

Avaliação de opções de troca de produto em siderúrgicas integradas

Luiz de Magalhães Ozorio[†]

IBMEC-RJ

Carlos de Lamare Bastian-Pinto^Ω

IBMEC-RJ

Tara Keshar Nanda Baidya[‡]

UNIGRANRIO

Luiz Eduardo Teixeira Brandão[‡]

PUC-RJ

RESUMO

Há duas formas básicas de se produzir aço em grande escala: utilizando-se matérias-primas (minério de ferro e carvão) por meio de produção em altos-fornos; ou o emprego de sucata ferrosa em aciarias elétricas. A primeira exige investimento inicial maior, é mais competitiva em termos de custos e de ganhos de escala. A desvantagem é a necessidade de funcionamento praticamente ininterrupto, diminuindo a flexibilidade de ajuste da produção. Como forma de mitigar esse problema, é comum o investimento em ativos de laminação, gerando a possibilidade de diversificação da produção e valiosas opções de troca de produto. Neste trabalho, utilizando-se Simulação de Monte Carlo, foi calculado o valor de uma opção de troca de produto em uma siderúrgica composta de um alto-forno e de um laminador a quente. Os resultados mostram que essa opção pode gerar aumento significativo no VPL de projetos em siderúrgicas de alto-forno, revelando ainda a importância da escolha do tipo de processo estocástico do aço na determinação do valor da opção.

Palavras-chave: Siderúrgicas integradas; orçamento de capital; simulação de Monte Carlo; opções reais de troca de produto; processos estocásticos.

Recebido em 16/09/2011; revisado em 21/12/2011; aceito em 02/02/2012; divulgado em 26/03/2013.

*Autor para correspondência:

[†] Doutor em Finanças pela PUC-RIO.
Vínculo: Professor Adjunto do IBMEC.
Endereço: Av. Presidente Wilson 118, sala 1114, Rio de Janeiro – RJ – Brasil
E-mail: Imozorio@ibmercj.br
Telefone: (21)4503-4048

^Ω Doutor em Finanças pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (IAG/PUC- Rio).
Vínculo: Professor Adjunto do IBMEC
Endereço: Av. Presidente Wilson 118, sala 1116, Rio de Janeiro – RJ – Brasil
E-mail: carlos.bastian@ibmec.br
Telefone: (21)4503-4146

[‡] PhD pela Escola de Administração da Universidade da Califórnia, Berkeley.
Vínculo: Professor Adjunto da Universidade UNIGRANRIO.
Endereço: Rua Professor José de Sousa Herdy, n.1160, Duque de Caxias – RJ – Brasil
E-mail: tarabaidya@yahoo.com.br
Telefone: (21)2247-4361

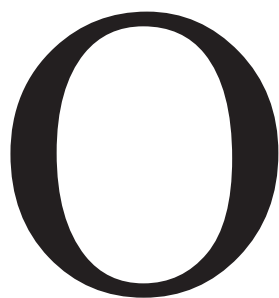
[‡] Doutor em Finanças pela PUC-RIO.
Vínculo: Professor Associado da PUC-RJ.
Endereço: Rua Marquês de São Vicente 225, Gávea, Rio de Janeiro – RJ – Brasil
E-mail: brandao@iag.puc-rio.br
Telefone: (21)2138-9304

Nota do Editor: Esse artigo foi aceito por Bruno Funchal



Este trabalho foi licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).

1 INTRODUÇÃO



o aço é constituído por uma liga de ferro e de carbono. Há duas formas básicas de se produzi-lo em grande escala: o uso de matérias-primas como o minério de ferro e o carvão, por meio do método conhecido como produção em altos-fornos ou em siderúrgicas integradas; ou o emprego de sucata ferrosa por intermédio de aciarias elétricas, conhecidas como *minimills* ou siderúrgicas semi-integradas.

No modelo de produção em alto-forno, o carvão exerce a dupla função de combustível e de redutor na fabricação do aço. Como combustível, o carvão permite o alcance de temperaturas elevadas, que atingem, aproximadamente, 1500 graus Celsius, fundamentais para fusão do minério. O carvão auxilia, ainda, na remoção do oxigênio do ferro, ao atuar como redutor, exatamente por permitir a associação dele com o carbono. Várias etapas são efetuadas até que se chegue ao aço bruto em formato de placas ou tarugos. A produção em alto-forno exige – quase sempre – investimentos iniciais maiores, mas, em contrapartida, é mais competitiva em termos de custos. Outra vantagem é que, uma vez definida a estrutura para o funcionamento de um alto-forno, o aumento da capacidade produtiva pela instalação de novos fornos, acontece geralmente, a custos proporcionalmente inferiores ao aumento da produção. Essa situação permite, obviamente, ganhos crescentes de escala. A desvantagem seria a necessidade de funcionamento basicamente ininterrupto dos altos-fornos, o que diminui a flexibilidade de ajuste de escala da produção.

O aço é uma *commodity* de grande volatilidade de preços. Para que se tenha noção dessa variação, o preço de uma tonelada de aço laminado a quente no mercado norte-americano oscilou num intervalo de, aproximadamente, US\$ 250,00 a, aproximadamente, US\$1.200,00, no período de janeiro de 2000 a setembro de 2009. Adicionalmente, a demanda pelo aço é bastante instável. Por isso, é possível classificar o setor siderúrgico como cíclico, com variações abruptas nas quantidades comercializadas entre os “*booms*” econômicos e as recessões. Essa variabilidade – tanto nos preços, quanto nas quantidades demandadas – afeta significativamente as receitas e, em consequência, os resultados econômicos das empresas siderúrgicas.

