



Estudo de viabilidade para a implantação de uma aciaria padrão **Feasibility study for deployment of a standard steelmaking**

Sinesio Salles¹

Paulo Santos Assis²

Jorge Luiz Brescia Murta³

Resumo: A etapa do estudo de viabilidade técnica e econômica é um dos primeiros passos para a definição de uma estratégia de investimento, de um novo empreendimento. Com o intuito de estabelecer diretrizes para a implantação de uma nova aciaria, propõe-se a análise comparativa de aspectos técnicos e econômicos de três tipos de processos: Forno a Arco Elétrico - FEA, Forno de Indução - FI e Forno de Energia Otimizada - EOF. Além da pesquisa em literatura especializada, foram também de grande importância as visitas feitas em renomadas empresas. As análises mostraram que a partir do volume de 150.000 toneladas por ano, uma aciaria padrão de pequeno porte já pode ser considerada viável. E também que os três processos se aplicam em condições diferentes. O processo FI requer uma carga formada apenas por sucata. O processo EOF requer uma carga com um mínimo de 60% de gusa líquido. Mas o FEA se mostrou o mais flexível, pois a carga de banho poderá variar em uma faixa mais ampla de carga metálica.

Palavras-chave: Aciaria; viabilidade técnica e econômica; forno a arco elétrico; forno de indução; forno de energia otimizada.

¹ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais

² UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais

³ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais

Abstract: The stage of the study of technical and economic feasibility is one of the first steps towards setting up a new venture investment strategy. In order to establish guidelines for the implementation of a new steel plant, it is proposed a comparative analysis of technical and economic aspects, and three types of processes: Electric Arc Furnace - FEA, Induction Furnace - FI and Energy Optimizing Furnace - EOF. Beside the literature research, it was also of great importance the visits at prestigious companies. The analysis showed that from the volume of 150,000 t per year, a small standard Steelmaking can be already considered as viable. Also, showed that the three processes can be applied in different conditions. The FI process requires a load formed only by scrap. The EOF process requires a load with a 60% minimum of liquid iron. But the FEA has shown as the most flexible, because the bath load may vary in a wider range of metal loading.

Keywords: Steelmaking; technical and economic feasibility; electric arc furnace; induction furnace; energy optimizing furnace.

1. Introdução

Em uma instalação siderúrgica têm-se três fases principais: a primeira fase consiste em transformar o minério em ferro gusa, a segunda fase, transformar o ferro gusa em aço e, a terceira consiste em conformar o aço nos perfis desejados. A segunda fase, que será o objeto desse trabalho, considera uma empresa de perfis laminados, cujo volume de produção cresceu a ponto de justificar um novo investimento para a criação de uma aciaria própria e não mais adquirir aço de outra indústria. O estudo de implantação de uma nova aciaria irá seguir a metodologia de gestão de projeto. Os ganhos em eficácia, eficiência, custos, qualidade e prazos do projeto, irão depender em muito do uso dessa metodologia. As análises que se seguem tem a finalidade de avaliar tanto os aspectos técnicos quanto os aspectos econômicos [1, 2]. As figuras 1, 2 e 3 ilustram os três processos discutidos neste trabalho.



Figura 1: Forno Elétrico à Arco (Cortesia TENOVA)

O forno elétrico à arco - FEA [3, 4, 5] é um equipamento muito versátil para a produção de aço, permitindo produzir praticamente qualquer tipo de aço, independente de reações químicas. Já o forno de indução - FI [6, 7] consiste basicamente num transformador com o secundário em curto-circuito, e é hoje em dia bastante usado para a fusão de metais. O forno de energia otimizada - EOF [8,9] é um forno de refino associado com uma sucata pré-aquecida, trabalhando com sopro submerso de oxigênio, que reage com o carbono do ferro gusa, transferindo uma porção de calor para o banho e gerando a formação de escória.



