura 21, que opera nas plantas de Lydenburg e Steelpoort na África do Sul, é o único em escala comercial no mundo que utiliza a etapa do processo de pré-redução (GASIK, 2013).

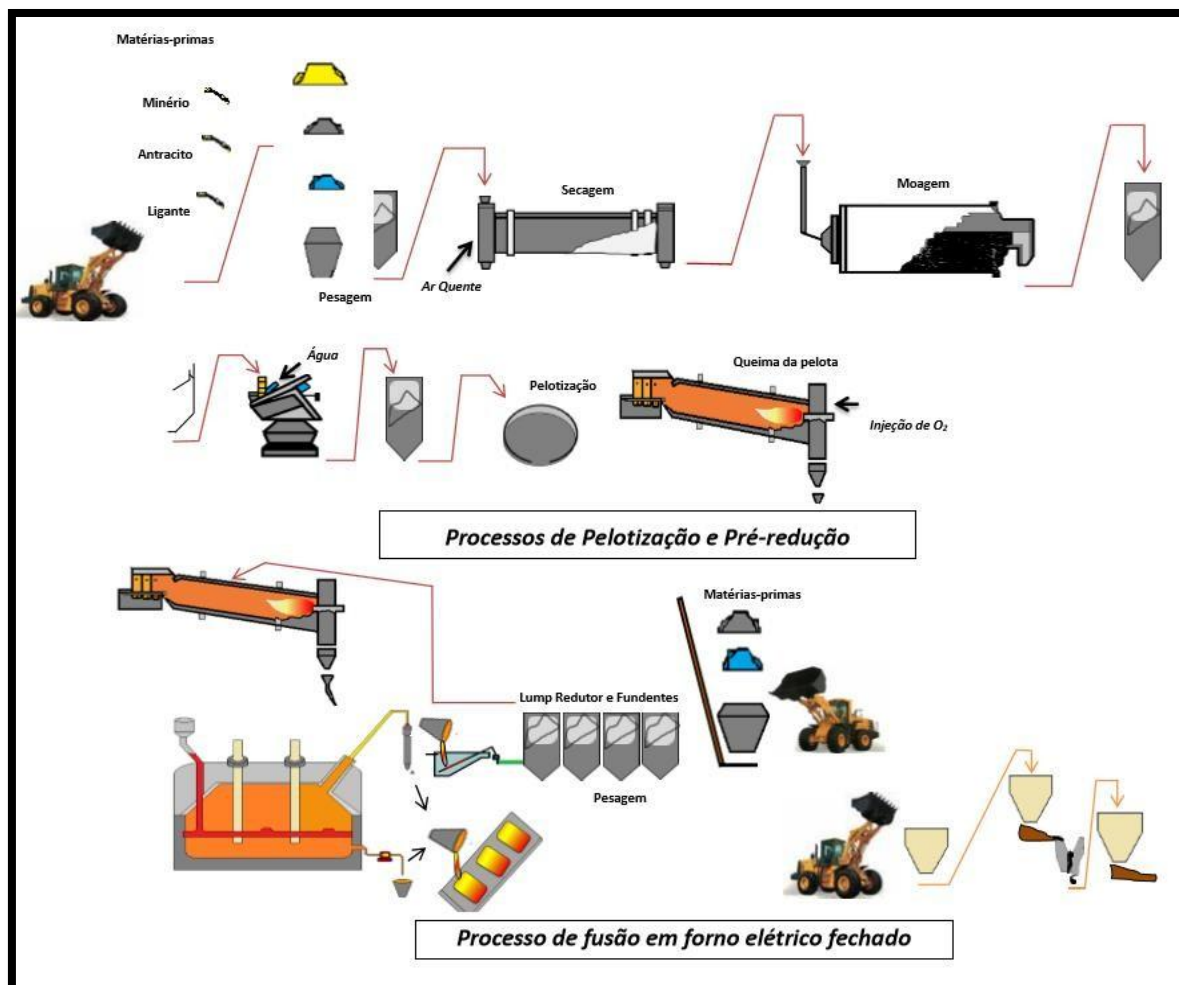


Figura 21 – Processo PREMUS para produção de FeCrAC da Xstrata

Fonte: NAIKER, 2007

Nesta rota, minério de cromo fino, bentonita e um redutor, tal como antracito fino, passam por uma moagem a seco (etapa 1). São então pelotizados (etapa 2) e pré-aquecidos antes de serem alimentados num forno tipo rotativo, onde o processo de pré-redução (etapa 3) dos óxidos de cromo e ferro irá acontecer. As pelotas metalizadas são, então, carregadas quentes num forno elétrico a arco fechado (etapa 7). O gás gerado é limpo num sistema de tratamento a úmido tipo venturi (etapa 11) e usado na planta como fonte de energia.

De acordo com JRC (2014), essa rota apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Mais baixo consumo de energia elétrica,
- Recuperação de calor e total utilização dos gases do forno,
- Mais baixo consumo de coque e mais elevado consumo de carvão mineral,
- Aumento na produtividade do forno.

Desvantagens:

- Rota que necessita de maior investimento,
- Sistema de lavagem de gás a úmido,
- Rota muito complexa,
- Nenhuma flexibilidade no uso de matérias primas,
- Elevado custo de manutenção,
- Possibilidade de formação de crostas.

➤ **ROTA 4: Operação em forno a arco tipo DC (Direct Current – Corrente Contínua).** Para este tipo de operação, a alimentação consiste exclusivamente de materiais finos. Tendo como referência o fluxograma da Figura 18, as etapas do processo incluem as etapas 5, 7 (com forno DC, ao invés do forno a arco submerso), 8, 9 e 11. A etapa 6 (secagem) poderia ser incluída.

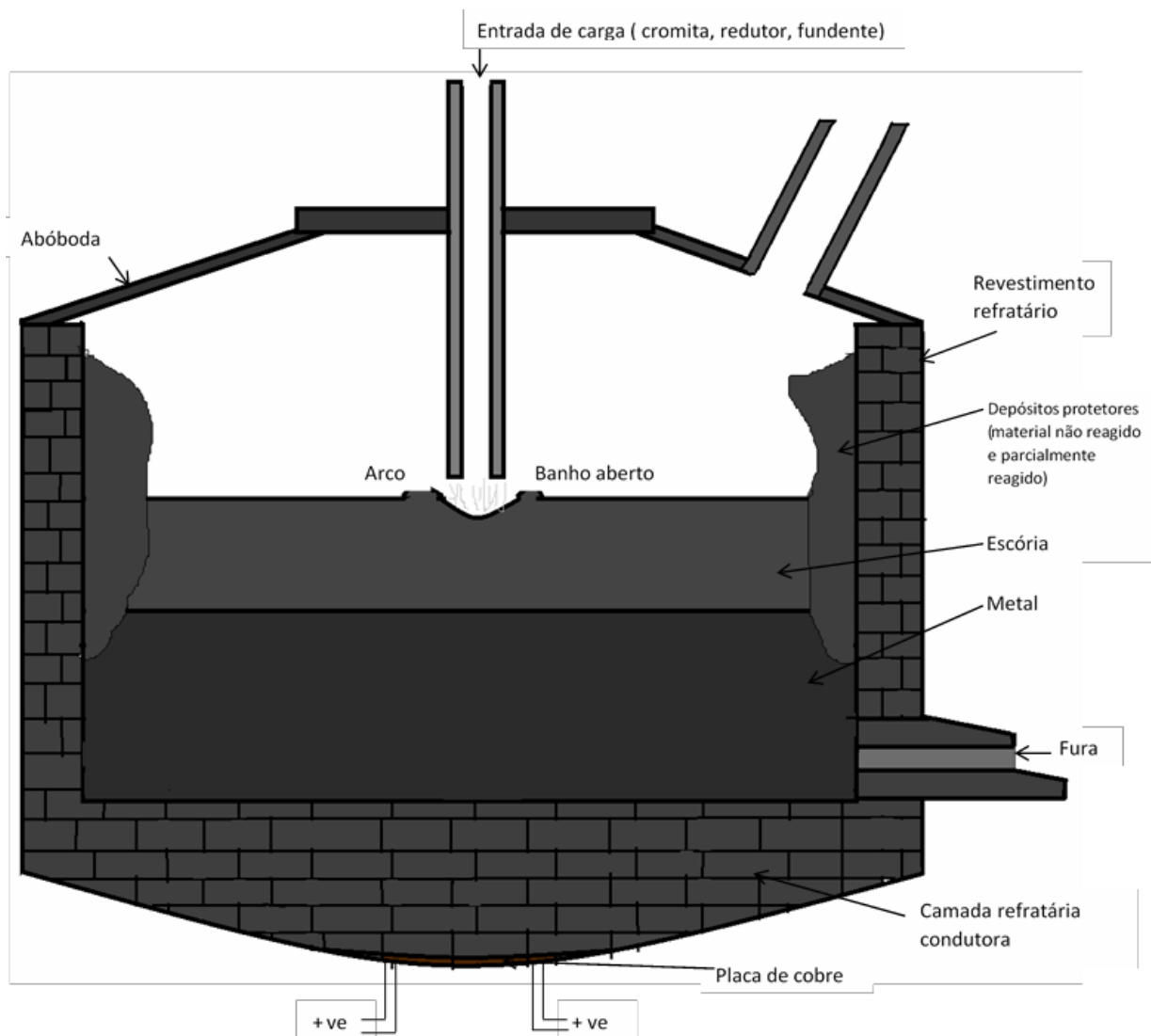


Figura 22 – Seção transversal do forno a arco tipo DC

Fonte: Adaptado de SLATTER, 1995

A Figura 22 mostra a seção transversal de um típico forno a arco tipo DC.

Nesta rota, o forno (Figura 22), usa um único eletrodo sólido de carbono e gera um arco DC para um anodo no fundo do forno. O arco normalmente é do tipo aberto ou semi-submerso. As matérias primas podem ser alimentadas diretamente no forno ou através de um eletrodo oco.

De acordo com JRC (2014), essa rota apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Possibilidade de usar qualquer minério, exceto minério lump,
- Uso de finos sem aglomeração,
- Recuperação de energia,
- Uso do carvão mineral, ao invés de coque.

Desvantagens:

- Necessidade de elevado investimento,
- Elevado consumo de energia,
- Sistema complexo,
- Baixa disponibilidade operacional,
- CO num sistema pressurizado.

## 8.2. DEFINIÇÃO DA ROTA MAIS ADEQUADA PARA A PRODUÇÃO DO FeCrAC NO BRASIL

O objetivo da segunda etapa foi, a partir do mapeamento das rotas, definir aquela mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil

As rotas mapeadas na primeira etapa foram submetidas a dois filtros subsequentes e distintos, sendo o primeiro filtro a avaliação técnica e o segundo a avaliação econômico-financeira.

### 8.2.1. Avaliação Técnica

Neste filtro foram definidas as rotas mais adequadas tecnicamente para a produção do FeCrAC no Brasil, sem levar em consideração aspectos econômicos.

A avaliação técnica das rotas foi feita a partir de um modelo multicritério de apoio a decisão, utilizando-se os seguintes parâmetros qualitativos e quantitativos, de acordo com GASIK (2013) e JRC (2014): eficiência metalúrgica, eficiência da energia elétrica, economia de escala, capital investido, meio ambiente e saúde ocupacional, flexibilidade e complexidade.

Cada parâmetro recebeu uma pontuação de 1 a 5, sendo que quanto maior o valor, melhor o parâmetro é avaliado.

Cada parâmetro recebeu um determinado peso, para refletir a importância de cada um deles na avaliação técnica. O resultado final foi a multiplicação da pontuação com o peso adotado. A definição dos pesos de cada parâmetro foi a partir dos resultados da pesquisa realizada em 2009, por HOLAPPA (2010), junto a vários experts em ferroligas em vários países, com o objetivo de saber a respeito da importância dos diversos fatores que afetam a produção sustentável de ferroligas.

Os maiores valores deste resultado indicaram as rotas tecnicamente mais adequadas para a produção de FeCrAC no Brasil.

Essa avaliação técnica foi feita pelo próprio autor, engenheiro metalurgista, com mais de 25 anos de experiência na indústria de ferroligas no Brasil e no exterior.

A partir da Tabela 20, temos os parâmetros quantitativos da avaliação, sendo:

- Eficiência metalúrgica: as rotas 3 e 4 apresentam a maior recuperação de cromo, recebendo pontuação 5,0. Na sequência vem a rota 2 com pontuação 4,8 e, finalmente, a rota 1 com pontuação 4,0.
- Eficiência da energia elétrica: este parâmetro foi avaliado a partir do consumo específico de energia, sendo que a rota 3 é a que apresenta melhor resultado, recebendo a pontuação 5,0. Na sequência temos as rotas 2, 4 e 1 que foram pontuadas, respectivamente com 3,8; 2,9; e 2,8.

- Economia de escala: a rota 2 é que apresenta o maior volume de produção por forno, recebendo a pontuação 5,0. Na sequência temos as rotas 3, 4 e 1 que foram pontuadas, respectivamente com 3,3; 2,3 e 1,0.
- Meio ambiente e saúde ocupacional: este parâmetro foi avaliado a partir do indicador indexado de geração do Cr<sup>6+</sup>, sendo a que as rotas 2, 3, 4 e 5 foram as melhores avaliadas, recebendo todas elas uma pontuação 5,0. A rota 1 foi a pior avaliada, sendo pontuada com 1,0.

Tabela 20 – Resultados comparativos para as diferentes rotas de produção do FeCrAC

ROTAS TECNOLÓGICAS	EFICIÊNCIA METALÚRGICA (% Cr recuperado)	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA (kwh/t)	ECONOMIA DE ESCALA (tamanho máximo de um único forno/ produção de um único forno)	INDICADOR DE SAÚDE OCUPACIONAL (indexado à geração do Cr <sup>6+</sup> )
ROTA 1*	70-75	4.300	30 MVA / 50 kt/ano	10
ROTA 2**	83-88	3.200	135 MVA / 240 kt/ano	1
ROTA 3	88-92	2400***	66 MVA / 160 kt/ano	1
ROTA 4	88-92	4.200	60 MW/ 110 kt/ano	1

\* sem peneiramento de matéria prima  
 \*\*com alimentação de pelotas  
 \*\*\*apenas energia elétrica no forno, excluindo-se a energia de combustível associado na etapa de pré redução

Fonte: Adaptado de GASIK, 2013

De acordo com GASIK (2013) e JRC (2014), temos a seguinte avaliação para os parâmetros qualitativos:

- Capital investido, complexidade e flexibilidade: as rotas 3 e 4 é que apresentam a pior avaliação para esses três parâmetros, recebendo pontuação 1. Inversamente, a rota 1 é a melhor avaliada, sendo pontuada com 5. A rota 2 apresenta uma avaliação intermediária, com pontuação 3.

A Tabela 21, mostra a consolidação da pontuação de todos os indicadores.



Tabela 21 – Pontuação dos parâmetros de avaliação técnica

<b>AVALIAÇÃO TÉCNICA</b>					
<b>CRITÉRIOS</b>	<b>PESO</b>	<b>ROTA 1</b>	<b>ROTA 2</b>	<b>ROTA 3</b>	<b>ROTA 4</b>
CAPITAL INVESTIDO	4	5,0	3,0	1,0	1,0
COMPLEXIDADE	4	5,0	3,0	1,0	1,0
FLEXIBILIDADE	1	5,0	3,0	1,0	1,0
CONSUMO ENERGIA	5	2,8	3,8	5,0	2,9
SAÚDE OCUPACIONAL	2	1,0	5,0	5,0	5,0
ECONOMIA DE ESCALA	4	1,0	5,0	3,3	2,3
EFICIÊNCIA METALÚRGICA	4	4,0	4,8	5,0	5,0
<b>TOTAL</b>		<b>81,2</b>	<b>94,8</b>	<b>77,3</b>	<b>62,5</b>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A partir da avaliação de todos esses parâmetros, as rotas 1 e 2 é que demonstraram ser tecnicamente mais adequadas para a produção de FeCrAC no Brasil. Mais à frente serão abordados, com mais detalhe, os motivos para a seleção das rotas 1 e 2 e do descarte das rotas 3 e 4.

As etapas do processo em destaque em vermelho na Figura 23 definem as etapas do processo da rota tecnológica 1 para a produção do FeCrAC no Brasil, sendo: operação em forno elétrico aberto ou semifechado, utilizando minério de cromo tipo lump. As etapas do processo incluem as etapas 5, 7, 8, 9 e 10. Esta é a tecnologia atual adotada para a produção do FeCrAC no Brasil.

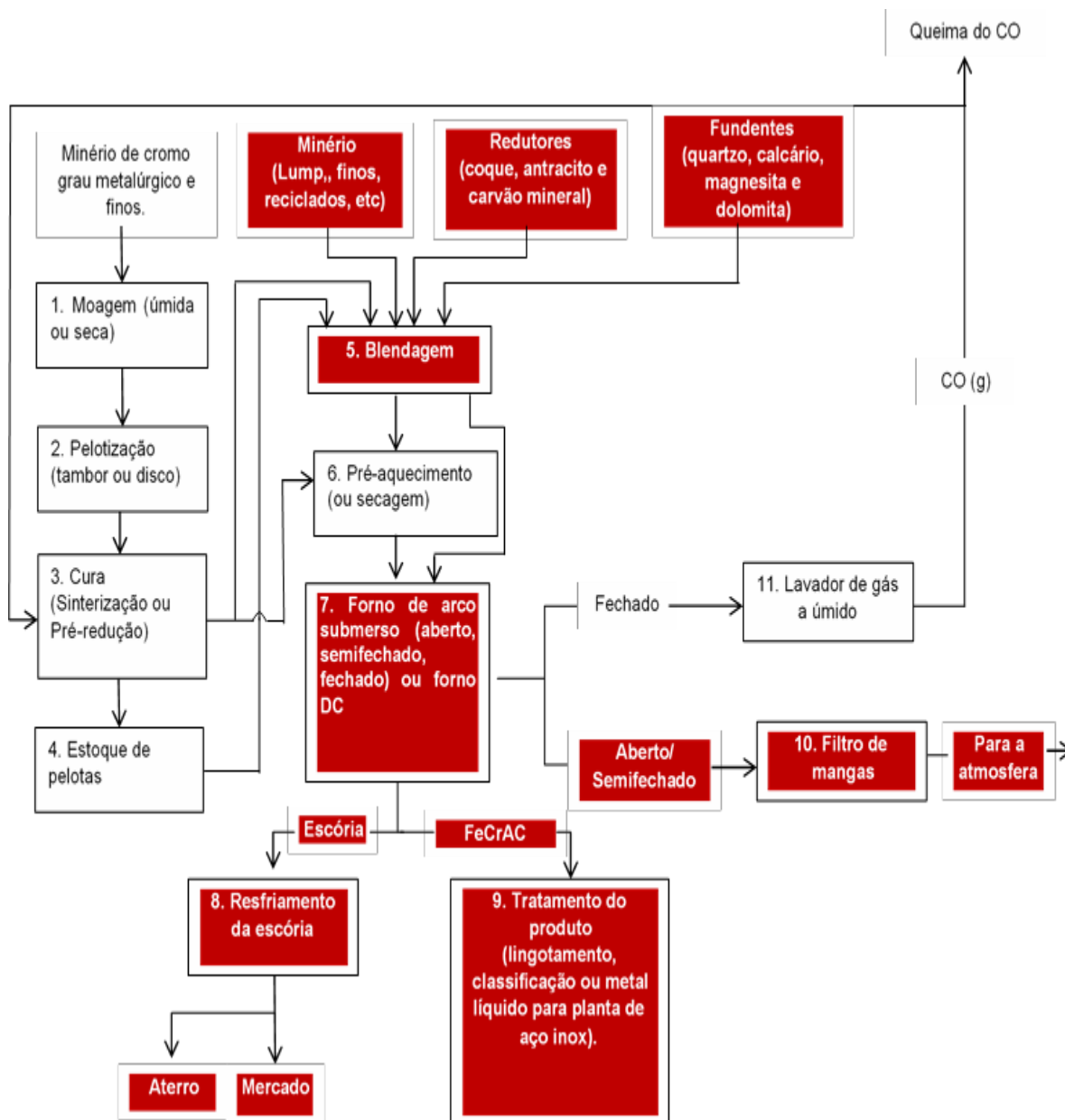


Figura 23 - Fluxograma e etapas da rota tecnológica 1 para a produção do FeCrAC no Brasil

Fonte: Adaptado de BEUKES et al., 2010

As etapas do processo em destaque em vermelho na Figura 24 definem as etapas do processo da rota tecnológica 2 para a produção do FeCrAC no Brasil, sendo: operação em forno elétrico fechado utilizando minério de cromo tipo *lump*. As etapas do processo incluem as etapas 5, 6 (pré-aquecimento), 7, 8, 9 e 11. Este conjunto de etapas já existe comprovadamente em escala industrial, no denominado Processo Outotec (ERIC, 2014).

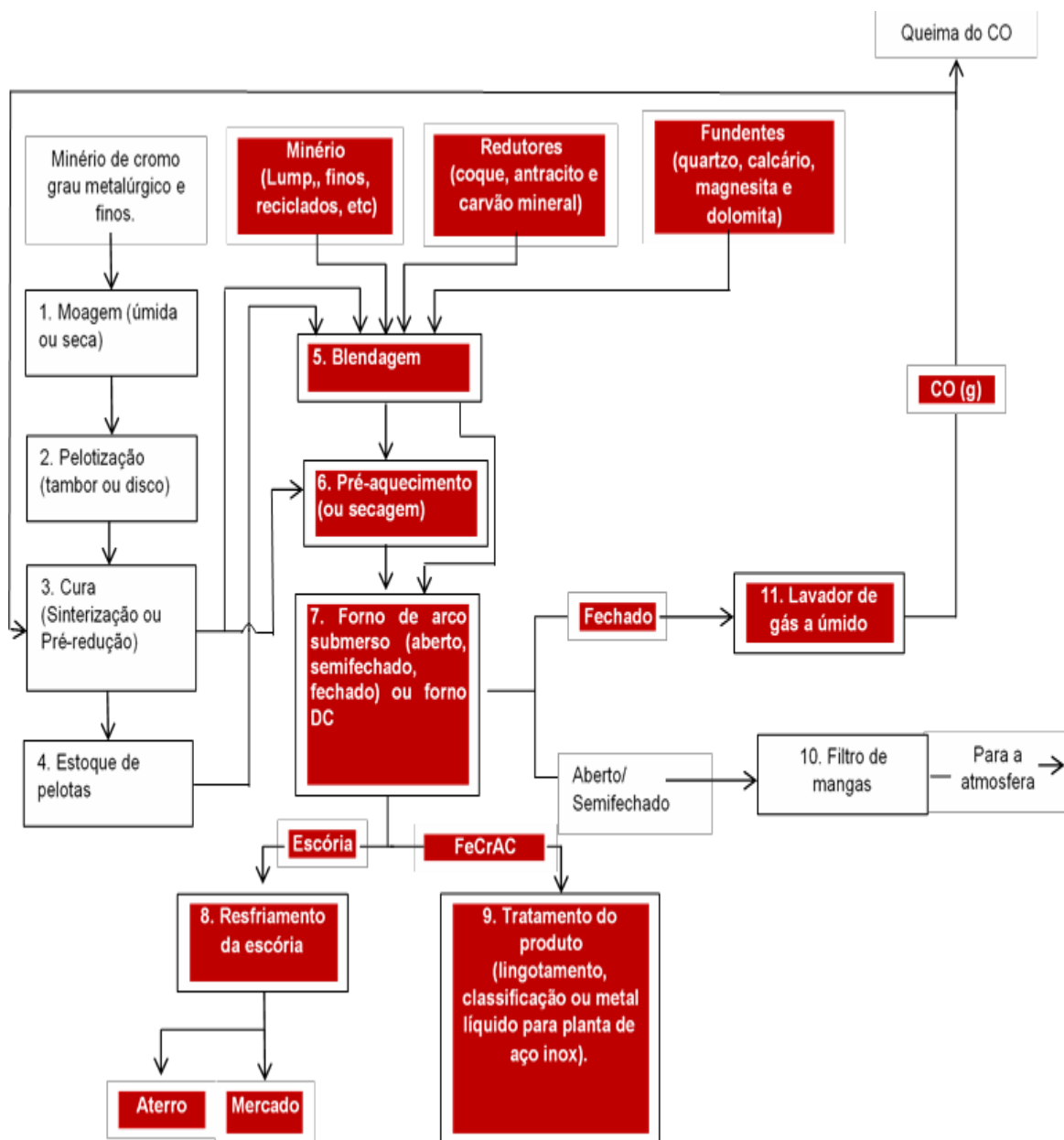


Figura 24 - Fluxograma e etapas da rota tecnológica 2 para a produção do FeCrAC no Brasil

Fonte: Adaptado de BEUKES et al., 2010

## JUSTIFICATIVA PARA A SELEÇÃO DAS ROTAS 1 E 2

✓ Cerca de 91% das reservas e recursos de minério de cromo no Brasil estão situados no estado da Bahia (DNPM, 2010).

✓ A empresa Ferbasa é detentora de 85% das reservas brasileiras de minério de cromo. Em março de 2012, anunciou em fato relevante que o montante saltou de 13 milhões para 40 milhões de toneladas do minério Jacurici. Este é o minério destinado para a produção do FeCrAC no Brasil.

✓ De acordo com SAMPAIO et al. (2002), a característica do minério de cromo Jacurici da FERBASA é homogêneo e compacto. A produção consta dos seguintes produtos:

Areia de cromita (8%): destinada para setor de refratários e fundição;

Concentrado de cromita (11%): destinado para a produção ferro cromo baixo carbono (FeCrBC) na planta de metalurgia da FERBASA em Pojuca.

Minério *lump* (81%): este é o minério utilizado na produção do FeCrAC.

✓ Segundo dados fornecidos pela FERBASA, nos últimos 05 anos a produção do minério Jacurici tem mantido a geração de 80% de *lump* e que as pesquisas mais recentes indicam que as reservas existentes deste minério também mantem a geração de *lump* entre 75 e 80%.

✓ Os finos podem ser gerados durante a extração, numa mina, de um minério granulado (bitolado ou *lump*). Esses finos podem ser gerados por cominuição, para permitir a concentração do minério, ou deliberadamente cominuído para que seja passível de aglomeração (TAKANO, 2007). Os processos de aglomeração (briquetagem, sinterização e pelotização), objetivam transformar os finos de matéria primas em aglomerados que viabilizem a utilização em processos metalúrgicos.