Figura 2: Forno de Indução (Cortesia Inductoterm)

2. Metodologia e resultados

A previsão de vendas anuais considerada neste estudo, para uma aciaria padrão é de 150.000 toneladas do aço ASTM A36 [10], ao preço de R\$ 2.000,00/t (Considerar o valor monetário com referencia a Dezembro de 2016). Os parâmetros básicos dos processos [18] são:

Processo Forno de Indução - FI [7]

Ciclo de Produção: 65 min/corrída.

Equipe de Mão de Obra Direta: total de 60 (15 pessoas em cada um dos 4 turnos).

Rendimento do Forno: 90,6%.

Rendimento do Pátio de Sucatas: 96,4%

Custo Pátio Sucata: R\$ 71,00/t

Processo Forno de Energia Otimizada - EOF [9].

Ciclo de Produção: 32 min/corrída.

Equipe de Mão de Obra Direta: total de 60 (20 pessoas por turno)

Rendimento do Forno: 85%

Rendimento do Pátio de Sucatas: 98,7%

Custo Pátio Sucata: R\$ 71,00/t



Figura 3: Forno de Energia Otimizada (Cortesia Minitec)

Processo Forno a Arco Elétrico - FEA [11]

Ciclo de Produção: 52 min/corrida.

Equipe de Mão de Obra Direta: total de 45 (15 pessoas por turno).

Rendimento do Forno: 88,9%

Rendimento do Pátio de Sucatas: 96,4%

Custo Pátio Sucata: R\$ 71,00/t

2.1. CAPEX

O CAPEX (Aquisição de Ativos Imobilizados) [12] tem o significado de investimento em bens de capital, e procura examinar as alternativas de investimento. Alguns dos capitais de investimento, para a implantação de uma nova aciaria são: estudos, desenhos, canteiro de obras, terraplanagem, perdas de material da obra, prédios, armazéns, estoques, equipamentos, instalações, escritórios, laboratórios, banheiros, refeitório, enfermaria, seleção de pessoal, treinamentos, portaria, estacionamentos, subestação elétrica, iluminação, sistemas de informática, sistemas de automação, unidades hidráulicas, estação de tratamento de água, estação de tratamento de esgotos, sistema de águas pluviais, sistema de combate a incêndio e, sistema de para-raios. Vê-se na tabela 1 os investimentos para cada tipo de processo.

Tabela 1: Investimentos nos Processos.

INVESTIMENTO	R\$	Comparativo
Forno FI	79.358.000,00	100%
Forno EOF	123.798.000,00	156%
Forno FEA	127.331.000,00	160%

2.2. Custos Fixos

São as despesas que permanecem constantes, independente de aumentos ou diminuições na quantidade produzida, como por exemplo: limpeza, conservação, aluguéis, administração, etc. Com os valores apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Custos Fixos dos Processos.

Custo Fixo	R\$	%
Forno FI	16.446.000,00	100
Forno EOF	28.195.000,00	171
Forno FEA	28.786.000,00	175

2.3. Custos Variáveis Totais

Vê-se na tabela 3 os custos variáveis totais, que variam proporcionalmente com a quantidade produzida, como por exemplo: matérias-primas, água, energia, etc.

Tabela 3: Custos Variáveis Totais.

Custos Variáveis	R\$/t	%
Forno FI	842,19	100
Forno EOF	948,49	113
Forno FEA	911,83	108

2.4. OPEX

O OPEX (despesas operacionais) [13] procura examinar as alternativas de compras. Algumas destas despesas são: trocas dos refratários do forno, energia elétrica, oxigênio, nitrogênio, gás natural, iluminação, água, depreciação, impostos, seguros, pagamento de financiamento, mão de obra direta, mão de obra indireta, encargos sociais, alimentação, telefone, informática, consumíveis, partes sobressalentes, limpeza, publicidade, transportes,

manutenção, uniformes, controles ambientais e, material de segurança. A tabela 4 apresenta os valores para os processos.

Tabela 4: Custo Operacional - OPEX.

Custo Total	R\$	%
Forno FI	155.375.278,15	100
Forno EOF	194.593.741,00	125
Forno FEA	182.152.954,00	117

2.4.2. Lucro

A tabela 5 apresenta os valores de lucro os processos em estudo.

Tabela 5: Lucro dos Processos.