Em se tratando dos processos de pré-tratamento de minérios, de acordo com LUZ et al. (2010), a escolha do processo ideal depende de uma análise cuidadosa e exaustiva, considerando parâmetros que definem as características físicas e químicas do material, o volume anual de material a ser processado, o investimento, os custos operacionais, entre outros.

Na rota tecnológica 3, existe a etapa de pré-redução. Para tal, faz-se necessário moer o minério e, a seguir, aglomerá-lo via processo de pelotização. Na rota tecnológica 4, utiliza-se somente minério fino e apresenta o maior consumo específico de energia elétrica (Tabela 20). O minério Jacurici para a produção do FeCrAC é predominante *lump*. Isso implicaria na necessidade de moer este minério, caso fosse utilizar as rotas 3 ou 4.

Ainda não existem estudos aprofundados para validem o desempenho do minério Jacurici nos processos de pelotização e pré-redução.

✓ As rotas 3 e 4 é que apresentaram a menor pontuação nos parâmetros capital investido, complexidade e flexibilidade (Tabela 21). Isso indica a baixa probabilidade de sucesso dessas duas rotas. De acordo com GASIK (2013), o processo Premus da Xstrata (rota 3), que opera nas plantas de Lydenburg e Steelport na África do Sul, é o único em escala comercial no mundo que utiliza a etapa do processo de pré-redução. Segundo NELSON (2014), somente 3% dos fornos no mundo para o produção do FeCrAC são do tipo a arco DC (rota 4).

✓ De acordo com JRC (2014), que define os critérios do BAT (*Best Available Technologies*), a adoção do forno a arco submerso fechado com pré-redução do minério de cromo (rota 3), apresenta as seguintes desvantagens: maior custo de investimentos, sistema de lavagem dos gases, sistema extremamente complexo, nenhuma flexibilidade no uso de matérias primas, alto custo de manutenção. Portanto, opta-se por não realizar a moagem, pelotização e pré-redução no minério de cromo do Brasil e recomenda-se avaliar esta decisão com mais detalhes em estudos futuros.

✓ Conforme consta no “*Finnish expert report on best available techniques in ferrochromium production*, VANHANEM (1999), devido aos consumos de matérias primas e energia, produção, emissões e índice de disponibilidade dos equipamentos, o processo de produção de FeCrAC da Outotec (rota 2) foi considerado um candidato a BAT para a produção de FeCr no Brasil.

Existe um marcante contraste no capital investido quando o layout simples da rota 1 é comparado com o layout de maior complexidade das demais rotas, que necessitam de unidades de preparação de matérias primas, aglomeração, sistema de pré-aquecimento e pré redução. O contraste no custo do investimento deve ser comparado com os benefícios em eficiência operacional e economia de escala.

A análise de viabilidade econômico-financeira (filtro 2) é que definiu, entre as rotas 1 e 2, a mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil.

### **8.2.2. Avaliação econômico-financeira**

A decisão de fazer um investimento de capital envolve pesquisa em que se investir, assim como a avaliação das alternativas encontradas.

As rotas 1 e 2, selecionadas no primeiro filtro (avaliação técnica), foram submetidas a uma avaliação econômico-financeira de projetos mutuamente excludentes. Neste caso, a aceitação de um implica na rejeição de outro. Portanto, só é possível aprovar um ou outro.

As etapas para a tomada de decisão do melhor projeto foram compostas do levantamento de dados a serem investidos e montagem do fluxo de caixa, definição da taxa mínima de atratividade, utilização de métodos quantitativos para análise do fluxo de caixa e avaliação do risco de sucesso ou fracasso do investimento.

Na construção do DRE e do fluxo de caixa de cada projeto, foram assumidas algumas premissas, quais sejam:

- Caso base é o cenário 1, o mais provável: manutenção da quantidade média vendida no mercado interno dos últimos 5 anos (2010 a 2015).
- As plantas foram dimensionadas com mesmo volume de produção e para produzir anualmente 251.583 t, sendo este volume o dobro da quantidade vendida no mercado interno no cenário 1; ou seja, o excedente foi destinado ao mercado externo.
- Os projetos são do tipo brownfield no estado da Bahia.
- Toda a liga produzida será vendida (APÊNDICE B) e a receita líquida unitária no mercado interno e externo, respectivamente, R\$ 3.680/t e R\$ 2.953/t, valores estes praticados pela FERBASA e disponíveis nas demonstrações financeiras anuais completas da empresa de setembro de 2015.
- Os custos operacionais variáveis foram calculados a partir de um balanço de massa (APÊNDICE F e APÊNDICE I) e térmico (APÊNDICE J e APÊNDICE K).
- Para energia elétrica foi utilizado o preço estimado no mercado livre projetado para novembro de 2015 pela Thyos Energia (ANEXO B), no valor de R\$ 160/MWh. Minério de cromo, redutores, quartzo, pasta eletródica e materiais auxiliares foram utilizados os custos incorridos pela FERBASA em setembro de 2015. No caso do minério de cromo foi considerada uma redução de 20% neste custo, devido ao ganho de escala na mineração decorrente do aumento da demanda para atender a produção prevista no projeto.
- Os custos fixos foram considerados dados históricos em plantas onde as rotas tecnológicas foram implementadas e posteriormente foram calculadas equivalências com os custos “brasileiros”, referentes ao ano de 2015.
- Para as despesas operacionais (administrativas, comerciais e gerais), adotaram-se como referência os percentuais em relação à receita líquida praticados pela FERBASA, sendo 1,20% para as despesas comerciais e de vendas e 5,84% para as despesas administrativas e geral (para essa categoria de despesas foi considerada uma redução de 20%, devido ganho

de escala) e disponível nas demonstrações financeiras anuais completas de setembro de 2015 (ANEXO A).

- Para a despesa de depreciação, foi considerado o cálculo do método de depreciação linear.
- Foi considerado o incentivo fiscal da SUDENE de redução de 75% no imposto de renda.
- Para os investimentos em ativos fixos, foi considerado para a rota 1 o último investimento executado em 2014 para a produção do FeCrAC pela FERBASA (APÊNDICE E) e para a rota 2 valores estimados pela empresa de engenharia TENOVA (APÊNDICE H).
- O investimento em capital de giro (APÊNDICE C) foi considerado como uma porcentagem do incremento de vendas, sendo: cliente igual a 38 dias, estoque igual a 90 dias e fornecedores igual a 25 dias.
- Taxa de remuneração ao investidor, taxa de custo do capital, bem como taxa de desconto dos fluxos de caixa foi de 14,0% a.a.
- Taxa de câmbio no valor de 3,16 R\$/US\$ (APÊNDICE A), valor médio de janeiro a setembro de 2015.
- Devido a confidencialidade das informações, a base de dados fornecido pela FERBASA para os cálculos do custo variável e fixo da rota 1 não foram publicados nesse trabalho.

As duas rotas foram projetadas para produzir o mesmo volume de produção. No entanto, os investimentos necessários para a rota 1 e 2, foram respectivamente, R\$ 476.814.080 e R\$ 592.602.153. As magnitudes dos investimentos foram bem diferentes.

A análise econômico-financeira de um investimento dispõe de uma variedade de métodos de análise para se definir o melhor investimento. No entanto, a escolha do método adequado requer o conhecimento das ferramentas.

O VPL é uma metodologia superior para analisar projetos excludentes. Quando uma empresa investe ela deseja criar valor para os seus acionistas. (Em: <<http://goo.gl/FiifPR>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015).

Um projeto com TIR superior à taxa de desconto, mostra que o projeto é criador de valor para o acionista, mas não diz o quanto. O método da TIR é expresso



em termos relativos (taxa percentual) e não em valores absolutos, como é característica do VPL.

No caso do método do índice de lucratividade líquida (ILL), a escolha do projeto com maior ILL pode, também, não refletir a melhor decisão. As razões são as mesmas apontadas anteriormente para o método da TIR: disparidade de investimentos e diferenças com relação à evolução dos fluxos de caixa ao longo do tempo.

Os resultados dos cálculos comparativos entre as rotas 1 e 2 para a produção do FeCrAC estão descritos na Tabela 22, que demonstra os resultados no ano 2.

Tabela 22 – Demonstrativo de resultados das rotas 1 e 2 no ano 2 em R\$

DRE - DEMONSTRATIVO DE RESULTADOS	ROTA 1	ROTA 2
RECEITA LÍQUIDA	834.410.054	834.410.054
CUSTO DOS PRODUTOS VENDIDOS	618.629.543	529.460.875
LUCRO OPERACIONAL BRUTO	215.780.512	304.949.179
DESPESAS OPERACIONAIS	58.742.468	58.742.468
COMERCIAIS E VENDAS 1,20%	10.012.921	10.012.921
GERAIS E ADMINISTRATIVAS 5,84%	48.729.547	48.729.547
<b>LUCRO OPERACIONAL LÍQUIDO (EBITDA)<sup>1</sup></b>	<b>157.038.044</b>	<b>246.206.712</b>
DEPRECIÇÃO E AMORTIZAÇÃO	23.840.704	29.630.108
<b>LUCRO ANTES DO PAGAMENTO DE JUROS E IR (EBIT)<sup>2</sup></b>	<b>133.197.340</b>	<b>216.576.604</b>
IMPOSTOS	45.287.096	73.636.045
IMPOSTO DE RENDA 25%	33.299.335	54.144.151
CSLL 9%	11.987.761	19.491.894
<b>RESULTADO LÍQUIDO OPERACIONAL</b>	<b>87.910.244</b>	<b>142.940.559</b>

<sup>1</sup> Earnings before interest, tax, depreciation and amortization = lucro antes de impostos, juros, depreciação e amortização

<sup>2</sup> Earnings before interest and tax = lucro antes de impostos e juros

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A partir dos DRE's, foram construídos os fluxos de caixa de cada um dos projetos (APÊNDICES F e J) e, então, foram obtidos os índices econômicos conforme a Tabela 23.

Tabela 23 – Indicadores econômicos das rotas 1 e 2

INDICADORES ECONÔMICOS	UNID.	ROTA 1	ROTA 2
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	%	14,0%	14,0%
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	R\$	173.867.139	557.788.725
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	%	17,8%	24,4%
ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE LÍQUIDA (ILL)	-	1,26	1,71
PAYBACK SIMPLES (PS)	anos	5,6	4,1
EBITDA	%	18,8%	29,5%
RESULTADO OPERACIONAL LÍQUIDO	%	10,5%	17,1%

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A partir dos resultados apresentados na Tabela 23, foi possível concluir que a rota 2 obteve o melhor resultado em todos os indicadores, sendo assim definida como a rota mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil.

A partir da Tabela 23, tem-se a seguinte avaliação para a rota 2:

1. Cria maior valor para o acionista, que é demonstrado pelo maior VPL (R\$ 557.788.725).
2. TIR igual a 24,4%, significando que o fluxo de caixa gerado pelo investimento cobre o custo de capital e “deixa” um excedente de retorno para o investidor.
3. ILL de 1,71, indicando que a cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 0,71 de retorno, após ter remunerado o investimento em 14% a.a. e recuperado o capital investido.

### 8.3. ANÁLISE DO RISCO E DA INCERTEZA

Ao percorrer todas as etapas anteriores, definiu-se a rota 2 como a mais adequada para produção do FeCrAC no Brasil.

Com o objetivo de melhor avaliar o risco e a incerteza da rota 2, foi realizada uma análise de sensibilidade em três cenários, que variaram de acordo com a distribuição total da produção, que foi de 251.583 t/ano, entre o mercado interno (MI) e o mercado externo (ME).

- ✓ Cenário 1 - mais provável: manutenção da quantidade média vendida no mercado interno dos últimos 5 anos (2010 a 2015), que corresponde a 50% da capacidade de produção.
- ✓ Cenário 2 - otimista: aumento da demanda no mercado interno em 50% em relação à média dos últimos 05 anos (2010 a 2015), equivalente, assim, a 75% da capacidade de produção.
- ✓ Cenário 3 - pessimista: vendas somente para o mercado externo. Este cenário avaliará se o projeto é competitivo em custo para suportar exportar o produto.

A escolha dos três cenários variando-se a distribuição das quantidades vendidas entre os mercados interno e externo, foi devido ao fato de que com a tecnologia atual empregada no Brasil, a empresa produtora de FeCrAC não tem competitividade em custos para exportar a produção. Isso é devido ao preço líquido de venda para exportar ser em torno 20% menor que o preço líquido de venda para o mercado interno.

Tabela 24 – Indicadores econômicos nos cenários 1, 2 e 3

INDICADORES ECONÔMICOS	UNID.	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	%	14%	14%	14%
PONTO DE EQUILÍBRIO (PE)	%	17,2%	15,3%	22,9%
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	R\$	557.788.725	778.406.553	116.553.068
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	%	24,4%	28,2%	16,3%
ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE LÍQUIDA (ILL)	-	1,71	1,98	1,15
PAYBACK SIMPLES (PS)	anos	4,1	3,6	6,0
EBITDA <sup>1</sup>	%	29,5%	32,8%	21,7%
RESULTADO OPERACIONAL LÍQUIDO	%	17,1%	19,4%	11,7%

<sup>1</sup> Earnings before interest, tax, depreciation and amortization = lucro antes de impostos, juros, depreciação e amortização

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

Conforme é demonstrado na Tabela 24, os indicadores econômicos no cenário 3, onde toda a produção é exportada, são positivos. Isso demonstra que a rota 2 é suficientemente competitiva em custo para exportar.

Num projeto com essa envergadura, a perspectiva de vendas é uma das variáveis mais impactante que existe. Além dos investimentos, todo projeto apresenta custos fixos que devem ser cobertos periodicamente, independentemente do nível de produção da planta. O ponto de equilíbrio (*breakeven*) foi o indicador utilizado para o nível mínimo de vendas em que planta funciona sem perdas. Os valores de ponto de equilíbrio em cada cenário, conforme indica a Tabela 24, variaram de 15,3 a 22,9%. Isso quer dizer que, no pior cenário, a planta pode produzir e vender com 22,9% de sua capacidade que ainda cobre os custos fixos.

Também foi realizada uma análise de sensibilidade para todos os indicadores econômicos, nesses três cenários, levando-se em consideração a não existência do benefício fiscal da SUDENE.

Tabela 25 – Indicadores econômicos sem incentivo fiscal da SUDENE

SEM INCENTIVO FISCAL DA SUDENE				
INDICADORES ECONÔMICOS	UNID.	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	%	14,0%	14,0%	14,0%
PONTO DE EQUILÍBRIO (PE)	%	17,2%	15,3%	22,9%
VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	R\$	299.017.385	468.211.446	-39.370.737
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	%	19,7%	22,7%	13,2%
ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE LÍQUIDA (ILL)	-	1,38	1,59	0,95
PAYBACK SIMPLES (PS)	anos	5,1	4,4	7,2
EBITDA <sup>1</sup>	%	29,5%	32,8%	21,7%
RESULTADO OPERACIONAL LÍQUIDO	%	17,1%	19,4%	11,7%

<sup>1</sup> Earnings before interest, tax, depreciation and amortization = lucro antes de impostos, juros, depreciação e amortização

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

Na hipótese de não haver o incentivo fiscal da SUDENE, os resultados nos cenários 1 e 2 ainda se mantêm positivos (Tabela 25). No entanto, no caso de ter que exportar 100% da produção (cenário 3 - Tabela 25), o VPL torna-se negativo, indicando que para este cenário o projeto não é recomendável. O limite de exportação, ou seja, condição para o VPL ser igual a zero, é de 96% da produção.

Estudar a viabilidade do projeto para diversas alterações dos parâmetros mais relevantes que impactam no resultado é crucial para avaliar o risco do projeto. Os fatores que poderão impactar significativamente os resultados são: taxa de câmbio, receita líquida unitária no mercado externo e preço da energia elétrica. Foi elaborada uma análise do impacto de cada um desses fatores no resultado do VPL, nos três cenários distintos. Essa análise de sensibilidade consistiu em aplicar diferentes valores para cada uma das variáveis, supondo as demais como constantes, avaliando-se a variação do VPL.

A taxa de câmbio tem um impacto relevante nos resultados do projeto. A receita é 100% indexada ao dólar e mais de 85% dos custos em reais. Existe uma relação direta entre a variação da taxa de câmbio e o resultado, sendo quanto maior um maior o outro e vice-versa. O real mais fraco proporciona uma porta de saída para um setor que enfrenta custos ainda elevados, forte redução da demanda doméstica e enormes incertezas sobre os desdobramentos que a crise política terá sobre a economia.

No caso base (cenário 1), a taxa de câmbio foi de 3,16 e para este cenário, a Figura 25, mostra que o ponto de nivelamento (taxa de câmbio para o VPL igual a zero) foi de 2,71.

O cenário 2 (Figura 26), suporta a menor taxa de câmbio, pois é o cenário com menor dependência das vendas externas.

Já o cenário 3 (Figura 27) foi o mais sensível à variação cambial, tendo o seu ponto de nivelamento numa taxa de câmbio de 3,05.

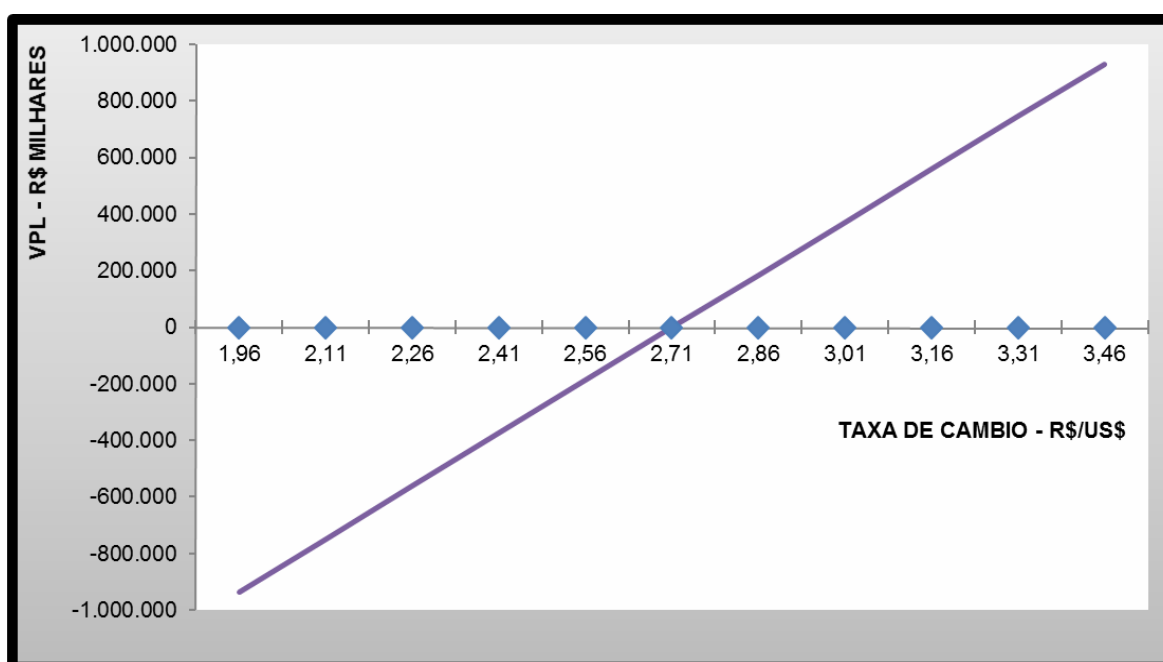


Figura 25 – Variação da taxa de câmbio no cenário 1

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

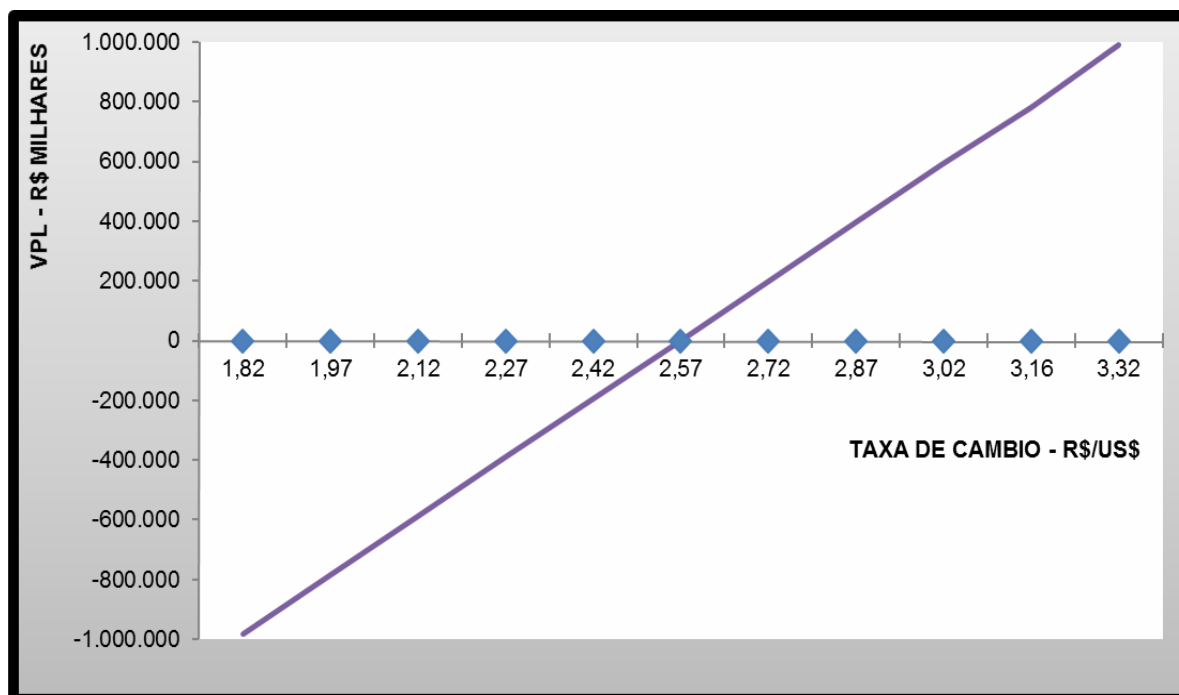


Figura 26 – Variação da taxa de câmbio no cenário 2

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

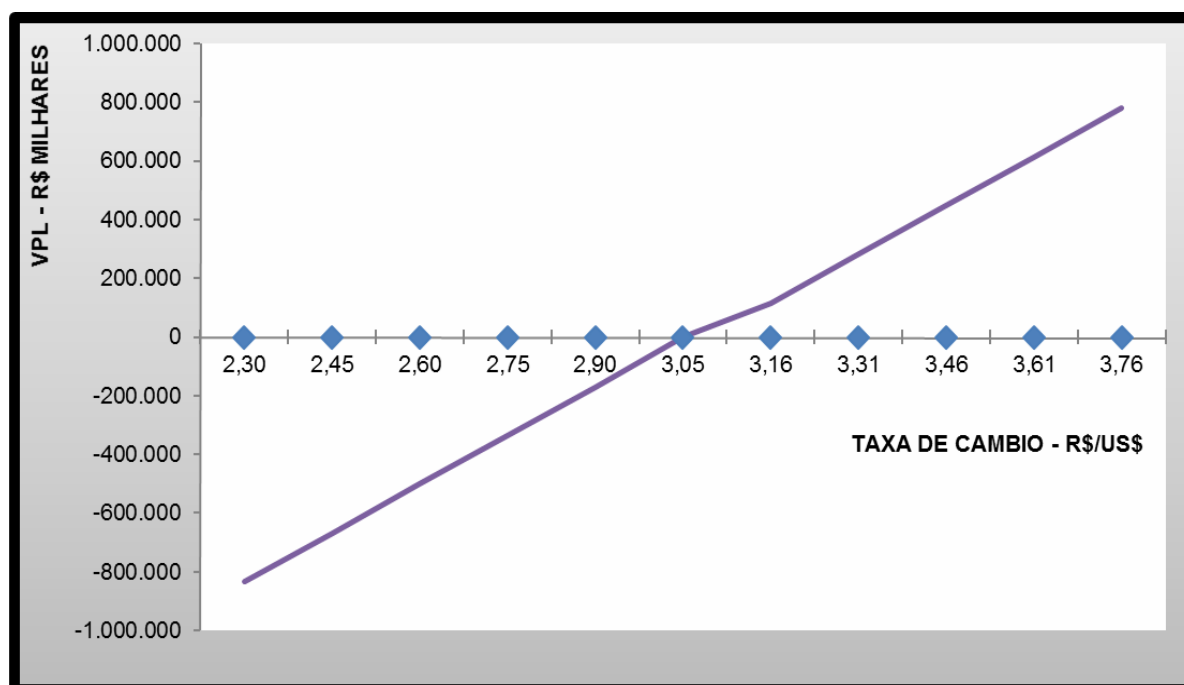


Figura 27 – Variação da taxa de câmbio no cenário 3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A receita é indexada 100% ao dólar, pois o preço de venda do produto é cotado no mercado internacional. Com isso, a variação do câmbio impacta também na variação da receita.