Lucro	R\$	%
Forno FI	155.496.721,85	100
Forno EOF	125.166.259,00	80
Forno FEA	138.313.045,00	89

2.4.3. Impostos

A tabela 6 apresenta os impostos para cada um dos processos.

Tabela 6: Impostos.

Imposto	R\$	%
Forno FI	41.984.115,00	124
Forno EOF	33.794.890,00	100
Forno FEA	37.344.522,00	110

2.5. Análise de Sensibilidade

Foram feitas Análises de Sensibilidade do lucro com relação aos seguintes parâmetros a seguir.

2.5.1. Volume de Produção

A maior sensibilidade é do processo FI, com acréscimo de R\$ 1.000,00 para cada acréscimo de 1 tonelada no volume de produção. E a menor sensibilidade é do processo EOF, de acréscimo de R\$ 900,00 para cada acréscimo de 1 tonelada no volume de produção.

2.5.2. Preço da Energia Elétrica

A maior sensibilidade é do processo FEA, de decréscimo de R\$ 113.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço do kWh. E a menor sensibilidade é do processo EOF, de decréscimo de R\$ 17.500,00 para cada acréscimo de 1 real no preço do kWh.

2.5.3. Preço do Gusa

O preço do Gusa é totalmente independente para o processo FI, pois este processo não usa Gusa. A sensibilidade do processo EOF, é de decréscimo de R\$ 160.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço da tonelada de gusa. E a sensibilidade do processo FEA, é de decréscimo de R\$ 50.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço da tonelada de gusa.

2.5.4. Sucata

A maior sensibilidade é do processo FI, de decréscimo de R\$ 190.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço da tonelada de sucata. A menor sensibilidade é do processo EOF, de decréscimo de R\$ 50.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço da tonelada de sucata.

2.5.5. Aço Produzido

A sensibilidade para os três processos está exatamente o mesmo, no valor crescente de R\$ 150.000,00 para cada acréscimo de 1 real no preço da tonelada do aço produzido. Como se já poderia esperar.

2.5.6. MOD

A sensibilidade para os três processos está bastante próxima do valor de decréscimo de R\$ 1.500,00 para cada acréscimo de 1 real no salário da Mão de Obra Direta.

2.6. Custo Marginal

A partir dos custos totais, o Custo Marginal [14] foi calculado como a derivada do custo em função da quantidade produzida.

2.6.1. Custo Marginal EOF

Custo Marginal = $\delta C / \delta Q = 866,70$ R\$/t.

2.6.2. Custo Marginal EOF

Custo Marginal = $\delta C / \delta Q = 1.066,70$ R\$/t.

2.6.3. Custo Marginal FEA

Custo Marginal = $\delta C / \delta Q = 1000,00$ R\$/t.

2.7. Fluxo de Caixa

Fluxo de caixa é uma ferramenta que controla as entradas e saídas de recursos financeiros. O fluxo de caixa é um recurso fundamental para os gestores saberem com precisão qual a situação financeira da empresa. Para os três processos foram considerados que um capital próprio inicial de R\$ 50.000.000,00 estivesse disponível. E no final da análise, todos os doze valores de fluxo de caixa foram somados, constituindo assim um indicador comparativo, que é apresentado na tabela 7.

Tabela 7: Indicadores Comparativos.

Processo	Indicador Comparativo	
FI	1.400.328.821,00	141%
EOF	989.862.051,00	100%
FEA	1.114.436.169,00	113%

2.8. Payback

A análise Payback é uma técnica muito utilizada nas empresas para cálculo do prazo de retorno do investimento de um projeto. Normalmente este período é medido em meses ou anos. Assim sendo, em cada planilha de custos dos processos, serão calculadas as proporções entre os investimentos realizados e o lucro anual obtido.

Tabela 8: Payback dos Processos.

Processo	Pay Back
FI	9 meses
EOF	21 meses
FEA	19 meses

2.9. Make or Buy

Se a empresa tem condições de fabricar os componentes que são usados no seu produto, ela pode fazer esta análise comparativa se a fabricação interna é mais barata do que comprar de algum fornecedor. É muito importante nesta análise que realmente todos os custos sejam considerados tanto na fabricação interna quanto na compra do fornecedor, de forma que a análise reflita a realidade das duas situações para a correta tomada de decisão.