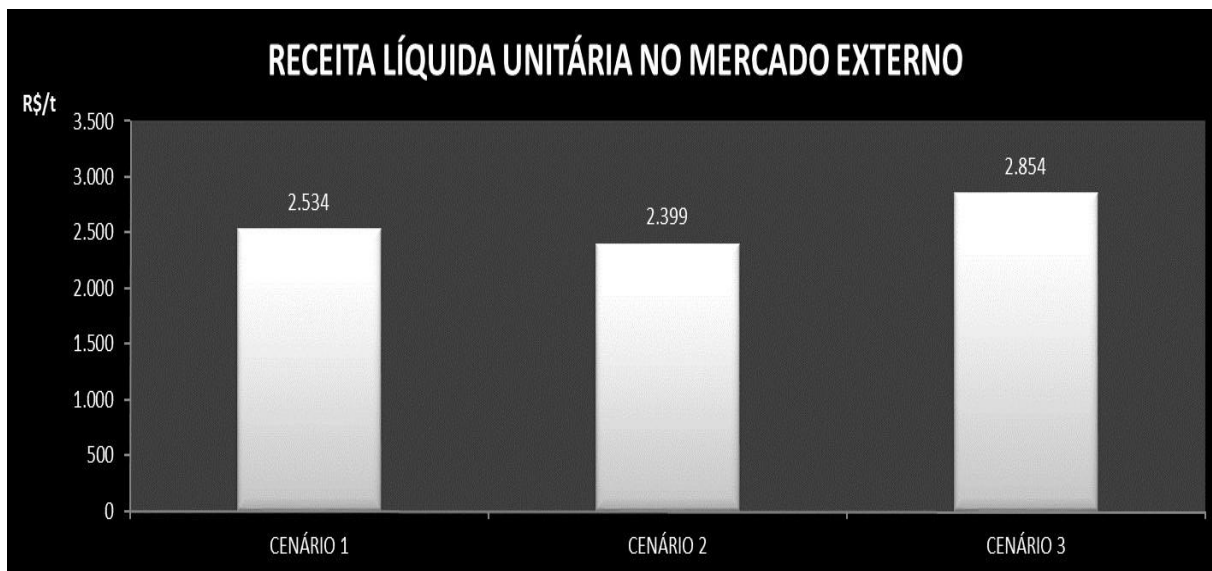


Figura 28 – Variação da receita líquida unitária no mercado externo

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A Figura 28, indica o ponto de nivelamento da receita líquida unitária no mercado externo nos três cenários, em função da variação do câmbio. No caso base (cenário 1), a receita líquida unitária no mercado externo considerado foi de R\$ 2.953/t. Os cenários 1, 2 e 3 admitem, respectivamente, uma redução nesta receita de 14,2% (R\$ 2.534/t), 18,8% (R\$ 2.399/t) e 3,4% (R\$ 2.854/t). Esses são os valores para os quais o VPL é zero em cada cenário. Receitas abaixo desses valores, torna o VPL negativo. Como se esperava, o cenário 3 absorve uma pequena variação na taxa de câmbio.

A disparada dos preços da energia por causa da crise hídrica e do funcionamento das usinas térmicas já causa impacto nos planos da indústria brasileira, que está revendo e até adiando investimentos. Grandes empresas que compram energia no mercado livre – espécie de bolsa que comercializa energia diretamente do gerador em contratos de curto (até seis meses) e longo prazo (acima de seis meses) – estão pagando valores exorbitantes. A crise do setor elétrico também vai deixar mais cara a conta de luz de empresas do mercado cativo, que



recebem energia das distribuidoras (como qualquer outro consumidor) e estão sujeitas às tarifas determinadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Sem uma política de racionalização do consumo por parte do governo, uma parcela da indústria ficou em alerta. As empresas estão mais cautelosas, repensando suas estratégias de investimento e, em alguns casos, até mesmo freando a produção. (Em: <<http://goo.gl/rJGx0M>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2015).

No processo produtivo por ser eletrointensivo, o preço da energia elétrica também tem um efeito expressivo no resultado. A energia elétrica representa mais de 30% do custo variável do produto na rota tecnológica 2.

No caso base (cenário 1), a preço da energia considerado foi de R\$160/MWh. Neste cenário (Figura 29), o projeto pode suportar um acréscimo de até 66% (R\$266/MWh) no valor da energia que ainda se mantém viável.

O cenário 2 (Figura 30), que foi o de melhor resultado, suporta um aumento ainda maior, podendo chegar a R\$308/MWh (92,5% de variação).

Já o cenário 3 (Figura 31), suporta apenas um acréscimo de 13,7% na energia elétrica, ou seja, R\$182/MWh.

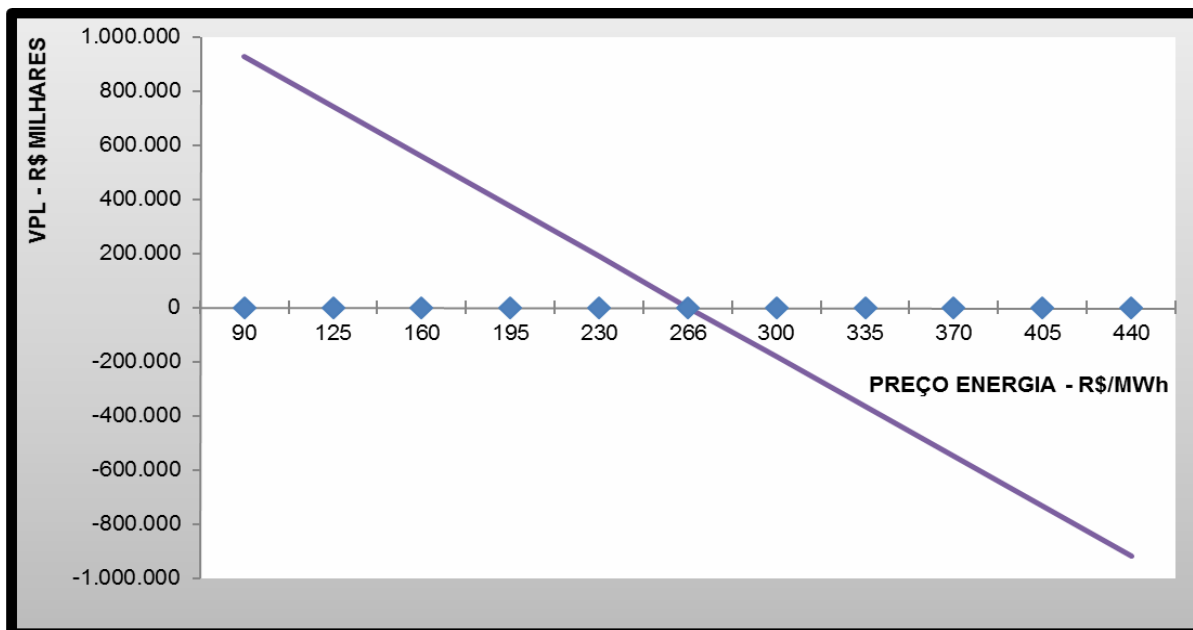


Figura 29 – Variação no preço da energia elétrica no cenário 1

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

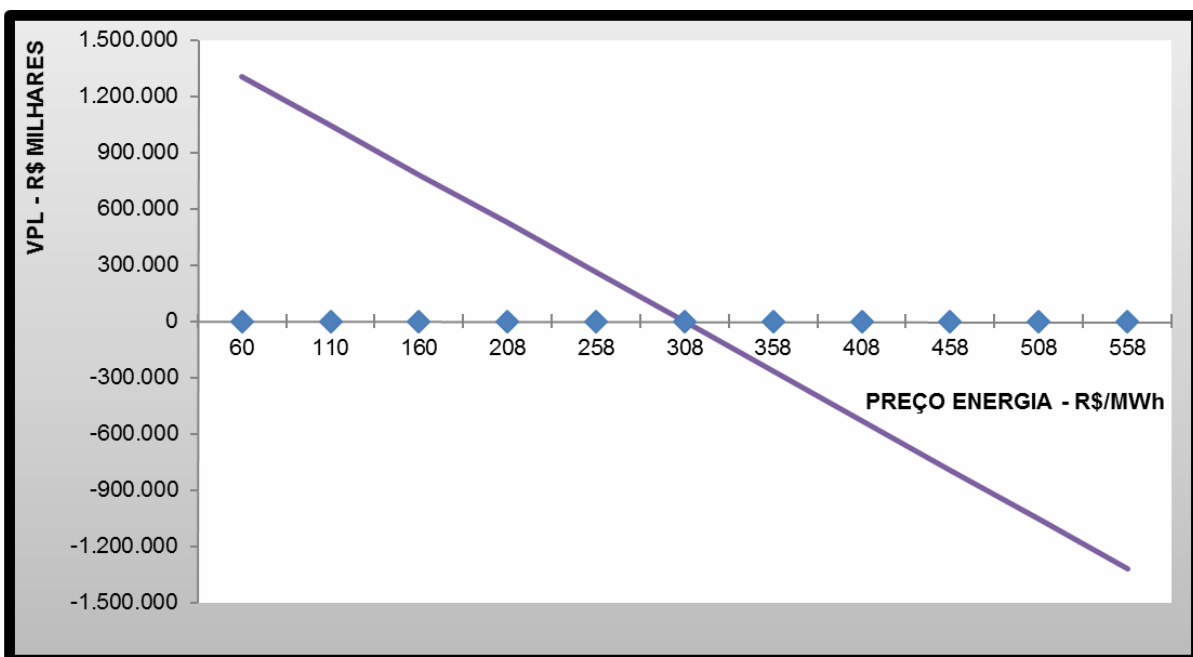


Figura 30 – Variação no preço da energia no cenário 2

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

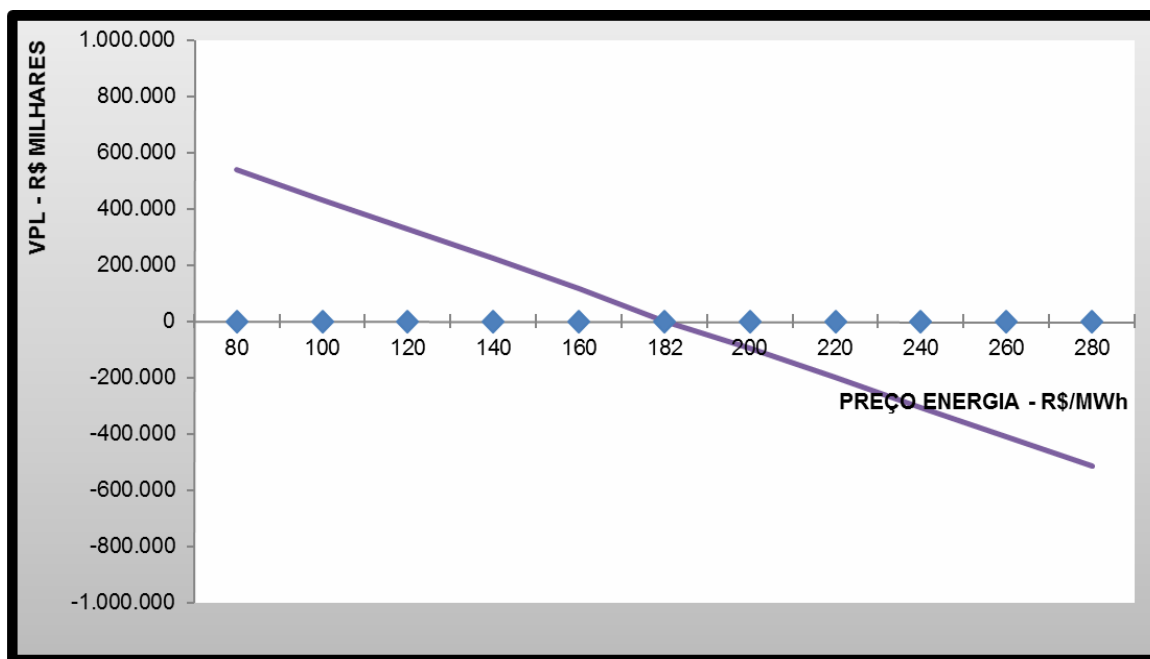


Figura 31 – Variação no preço da energia elétrica no cenário 3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

A análise do risco e da incerteza da rota 2 indicou uma grande probabilidade de sucesso do projeto. Como era de se esperar, o cenário 3 (pessimista) e com os piores indicadores econômicos, foi o que suportou menos às variações quando submetido aos principais fatores que podem impactar mais significativamente no resultado, principalmente, à taxa e câmbio e a receita líquida unitária no mercado externo.

#### 8.4. DESCRIÇÃO GERAL DA ROTA ESCOLHIDA

A rota 2 foi projetada para a produção de 251.583 toneladas de FeCrAC por ano. Matérias-primas, consistindo de minério de cromo *lump*, redutores (coque) e fundentes (quartzo) serão pré-aquecidas antes de ser fundidas em dois fornos

fechados a arco submerso de 63 MVA cada. A planta compreende as seguintes áreas funcionais:

1. Preparação e carregamento de matérias-primas: loteamento preciso de todas as matérias-primas, com base em balanços de massa e energia pré-determinados, para cada um dos fornos.

2. Pré-aquecimento e carregamento da alimentação do forno: pré-aquecimento dos materiais de alimentação loteados, por meio de pré-aquecedores verticais, alimentados a CO, dedicados; seguido por alimentação a quente do forno, por meio de tubos de alimentação revestidos com refratários.

3. Fusão redutora do minério de cromo em dois fornos fechados de arco submerso de corrente alternada.

4. Limpeza do gás de saída forno: lavadores a úmido tipo venturi para limpeza do gás de saída de fornos ricos em CO, antes de sua distribuição para os consumidores de gás da instalação.

5. Área de corrida do forno: serviços de abertura e tamponamento dos canais de corrida, incluindo canhão de lama e máquinas de perfuração, para ajudar no abertura e fechamento dos canais de corridas dos fornos, duas máquinas de lingotamento e quatro bunkers de escória, para escoamento e resfriamento da escória dos fornos.

6. Manuseio do produto final: dimensionamento dos lingotes de FeCr de acordo com as especificações do produto necessário, por meio de britagem primária e secundária e operações de peneiramento, bem como instalações para carregamento em big bags, containers e vagões ferroviários.

7. Controle de poluição do ar secundário: sistemas de despoeiramento para manuseio e preparação de matérias-primas, secagem de coque, manuseio do produto final e fumos na área de corrida dos fornos.

8. Utilidades: abastecimento de água da planta, tratamento e recirculação de água potável, tratamento de água de lavagem dos gases, água do sistema de refrigeração do forno e recirculação de gás CO limpo.

Tal conjunto de funções tem as seguintes características: fornos fechados com elevada escala de produção, recuperação de energia, elevado nível de automação, maior eficiência energética, maior rendimento metálico do cromo.

## 9. CONCLUSÕES

O setor industrial brasileiro de ferroligas busca cada vez mais reduzir os custos da produção, melhorar a eficiência e produtividade e reduzir as emissões ambientais. Dentre as barreiras encontradas para a implantação de projetos com foco em eficiência energética, pode-se citar: desconhecimento das vantagens econômicas e ambientais da conservação e uso racional da energia em inúmeros setores da atividade produtiva, carência de informações sobre as melhores tecnologias e os custos-benefícios a elas associados para as empresas, difícil avaliação dos resultados econômicos alcançados pelas empresas seja pela dificuldade de se calcular os ganhos ou pela falta de percepção dos reais benefícios previstos.

Os crescentes preços de energia elétrica, o aumento do rigor das restrições ambientais e as maiores exigências de produtividade vêm reduzindo a competitividade da produção de FeCrAC baseada na tecnologia atual empregada pela indústria brasileira.

Embora alguns avanços já têm sido alcançados na busca de maior competitividade nas ferroligas, esta dissertação evidenciou que existe uma lacuna para o desenvolvimento de uma metodologia adequada para mapear e definir a rota tecnológica mais adequada para a produção do FeCrAC no Brasil.

BAT – *Best Available Technologies* ou MTD – Melhores Técnicas Disponíveis, tem como propósito ajudar a identificar as tecnologias que são as melhores para o meio ambiente como um todo, e que são economicamente e tecnicamente viáveis e acessíveis para a indústria em questão.

Na primeira etapa deste trabalho foram mapeadas quatro rotas tecnológicas que produzem industrialmente o FeCrAC, sendo:

- Rota 1: operação em forno elétrico de redução aberto e semifechado, com tratamento dos gases em filtros de manga.

- Rota 2: operação em forno elétrico fechado, usualmente utilizando minério *lump* e/ou pelotas sinterizadas, com ou sem pré-aquecimento da carga.
- Rota 3: operação em forno elétrico fechado com alimentação de pelota pré-reduzida.
- Rota 4: operação em forno a arco tipo DC (*Direct Current* – Corrente Contínua).

Para definição da rota mais adequada para a produção do FeCrAC, essas mesmas passaram primeiramente por um filtro de avaliação técnica. Neste filtro foram selecionadas as rotas 1 e 2.

As rotas 3 e 4 foram descartadas pelos elevados níveis de complexidade, investimento e falta de flexibilidade. Essas duas rotas só admitem alimentação a partir do minério de cromo fino. As reservas do minério de cromo brasileiro destinado à produção do FeCrAC são do tipo *lump* e ainda não existem estudos aprofundados que demonstrem o comportamento e o desempenho deste minério nos processos de aglomeração e pré-redução.

A rota 1 apresenta como vantagens a menor necessidade de capital investido e maior flexibilidade no uso de matérias primas. Tem como desvantagens baixa eficiência energética e restrições ambientais, principalmente no controle do cromo hexavalente.

A rota 1 é que vigora até os dias de hoje no Brasil para a produção do FeCrAC. A produção do FeCrAC foi introduzida no Brasil no início dos anos 60 pela empresa FERBASA. Ela é a única produtora de ferroligas de cromo das Américas. A Empresa detém cerca de 85% das reservas brasileiras de cromita, respondendo por 77% da produção deste minério no país. As reservas somam 40 milhões de toneladas, o suficiente para manter a produção por mais de 100 anos, considerando-se a capacidade atual. Nos últimos 5 anos, a Empresa conseguiu exportar somente 6% de sua produção de FeCrAC, evidenciando a falta de competitividade em custos para colocar o produto no mercado externo.

A rota 2 tem como vantagens o pré-aquecimento da carga que resulta na redução do consumo específico e energia, melhor recuperação de cromo e ganho

decorrente de economia de escala. Tem como desvantagens a menor flexibilidade no uso das matérias primas e sistema de tratamento dos gases a úmido.

A avaliação econômico-financeira foi o último filtro para definição da rota mais adequada. Neste filtro, a rota 2 apresentou o melhor resultado em todos os indicadores econômicos. Isso foi demonstrado pelo maior VPL, indicando maior criação de valor para o investidor.

Comparando-se com a rota 1, a adoção da rota 2 muda drasticamente o patamar de competitividade da indústria de FeCrAC no Brasil:

- A produtividade vai de 942 t/ano.homem para 1.864 t/ano.homem.
- Redução em 15% tanto no custo unitário do produto, como na demanda de energia elétrica.
- Recuperação de energia no processo produtivo.
- Redução no consumo específico de energia elétrica de 4.150 kWh/t para 3.580 kWh/t. Isso equivale a uma redução anual no custeio com energia elétrica na ordem de R\$ 22.944.395.
- Redução em mais de 40% no custo fixo, o que corresponde a uma economia anual na ordem de R\$ 44.438.108.
- Atendimento as exigências de saúde, segurança e meio ambiente.

Uma das grandes ameaças para a sobrevivência da indústria de FeCrAC no Brasil é a forte dependência de poucos clientes no mercado interno. A análise do risco e da incerteza mostrou que a rota 2 suporta o cenário 3 - pessimista, que é de exportar 100% da produção. Com isso, mitiga a ameaça de ter poucos clientes no mercado interno e gera a oportunidade de aumento de capacidade, pois o excedente de produção poderia ser exportado. Caso não haja o incentivo fiscal da SUDENE, o projeto suporta exportar no máximo 96% da produção.

Como era de se esperar, a análise de sensibilidade mostrou que o cenário 3 - pessimista, suporta pouco variação para os parâmetros taxa de câmbio e receita líquida unitária no mercado externo.

A indústria tende ser avessa ao risco e raramente opta por tecnologias que ainda não domina totalmente. Este é o caso da indústria de ferroligas brasileira, onde, também, as decisões são extremamente influenciadas pelo custo de investimento e não pelos benefícios dos custos operacionais, ganhos ambientais e



na condição de trabalho associados com a tecnologia selecionada. O propósito deste trabalho foi estabelecer uma metodologia que possa aumentar a credibilidade e a sensibilização para a adoção dessas rotas tecnológicas.

A partir da metodologia adotada neste trabalho, a rota 2 indica ser candidata a BAT para a produção de FeCrAC no Brasil.

### 9.1. SUGESTÕES PARA POSTERIORES PESQUISAS

Alguns estudos poderiam complementar a pesquisa realizada. São eles:

A. Avaliar o comportamento e o desempenho do minério de cromo jacurici nos processos de aglomeração e pré-redução.

B. A fusão redutora é a mais importante, tanto do ponto de vista de produção física quanto sob o aspecto do consumo de energia. No entanto, cerca de 20% do consumo de energia que está associado aos equipamentos tidos como não produtivos e que, muitas vezes, fica negligenciada a otimização da parcela dessa energia. Recomenda-se, então, estudo de alternativas de eficiência energética para essa parcela não produtiva.

C. Avaliar a aplicação da metodologia adotada nessa dissertação nos demais tipos de ferroligas, principalmente nas ferroligas a base de manganês.

## REFERÊNCIAS

ABINOX. Disponível em: <<http://www.abinox.org.br/aco-inox-estatisticas-anuais.php>>  
Acesso em: 30 de julho de 2015.

ABRADEE. **A Indústria de Energia Elétrica**. Brasília, 2014. Disponível em:  
<[www.abradee.org.br](http://www.abradee.org.br)>. Acesso em: 23 de agosto de 2015.

ABRAFE. Disponível em: <<http://www.abrafe.ind.br/o-setor/dados-relevantes-do-setor>>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

ABREU, J. C. F. F. et al. **Finanças corporativas**. Rio de Janeiro : FGV, 2003.

BERMANN, C. O setor de eletrointensivos. **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: Oportunidades e desafios**. Brasília, p. 29-34, jun. 2012.

BERMANN, C. **Indústrias Eletrointensivas e Auto produção: propostas para uma política energética de resgate do interesse público**. São Paulo: USP, 2003.

BEUKES, J.P., DAWSON, N.F.; ZYL, P.G. Theoretical and practical aspects of Cr(VI) in the South African ferrochrome industry. **INFACON XII**, Helsink, p. 53-62, jun. 2010.

BNDES. **Panorama da indústria mundial de ferroligas**, Rio de Janeiro, set. 1999. Disponível:<<https://goo.gl/d1ZQvg>>. Acesso em: 02 de agosto de 2015.

BONINI, M. R. **Tarifas de Energia Elétrica: Evolução nos Últimos Anos e Perspectivas**. São Paulo, 2011.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Rio de Janeiro : Elsevier, 1984.

CAPITAL ABERTO. Disponível em: <<http://goo.gl/kmGTAH>>. Acesso em : 03 de dezembro de 2015.

CAVALCANTE. **Como analisar projetos independentes e excludentes**. Disponível em: <<http://goo.gl/FiifPR>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.

CENÁRIOMT. **Consumo de energia menor poderá render reembolso fiscal à indústria eletrointensiva**. Disponível em: <<http://goo.gl/aOzpsv>>. Acesso em: 18 de julho de 2015.

CHENEVIER, H. Techniques de L'engénieur. **Métallurgie des Ferro Alliages**. 1998.

DAAVITTILA, J.; HONKANIEMI, M.; JOKINEN, P. The transformation of ferrochromium smelting technologies during the last decades. **INFACON X**, Cape Town, p. 432-443, fev. 2004.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.dnmp.gov.br/dnmp/paginas/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro-2010>>. Acesso em: 07 de julho de 2015.

EDMS. Disponível em: <<http://goo.gl/Tae3LZ>>. Acesso em: 14 de novembro de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 - Ano Base 2013**, Rio de Janeiro, out. 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 26 de julho de 2015.

ERIC, R. H. Production of FerroAlloys. **Treatise on Process Metallurgy**. Oxford, v. 3, p. 477-531, 2014.

FIRJAN. **Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?** Rio de Janeiro, ago. 2011. Disponível em: <[www.firjan.org.br](http://www.firjan.org.br)>. Acesso em: 19 de julho de 2015.

GASIK, M. **Handbook of ferroalloys: Theory and Technology**. Oxford: Elsevier, 2013.

GAZETA DO POVO. **Alto custo com energia puxa o freio da indústria**. Disponível em: <<http://goo.gl/rJGx0M>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2015.

GOEL, R.P. **Smelting Technologies for Ferrochromium Production - Recents Trends**. Jamshedpur : A.K. VaishSingh, N.G. Goswami and P. Ramachandrarao, 1997.

HOLAPPA, L. Towards Sustainability in Ferroalloys Production. **INFACON XII**, Helsinki, p. 1-10, jun. 2010.

ICDA. **Statistical Bulletin**. Paris, 2015.

ICDA. **Discorver Chromium - Ore Processing**. 2011. Disponível em: <<http://www.icdacr.com>>. Acesso em: 01 de setembro de 2015.

ICDA. **Global Overview of the Chrome Ore Market**. Paris, 2013.

INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM (ISSF). **Stainless steel in figures 2014**. Bruxelas, mai. 2014. Disponível em: <<http://wordlstainless.org>> Acesso em: 15 de abril de 2015.

JOINT RESEARCH CENTRE (JRC). **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries**. Seville, dez. 2001. Disponível em: <<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

JOINT RESEARCH CENTRE (JRC). **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries**. Seville, out. 2014. Disponível em: <<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

KAPURE, G. et al. Use of Chemical Energy in Submerged Arc Furnace to Produce Ferrochrome: Prospects and Limitations. **INFACON XI**, New Delhi, p. 165-170, fev. 2007.

LANDAM, Y.; MERETE, T.; RAVARY, B. Energy Mapping of Industrial Ferroalloy Plants. **INFACON XIII**, Almat, Vol. II, p. 919-924, jun. 2013.

LEITE, A. A. F.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética para a Indústria: Relatório Setorial: Setor de Ferroligas**. Brasília : CNI, 2010.

LÚCIO, A. et al. **Metalurgia dos Ferroligas**. Belo Horizonte : UFMG, Departamento de Engenharia Metalúrgica, vol. II, 1980.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro : CETEM/MCT, 2010.

MARTINS, G.J. 2004. **A methodology to identify, quantify and verifiy cost benefits of energy and process improvement opportunities in a ferro-metal production plant**. 2004. 177 f. Dissertação (Mestrado) - School of Mechanical and Materials Engineering at the North-West University, Potchefstroom, 2004.

MEDOVAR, L.B. et al. On probable ways of steelmaking and ferroalloy industry development. **INFACON XIV**, Kiev, Vol. II, p. 772-779, jun. 2015.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://mme.gov.br>>. Acesso em: 02 de agosto de 2015.

NAIKER, O. The development and advantages of Xstrata's premus process. **INFACON XI**, New Delhi, p.112-119, fev. 2007.

NELSON, L. R. **Evolution of the mega-scale in ferro alloy electric furnace smelting**. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2014.