2.9.1. Make or Buy - FI

Compra de tarugos: R\$ 300.000.000,00

Custo de processo + Imposto: R\$ 155,4 + R\$ 42,0 MM = R\$ 197,4 MM

Vantagem em produzir de R\$ 102,6 MM por ano

2.9.2. Make or Buy - EOF

Compra de tarugos: R\$ 300.000.000,00

Custo de processo + Imposto: R\$ 194,6 + R\$ 33,8 MM = R\$ 228,4 MM

Vantagem em produzir de R\$ 71,6 MM por ano

2.9.3. Make or Buy - FEA

Compra de tarugos: R\$ 300.000.000,00

Custo de processo + Imposto: R\$ 182,2 + R\$ 37,3 MM = R\$ 219,5 MM

Vantagem em produzir de R\$ 80,5 MM por ano

2.10. Planejamento Preliminar do Projeto

O planejamento consiste em uma importante tarefa de gestão, que está relacionada com a preparação e organização de um projeto. O conceito de planejamento tem um caráter multidisciplinar. Existem três níveis de planejamento: estratégico, tático e operacional. As atividades que constam do cronograma deste trabalho são as atividades básicas do caminho crítico. O Cronograma deste Projeto foi elaborado contendo seis meses de estudos, desenhos e negociação; somados a 18 meses de construção e testes.

2.11. Modelamento, Simulação e Otimização da Operação de Produção

Para a avaliação da operação de produção, foram propostas as equações para a simulação e otimização do processo de produção [15].. Com o objetivo maximizar o lucro, considerando a restrição ao enxofre ($< 0,05\%$), foram elaboradas as planilhas e testados diferentes parâmetros de entrada, para que se pudessem analisar os resultados.

2.12. Análise do Contrato de Compra e Ampliação

Nesta análise verifica-se a possibilidade de crescimento da produção, acompanhando a revisão do projeto e a ampliação das instalações da aciaria. Com um investimento inicial de R\$ 80.000.000,00. Esta análise propõe um crescimento de 20% por ano, nos cinco primeiros anos de produção. O pagamento do investimento inicial é em 10 anos, e o pagamento das ampliações em cinco anos. Na tabela 9, consideramos os valores em milhões de reais.

Tabela 9: Estudo de Ampliação da Aciaria.

	Invest	1ª Amp	2ª Amp	3ª Amp	4ª Amp	5ª Amp	TOTAL	Produção	Receita	R / T
Ano 1	8,0						8,0	150000	300	37,5
Ano 2	8,8	3,2					12,0	180000	360	30,1
Ano 3	9,6	3,5	3,2				16,3	210000	420	25,8
Ano 4	9,0	3,8	3,5	3,2			19,5	240000	480	24,6
Ano 5	9,9	4,2	3,8	3,5	3,2		24,6	300000	600	24,4
Ano 6	10,8	4,6	4,2	3,8	3,5	3,2	30,1	300000	600	19,9
Ano 7	10,0		4,6	4,2	3,8	3,5	26,1	300000	600	23,0
Ano 8	11,0			4,6	4,2	3,8	23,6	300000	600	25,4
Ano 9	12,0				4,6	4,2	20,8	300000	600	28,9
Ano 10	11,0					4,6	15,6	300000	600	38,5

3. Conclusões

A análise técnica mostrou que os três processos se aplicam a condições diferentes. O processo FI requer por uma carga formada apenas por sucata. O processo EOF requer uma carga mínima de 60% de gusa líquido. Já o forno de arco elétrico se mostrou o mais flexível, pois a carga de banho poderá variar amplamente. Com relação à análise econômica, vários estudos foram realizados para demonstrar a viabilidade de cada um dos processos. Os principais resultados encontrados são para os cálculos de investimentos (CAPEX), o processo FI tem o menor valor, de R\$ 76.058.000,00. O processo EOF, com relação ao menor investimento, tem um incremento de 83%. Da mesma forma, o processo FEA tem um adicional de 66%.