PESSOA, V. M. N.; OLIVEIRA, R. F. A. A. Uma Discussão à Ótica da Inovação Tecnológica - Barreiras e Desafios na Busca da Eficiência Energética. **Revista Produção On Line**, São Paulo, v. 2, n. 1, jun. 2002.

PILLIHUAMAN, Z. **Auto-redução e fusão de pelotas auto-redutoras de cromita**. 2009. 197 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 1999.

RINGDALEN, E. **The High Carbon Ferrochromium Process, Reduction Mechanisms**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado). Department of Materials Technology and Electrochemistry The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 1999.

ROCHA, M.; RINGDALEN, E.; FIGUEIREDO, P. Energy consumption during HCFerCr production at FERBASA. **INFACON XIV**, Kiev, Vol. II, p. 668-675, jun. 2015.

SAMPAIO, J. A.; CARVALHO, E. A.; FONSECA, B. F. **Cromita – Mina Ipueira - FERBASA**. Rio de Janeiro, dez. 2002.

SILVERIA, R. C.; ALMEIDA, A. M. M. Possibilidade de Redução no Consumo de Energia e Aumento de Produção na Fabricação de Ferroligas. **VIII Seminário da COFOR, II Seminário de Ferroligas**, 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo : ATLAS, 2002.

SLATTER, D.D. Technological Trends in Chromium Unit Production and Supply. **INFACON VII**, Trondheim, p. 249-262, jun. 1995.

TAKANO, C. Processos de preparação de matérias primas siderúrgicas. **Introdução a Siderurgia**. São Paulo, cap. 2, 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/ttxWBF>>. Acesso em: 04 de novembro de 2015.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. **A matriz energética brasileira na virada do milênio**. Rio de Janeiro : ENERGE-COPPE/UFRJ, 2000.

UNIDO. **Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies**. Vienna, 2008. Disponível em: <<http://www.unido.org/index.php?id=o71852>>. Acesso em: 05 de agosto de 2015.

VANHANEN, M. R. **Finnish expert on best available techniques in ferrochromium production**. Helsink, 1999. Disponível em: <<https://goo.gl/Oufs2j>>. Acesso em: 06 de maio de 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Perspective - Energy Efficiency Technologies**. Londres, 2013.

WORLD MINERAL STATISTICS. **World mineral statistics data**. Disponível em: <<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS>>. Acesso em: 30 de julho de 2015.

ZHUCHKOV, V. I.; ZAYAKIN, O.V.; ZHDANOV, A.V. Utilization of substandard and off-grade raw materials for chromium and manganese ferroalloys production. **INFACON XII**, Helsink, p. 311-315, jun. 2010.

## APÊNDICE A – Taxa de câmbio (R\$/US\$)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Janeiro</i>	3,435	2,851	2,693	2,274	2,139	1,774	2,307	1,778	1,675	1,791	2,031	2,382	2,638
<i>Fevereiro</i>	3,59	2,93	2,598	2,162	2,096	1,728	2,313	1,842	1,668	1,718	1,973	2,384	2,817
<i>Março</i>	3,446	2,906	2,705	2,152	2,089	1,708	2,314	1,786	1,659	1,795	1,983	2,326	3,14
<i>Abril</i>	3,119	2,906	2,579	2,129	2,033	1,689	2,206	1,757	1,586	1,855	2,002	2,233	3,044
<i>Mai</i>	2,956	3,1	2,452	2,204	1,982	1,661	2,061	1,813	1,614	1,986	2,035	2,221	3,064
<i>Junho</i>	2,883	3,129	2,413	2,248	1,932	1,619	1,958	1,807	1,587	2,049	2,173	2,236	3,111
<i>Julho</i>	2,879	3,037	2,374	2,189	1,882	1,591	1,93	1,77	1,564	2,029	2,252	2,225	3,224
<i>Agosto</i>	3,002	3,003	2,361	2,156	1,966	1,612	1,845	1,76	1,597	2,029	2,342	2,268	3,515
<i>Setembro</i>	2,923	2,891	2,294	2,169	1,9	1,8	1,82	1,719	1,75	2,028	2,27	2,333	3,896
<i>Outubro</i>	2,862	2,853	2,257	2,148	1,801	2,173	1,738	1,684	1,773	2,029	2,189	2,448	
<i>Novembro</i>	2,914	2,786	2,21	2,158	1,77	2,266	1,726	1,713	1,791	2,067	2,297	2,538	
<i>Dezembro</i>	2,927	2,72	2,283	2,15	1,787	2,398	1,751	1,695	1,837	2,08	2,345	2,644	
<i>média</i>	3,08	2,93	2,43	2,18	1,95	1,83	2,00	1,76	1,68	1,95	2,16	2,35	3,16

Fonte: [http://economia.acspservicos.com.br/indicadores\\_ieg/ieg\\_dolar.html](http://economia.acspservicos.com.br/indicadores_ieg/ieg_dolar.html)

## APÊNDICE B – Plano de produção (t) e receita (R\$) nos cenários 1, 2, 3

PLANO DE PRODUÇÃO - CENÁRIO 1		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
CAPACIDADE INSTALADA		0%	80%	100%	100%	100%	100%
PRODUÇÃO TOTAL		-	201.267	251.583	251.583	251.583	251.583
MERCADO INTERNO	50%	-	100.633	125.792	125.792	125.792	125.792
MERCADO EXTERNO	50%	-	100.633	125.792	125.792	125.792	125.792

RECEITA LÍQUIDA		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
TOTAL		-	667.528.044	834.410.054	834.410.054	834.410.054	834.410.054
MERCADO INTERNO		-	370.370.016	462.962.520	462.962.520	462.962.520	462.962.520
MERCADO EXTERNO		-	297.158.027	371.447.534	371.447.534	371.447.534	371.447.534

PLANO DE PRODUÇÃO - CENÁRIO 2		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
CAPACIDADE INSTALADA		0%	80%	100%	100%	100%	100%
PRODUÇÃO TOTAL		-	201.267	251.583	251.583	251.583	251.583
MERCADO INTERNO	75%	-	150.950	188.687	188.687	188.687	188.687
MERCADO EXTERNO	25%	-	50.317	62.896	62.896	62.896	62.896

RECEITA LÍQUIDA		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
TOTAL		-	704.134.038	880.167.547	880.167.547	880.167.547	880.167.547
MERCADO INTERNO		-	555.555.024	694.443.780	694.443.780	694.443.780	694.443.780
MERCADO EXTERNO		-	148.579.014	185.723.767	185.723.767	185.723.767	185.723.767

PLANO DE PRODUÇÃO - CENÁRIO 3		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
CAPACIDADE INSTALADA		0%	80%	100%	100%	100%	100%
PRODUÇÃO TOTAL		-	201.267	251.583	251.583	251.583	251.583
MERCADO INTERNO	0%	-	-	-	-	-	-
MERCADO EXTERNO	100%	-	201.267	251.583	251.583	251.583	251.583

RECEITA LÍQUIDA		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
TOTAL		-	594.316.055	742.895.069	742.895.069	742.895.069	742.895.069
MERCADO INTERNO		-	-	-	-	-	-
MERCADO EXTERNO		-	594.316.055	742.895.069	742.895.069	742.895.069	742.895.069

Fonte: PRÓPRIO AUTOR



## APÊNDICE C – Capital de giro

CAPITAL DE GIRO (NCG)	unid	Valor
CLIENTES	dias	38
ESTOQUE	dias	90
FORNECEDORES	dias	25
TOTAL	dias	103
PERCENTUAL DA RECEITA LÍQUIDA	%	28,6%

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

## APÊNDICE D – Fluxo de caixa da rota 1 em R\$

FLUXO DE CAIXA						
	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
RECEITA LÍQUIDA	-	667.528.044	834.410.054	834.410.054	834.410.054	834.410.054
CUSTO DOS PRODUTOS VENDIDOS	-	516.453.407	618.629.543	618.629.543	618.629.543	618.629.543
LUCRO OPERACIONAL BRUTO	-	151.074.637	215.780.512	215.780.512	215.780.512	215.780.512
DESPESAS OPERACIONAIS	-	46.993.974	58.742.468	58.742.468	58.742.468	58.742.468
COMERCIAIS E VENDAS 1,20%	-	8.010.337	10.012.921	10.012.921	10.012.921	10.012.921
GERAIS E ADMINISTRATIVAS 5,84%	-	38.983.638	48.729.547	48.729.547	48.729.547	48.729.547
LUCRO OPERACIONAL LÍQUIDO (EBITDA) <sup>1</sup>	-	104.080.662	157.038.044	157.038.044	157.038.044	157.038.044
DEPRECIÇÃO E AMORTIZAÇÃO	-	23.840.704	23.840.704	23.840.704	23.840.704	23.840.704
LUCRO ANTES DO PAGAMENTO DE JUROS E IR (EBIT) <sup>2</sup>	-	80.239.958	133.197.340	133.197.340	133.197.340	133.197.340
IMPOSTOS	-	27.281.586	45.287.096	45.287.096	45.287.096	45.287.096
IMPOSTO DE RENDA 25%	-	20.059.990	33.299.335	33.299.335	33.299.335	33.299.335
CSLL 9%	-	7.221.596	11.987.761	11.987.761	11.987.761	11.987.761
RESULTADO LÍQUIDO OPERACIONAL	-	52.958.372	87.910.244	87.910.244	87.910.244	87.910.244
RETORNO DEPRECIÇÃO	-	23.840.704	23.840.704	23.840.704	23.840.704	23.840.704
INCENTIVO SUDENE 75% DO IR	-	15.044.992	24.974.501	24.974.501	24.974.501	24.974.501
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL	-	91.844.069	136.725.449	136.725.449	136.725.449	136.725.449
INVESTIMENTO TOTAL	667.801.270	47.746.798	-	-	-	-
INVESTIMENTO PERMANENTE	476.814.080	-	-	-	-	-
INVESTIMENTO CAPITAL DE GIRO	190.987.190	47.746.798	-	-	-	-
RECUPERAÇÃO CAPITAL DE GIRO	-	-	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL LÍQUIDO	-667.801.270	44.097.271	136.725.449	136.725.449	136.725.449	136.725.449
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL LÍQUIDO DESCONTADO	-	-	-	-	-	-
FLUXO ACUMULADO	-667.801.270	-623.703.999	-486.978.550	-350.253.100	-213.527.651	-76.802.201

<sup>1</sup> Earnings before interest, tax, depreciation and amortization = lucro antes de impostos, juros, depreciação e amortização

<sup>2</sup> Earnings before interest and tax = lucro antes de impostos e juros

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

## APÊNDICE E – Capex da rota 1

<b>CAPEX PARA A ROTA 1</b>	<b>R\$</b>
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E MECÂNICOS	149.242.800
SISTEMA DE MATÉRIA PRIMA	20.976.080
EDIFICAÇÕES	36.624.000
SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO	111.180.000
SERVIÇO PARA CONSTRUÇÃO DO FORNO	50.881.200
SERVIÇO EDIFICAÇÃO	68.670.000
MÃO DE OBRA PRÓPRIA	39.240.000
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>476.814.080</b>
<b>Fonte: FERBASA</b>	



## APÊNDICE G – Fluxo de caixa da rota 2 em R\$

FLUXO DE CAIXA		ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
RECEITA LÍQUIDA		-	667.528.044	834.410.054	834.410.054	834.410.054	834.410.054
CUSTO DOS PRODUTOS VENDIDOS		-	436.230.851	529.460.875	529.460.875	529.460.875	529.460.875
CUSTOS VARIÁVEIS		-	272.920.095	466.150.119	466.150.119	466.150.119	466.150.119
CUSTOS FIXOS		-	63.310.756	63.310.756	63.310.756	63.310.756	63.310.756
LUCRO OPERACIONAL BRUTO		-	231.297.192	304.949.179	304.949.179	304.949.179	304.949.179
DESPESAS OPERACIONAIS		-	46.993.974	58.742.468	58.742.468	58.742.468	58.742.468
COMERCIAIS E VENDAS 1,20%		-	8.010.337	10.012.921	10.012.921	10.012.921	10.012.921
GERAIS E ADMINISTRATIVAS 5,84%		-	38.983.638	48.729.547	48.729.547	48.729.547	48.729.547
Redução de 20% devido ganho de escala.		-	-	-	-	-	-
LUCRO OPERACIONAL LÍQUIDO (EBITDA) <sup>1</sup>		-	184.303.218	246.206.712	246.206.712	246.206.712	246.206.712
DEPRECIÇÃO E AMORTIZAÇÃO		-	29.630.108	29.630.108	29.630.108	29.630.108	29.630.108
LUCRO ANTES DO PAGAMENTO DE JUROS E IR (EBIT) <sup>2</sup>		-	154.673.110	216.576.604	216.576.604	216.576.604	216.576.604
IMPOSTOS		-	52.588.858	73.636.045	73.636.045	73.636.045	73.636.045
IMPOSTO DE RENDA 25%		-	38.668.278	54.144.151	54.144.151	54.144.151	54.144.151
CSLL 9%		-	13.920.580	19.491.894	19.491.894	19.491.894	19.491.894
RESULTADO LÍQUIDO OPERACIONAL		-	102.084.253	142.940.559	142.940.559	142.940.559	142.940.559
RETORNO DEPRECIÇÃO		-	29.630.108	29.630.108	29.630.108	29.630.108	29.630.108
INCENTIVO SUDENE 75% DO IR		-	29.001.208	40.608.113	40.608.113	40.608.113	40.608.113
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL		-	160.715.569	213.178.780	213.178.780	213.178.780	213.178.780
INVESTIMENTO TOTAL		783.589.343	47.746.798	-	-	-	-
INVESTIMENTO PERMANENTE		592.602.153	-	-	-	-	-
INVESTIMENTO CAPITAL DE GIRO		190.987.190	47.746.798	-	-	-	-
RECUPERAÇÃO CAPITAL DE GIRO		-	-	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL LÍQUIDO		-783.589.343	112.968.771	213.178.780	213.178.780	213.178.780	213.178.780
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL LÍQUIDO DESCONTADO		-783.589.343	-670.620.572	-457.441.792	-244.263.013	-31.084.233	182.094.546
FLUXO ACUMULADO		-783.589.343	-670.620.572	-457.441.792	-244.263.013	-31.084.233	182.094.546