Com relação aos custos operacionais anuais (OPEX), o processo FI também tem o menor valor, de R\$ 153.265.933,77. O processo EOF necessita de um incremento de 29%. E o processo FEA necessita de um adicional de 18%.

Com relação ao consumo de água, o forno FEA tem um consumo médio de 0,25 m³/t, o forno EOF tem um consumo médio de 0,51 m³/t e, para o forno FI resultou em 0,92 m³/t.

Sobre os impactos ambientais, o projeto das instalações da aciaria deverão especificar os devidos sistemas de despoejamento e tratamento de gases para cada caso.

Com relação ao ruído, ficou demonstrado que para os três tipos de fornos, os operadores deverão usar abafadores auditivos. E do lado de fora dos prédios o nível de ruído está bem parecido com o nível de uma conversação.

Portanto, cada um dos três processos teve a análise da viabilidade técnica e econômica, realizadas dentro dos parâmetros reais de produção, com os resultados apresentados detalhadamente dentro da metodologia que foi usada neste trabalho.

4. Agradecimentos

Agradece-se ao apoio das instituições de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

5. Referências

- ANDRADE, M.L.A., CUNHA, L.M.S., GANDRA, G.T. A ascensão das mini-mills no cenário siderúrgico mundial. Gerência de Mineração e Metalurgia do BNDES. p. 51-76. 2000.
- ASSIS, P. S., DEO, B., MAZUMDAR, D., CHAKRABORTI, N. Modelling And Simulation On Iron And Steelmaking. Ouro Preto: Revista REM. 370p. 1998.
- Association Technique de la Siderurgie Française. 1993.
- ASTM International - Standards Worldwide. West Conshohocken. PA. USA. 2016.
- BETZIOS, A. Fornos a Arco Elétrico. ABM, São Paulo. 1987.
- CARVALHO, E. B.; CENCIG, M. O.; CORREIA, P. B. Otimização da operação de fornos elétricos a arco. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. 161f. 1998.
- CASCAES, E. E. Estudo de Viabilidade para Implantação de uma Fundição de Ferro Fundido e Aço. Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC. 2013.
- CASSOTIS, E. M., ASSIS, P. S. Modelling And Techno-Economic Optimization of Industrial Processes. Apostila de Curso. Cassotis Consulting - REDEMAT. 2016
- CUNHA, J.B.M. Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust. Journal of Hazardous Materials, p. 953–960. Porto Alegre, Brasil. 2005.
- DUNCAN, G.R. Electric Furnace Steelmaking, Iron and Steel Society, Inc. Book Crafters, Inc., Chelsea, MI, USA. pp 161-166. 1985.
- GANDHEWAR, V.R., BANSOD, S.V., BORADE, A.B. Induction Furnace - A Review. International Journal of Engineering and Technology. Vol.3 (4), 277-284. 2011.
- GEBHARDT, W.R., LEE, C.M., SWAMINATHAN B. Toward an Ex Ante Cost of Capital. Cornell University. Johnson Graduate School of Management. 1999.
- PFEIFER, H.C., SCHERER S.W.G. EOF - Energy Optimizing Furnace. Equipment Profile. Apostila da MINITEC - Minitecnologias Ltda. Divinópolis, Brasil. 2009.
- SALLES Jr., S., ASSIS, P. S., BRESCIA J.L. Estudo de viabilidade técnica e econômica do refino primário para uma mini-aciaria de 150.000 toneladas. 100 f. Dissertação de Mestrado. Repositório Institucional da UFOP. REDEMAT. 2016.
- WEBER, R., NOSÉ, D., MORSOLLETO, L. Latest achievements with the EOF process. ATS MACHADO, J.G.M.S., BREHM, F.A., MORAES, C.A.M., SANTOS, C.A., VILELA, A.C.F., LAURÍA, L.C. Decisões de custos em épocas de crise: aspectos relevantes em orçamentos de investimentos (CAPEX). Instituto de Ciências Econômicas e Gerenciais - ICEG. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 2013.