<sup>1</sup> Earnings before interest, tax, depreciation and amortization = lucro antes de impostos, juros, depreciação e amortização

<sup>2</sup> Earnings before interest and tax = lucro antes de impostos e juros

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

## APÊNDICE H – Capex da rota 2

CAPEX PARA A ROTA 2		US\$
ENGENHARIA E GERENCIAMENTO DO PROJETO	ÍNDICE	<b>02 FORNOS</b> 6.826.500
SISTEMA DE MATÉRIA PRIMA		9.957.000
PRÉ AQUECEDOR		7.960.000
FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO		18.000.000
TRATAMENTO DOS GASES		10.220.000
SISTEMAS AUXILIARES		6.334.500
CONTROLE ELÉTRICO E INSTRUMENTAÇÃO		6.252.000
<b>SUBTOTAL</b>		<b>65.550.000</b>
TRANSPORTE - 6%	6%	3.933.000
CIVIL E ESTRUTURAS - 50 A 100%	100%	65.550.000
INSTALAÇÕES - 30 A 50%	50%	32.775.000
<b>SUBTOTAL</b>		<b>121.923.000</b>
<b>TOTAL GERAL (DOLAR)</b>		<b>\$187.473.000</b>
<b>TOTAL GERAL (REAL)</b>		<b>R\$ 592.414.680</b>
Fonte: TENOVA		



## APÊNDICE J – Balanço térmico da rota 1

Temperatura de operação	1638	1911	K									
Temperatura referência	25	298	K									
Perda de calor	% 20,0											
	kWh 28,7											
[Cp= Cal/(mol*K)]												
	A	B	C	D	Temp. K		T1	T2	kg/h	kmol	kcal/kmol	kWh, T
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	6	2	-1	2603	s	298	1911	44,39	0,29	49033,7	
	38				3000	l	1	1				16,7
FeO	12	2	-1		1650	s	298	1650	12,71	0,18	18909,9	
	16				3687	l	1650	1911			4256,9	4,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23	19	-4		953	s	298	953	6,05	0,04	22187,6	
	-284	307	963	-82	1700	s	953	1911			32658,8	2,4
CaO	12	1	-2		3200	s	298	1911	1,61	0,03	20586,3	
	15				3500	l	1	1				0,7
MgO	11	1	-3	0	3105	s	298	1911	23,05	0,58	19524,5	
	16				4000	l	1	1				12,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	6	-7		800	s	298	800	17,95	0,18	12726,2	
	29	2	-12		2327	s	800	1911			34475,0	
	35				3500	l	1	1				0,7
SiO <sub>2</sub>	14	0	-3	7	847	s	298	847	16,33	0,27	8184,1	
	14	2	0		1079	s	847	1079			3802,9	
	17	0	-10	0	1996	s	1079	1911			14458,0	
	21				3000	l	1911	1911				8,4
TiO <sub>2</sub>	17	2	-4	0	2143	s	298	1911	3,10	0,04	28400,2	
	24				3000	l	1	1				1,2
C	0	9	0	-4	1100	s	298	1100	16,49	1,37	3344,9	
	6	0	-8		4073	s	1100	1911			4573,3	12,7
SiC											kWh/kg 0,55	
H <sub>2</sub> O+VOL									1,63		kWh/kg 1,19	1,9
									<b>subtotal</b>			<b>71,51</b>
<b>FUSÃO</b>												
	Delta Hm, kcal/mol		#mol/h	Kcal	KWH							
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4200		0,3	1226,6	1,4							
FeO	7490		0,2	1322,4	1,5							
SiO <sub>2</sub>	2100		0,3	571,5	0,7							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26000		0,2	4575,4	5,3							
MgO	18500		0,6	10662	12,4							
CaO	12240		0,0	352,2	0,4							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33000		0,0	1248,5	1,5							
TiO <sub>2</sub>	11400		0,0	441,8	0,5							
<b>sub total</b>					<b>23,7</b>							
<b>REDUÇÃO</b>												
	kWh	por kg de	kg/h	KWH								
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 3C = 2Cr + 3CO	1,4	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,8	48,7								
FeO + C = Fe + CO	0,5	FeO	16,0	8,5								
SiO <sub>2</sub> + 2C = Si + 2CO	3,3	SiO <sub>2</sub>	3,1	10,2								
3Fe+Si=Fe <sub>3</sub> Si	-1,6	Si	1,5	-2,3								
6C + 23Cr = Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	-1,8	C	3,1	-5,6								
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiC = 2Cr + SiO <sub>2</sub> + CO	0,3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										
3FeO + SiC = 3Fe + CO + SiO <sub>2</sub>	-0,2	FeO										
TiO <sub>2</sub> + 2C = Ti + 2CO	2,5	TiO <sub>2</sub>	1,4	3,5								
<b>sub total</b>				<b>59,6</b>								
<b>KWh/t de Metal</b>												
Energia total requerida	MWH		4,1									
Produção de metal	t		1,0									
Produção vendável	t		1,0									
<b>Consumo específico de energia</b>	<b>MWh/t</b>		<b>4,14</b>									
<b>Calor latente do CO (g)</b>												
A	B	C	D	1588	700	kcal/mol	kg/h CO	kcal	KWh	KWh/t		
6	2	0	0	1861	973	-7311,65	36,86	-9623,99	-11,2	-11,2		

Fonte: PRÓPRIO AUTOR



## APÊNDICE K – Balanço térmico da rota 2

Temperatura de operação, °C	1638	1911	K									
Temperatura de referência, °C	550	823	K									
Perda de calor	% 20,0											
	kWh 24,7											
[Cp= Cal/(mol*K)]												
	A	B	C	D	Temp. K		T1	T2	kg/h	kmol	kcal/kmol	kWh, T
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	6	2	-1	2603	s	823	1911	44,39	0,29	33998,5	
	28				2000	l	1	1				11,5
FeO	12	2	-1		1650	s	823	1650	12,71	0,18	12098,8	
	16				3687	l	1650	1911			4256,9	3,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23	19	-4		953	s	823	953	6,05	0,04	5142,0	
	-284	307	963	-82	1700	s	953	1911			32658,8	1,7
CaO	12	1	-2		3200	s	823	1911	1,61	0,03	14397,3	
	15				2500	l	1	1				0,5
MgO	11	1	-3	0	3105	s	823	1911	23,05	0,58	13762,8	
	16				4000	l	1	1				0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	6	-7		800	s	823	800	17,95	0,18	-663,8	
	29	2	-12		2327	s	800	1911			34475,0	
	25				2500	l	1	1				6,0
SiO <sub>2</sub>	14	0	-3	7	847	s	823	847	16,33	0,27	434,1	
	14	2	0		1079	s	847	1079			3802,9	
	17	0	-10	0	1996	s	1079	1911			14458,0	
	21				3000	l	1911	1911				5,9
TiO <sub>2</sub>	17	2	-4	0	2143	s	823	1911	3,10	0,04	19914,0	
	24				2000	l	1	1				0,0
C	0	9	0	-4	1100	s	823	1100	16,49	1,37	1403,8	
	6	0	-8		4073	s	1100	1911			4573,3	9,6
SiC											kWh/kg 0,55	
H <sub>2</sub> O+VOL									1,63		kWh/kg 1,19	1,9
									<b>sub total</b>			<b>51,51</b>
<b>FUSÃO</b>												
	Delta Hm, kcal/mol		#mol/h	Kcal	KWH							
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4200		0,3	1226,6	1,4							
FeO	7490		0,2	1322,4	1,5							
SiO <sub>2</sub>	2100		0,3	571,5	0,7							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26000		0,2	4575,4	5,3							
MgO	18500		0,6	10662	12,4							
CaO	12240		0,0	352,2	0,4							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33000		0,0	1248,5	1,5							
TiO <sub>2</sub>	11400		0,0	441,8	0,5							
<b>sub total</b>					<b>23,7</b>							
<b>REDUÇÃO</b>												
	kWh	por kg de	kg/h	KWH								
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 3C = 2Cr + 3CO	1,4	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,8	48,7								
FeO + C = Fe + CO	0,5	FeO	16,0	8,5								
SiO <sub>2</sub> + 2C = Si + 2CO	3,3	SiO <sub>2</sub>	3,1	10,2								
3Fe+Si=Fe <sub>3</sub> Si	-1,6	Si	1,5	-2,3								
6C + 23Cr = Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	-1,8	C	3,1	-5,6								
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiC = 2Cr + SiO <sub>2</sub> + CO	0,3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										
3FeO + SiC = 3Fe + CO + SiO <sub>2</sub>	-0,2	FeO										
TiO <sub>2</sub> + 2C = Ti + 2CO	2,5	TiO <sub>2</sub>	1,4	3,5								
<b>sub total</b>					<b>59,6</b>							
<b>KWH/ton de Metal</b>												
Energia total requerida	MWh		3,6									
Produção de metal	t		1,0									
Produção vendável	t		1,0									
<b>Consumo específico de energia</b>	<b>MWh/t</b>		<b>3,56</b>									
<b>Calor latente do CO (g)</b>												
A	B	C	D	1588	700	kcal/mol	kg/h CO	kcal	KWh	KWh/t		
6	2	0	0	1861	973	-7311,65	36,86	-9623,99	-11,2	-11,2		

Fonte: PRÓPRIO AUTOR

## ANEXO A – ITR – Informações Trimestrais (SET/15) da FERBASA

### 2 SUMÁRIO

Líder em seu segmento, a FERBASA é a única produtora de ferro-cromo integrada das Américas, exercendo as atividades de mineração, metalurgia, plantio de eucalipto e produção de biorredutor. Os principais produtos fabricados são: as ligas de ferro-cromo alto carbono (FeCrAC), ferro-cromo baixo carbono (FeCrBC), ferrossilício cromo (FeSiCr) e ferrossilício (FeSi) que se destinam ao setor siderúrgico e de aços inoxidáveis, sendo o cromo neste último, um elemento indispensável na sua fabricação. Os maiores produtores brasileiros de aço inoxidável são a Aperam (antiga Acesita), Villares Metals e Grupo Gerdau. A Aperam, como único produtor integrado da América Latina de aços planos inoxidáveis, é o maior cliente da FERBASA, respondendo por 43% de suas vendas totais.

Além da posição de única produtora de ferro-cromo das Américas, a FERBASA possui mais de 95% das reservas de cromita do Brasil, com 02 complexos de mina para produção do minério de cromo. Em 1963, a Companhia iniciou a operação metalúrgica para produção de ferro-cromo, que passou a atender o mercado doméstico e internacional para produção de aços inoxidáveis. Em 1986, teve início a produção de ferrossilício, permitindo, em 1995, uma parceria com a Marubeni e JMC para produzir uma liga de alta pureza em atendimento ao mercado japonês. Na cadeia de produção do ferrossilício, o biorredutor é um importante insumo, utilizando em sua fabricação 100% de eucalipto de florestas próprias. Atualmente a planta metalúrgica opera com 14 fornos elétricos no município de Pojuca-BA, e está entre as maiores indústrias eletrointensivas do Nordeste, demandando aproximadamente 200 MW médios.

Em 1975, José Carvalho transferiu grande parte de suas ações na FERBASA para uma fundação filantrópica (“endowment”) que abrange 12 estabelecimentos de ensino e atende cerca de 6.800 crianças e adolescentes nos estados de Sergipe, Pernambuco e Bahia. A Fundação detém o controle acionário da FERBASA.

### 8 DESPESAS COM VENDAS E ADMINISTRATIVAS

Nos 9M15, as despesas com vendas totalizaram R\$ 7,9 milhões, contra R\$ 8,8 milhões dos 9M14. Os percentuais sobre a receita líquida correspondem, respectivamente, a 1,2% e 1,4%, nesses períodos, incluindo taxas portuárias e comissões de agentes.

As despesas administrativas incluem gastos com pessoal e serviços nas áreas de apoio. No período, tais despesas totalizaram R\$ 50,1 milhões, contra R\$ 43,6 milhões nos 9M14 (representando 7,3% e 6,7% em relação à receita líquida, respectivamente). Ainda nos 9M15, tivemos um acréscimo na participação dos funcionários devido ao aumento nos lucros e o provisionamento da participação dos administradores que, ao contrário do período anterior, passou a ser contabilizada mensalmente. Essas participações totalizaram R\$ 16,2 milhões (ante R\$ 5,8 milhões nos 9M14).

ANEXO B – Preço da energia convencional