Uma estratégia muito utilizada na siderurgia integrada, com o objetivo de atenuar a variabilidade na demanda e nos preços do aço, é a troca de produto. Existem diversos tipos de aço demandados por setores distintos da economia, e as variações nos preços desses produtos, apesar de correlacionadas, não são idênticas ao longo do tempo. Para o proveito dessa

flexibilidade, as companhias siderúrgicas efetuam tipicamente investimentos em ativos de laminação – etapa final do processo siderúrgico, na qual é definido o formato do aço dependendo do uso que se intencione – gerando a possibilidade de diversificação da produção e valiosas opções de troca de produto.

Este artigo tem como objetivo avaliar o benefício incremental das opções de troca de produto na indústria siderúrgica, mais especificamente em usinas integradas. Para isso, será utilizado um caso hipotético criado para determinar o valor de um processo produtivo envolvendo o investimento em um alto-forno e um laminador a quente, simulando-se, por Simulação de Monte Carlo, o valor do projeto a partir de dois tipos de processos estocásticos distintos: Movimento Geométrico Browniano (MGB) e o Movimento de Reversão a Média (MRM).

Para facilitar o entendimento do trabalho, ele foi estruturado da seguinte forma: após esta (i) introdução, (ii) virá uma revisão sobre opções reais na avaliação de projetos e, em seguida, (iii) será apresentado um *overview* do setor siderúrgico. Por fim, (iv) virá um estudo de caso e (v) conclusões gerais.

2 ANÁLISE DE PROJETOS PELA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

A visão tradicional de finanças sobre o investimento corporativo é a de que as empresas somente devem investir em projetos quando a expectativa de retorno for superior à taxa mínima de atratividade (custo de oportunidade do capital). A taxa interna de retorno (*TIR*) e o valor presente líquido (*VPL*) constituem-se, hoje, nas ferramentas mais utilizadas na análise de oportunidade de investimento. Essas técnicas utilizam fluxos de caixa esperados dos projetos e taxas ajustadas ao risco. Entre elas, o *VPL* é considerado como ferramenta mais robusta por evidenciar a criação de valor para os investidores, e permitir a priorização de projetos em decisões que envolvam a escolha entre múltiplas oportunidades de investimentos.

Em situações, porém, quanto são identificadas incerteza elevada e boa flexibilidade da ação gerencial, é possível perceber que as regras tradicionais de avaliação não são capazes de fornecer respostas completas para a decisão sobre investimentos. É justamente nesse contexto que se faz necessária a busca por outro tipo de ferramental que contemple o processo de otimização das escolhas gerenciais em ambientes de incerteza. Esse ferramental é o método de avaliação de opções reais.

O método de avaliação por opções reais é aquele que considera o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados por ativos reais (projetos), contingentes ao exercício de

otimizações determinadas por meio do uso de alternativas estratégicas nos mais amplos possíveis estados da natureza e ao longo do tempo de vida do ativo real. O objetivo dessas otimizações – uso de opções estratégicas – é a maximização da criação do valor para o acionista contingente ao estado da natureza que se revele no futuro.

No decorrer das últimas décadas, a evolução dos modelos em finanças, concomitantemente ao avanço das técnicas computacionais, vem aumentando, consideravelmente, o uso da teoria de opções reais em uma ampla gama de indústrias com diferentes tipos de abordagens no Brasil e no Mundo. Myers (1977) foi o primeiro a utilizar o termo opções reais baseado na ideia de que ativos reais poderiam ser avaliados de forma análoga às opções financeiras. O brasileiro Tourinho (1979) utilizou a teoria em estudos aplicados a projetos de exploração de recursos naturais. Posteriormente, Brennan & Schwartz (1985) desenvolveram aplicações de opções de parada temporária das operações e de abandono em projetos de mineração. Outra contribuição relevante foi efetuada por Bjerksund & Erken (1990), na os quais avaliaram opções de parada temporária, de abandono e de adiamento e ainda o efeito de suas interações na análise do desenvolvimento de um campo de petróleo. Nessa mesma linha, Dias & Rocha (1999) desenvolveram um modelo de investimentos sob condições de incerteza na exploração e produção de petróleo.

A teoria de opções reais também passou a ser aplicada amplamente no setor elétrico. Herbelot (1992) estudou opções estratégicas nas usinas termelétricas dos EUA, com o intuito de atender às exigências ambientais da Clean Air Act Amendment. Gomes (2002) gerou um modelo de opções reais para escolher o melhor momento para se investir em termelétricidade no Brasil. Moreira, Rocha e David (2004) avaliaram os efeitos da reforma do setor elétrico nos investimentos em termelétricidade, com base na teoria de opções reais.

A abrangência da teoria das opções reais também se estende para o mercado imobiliário. Titman (1985) analisou o valor de se postergar investimentos imobiliários em terrenos urbanos na cidade de Los Angeles. Quigg (1993) avaliou os preços de terrenos em Seattle (EUA) e desenvolveu modelo sobre opção de espera do investimento. Williams (1991) sugeriu uma opção de abandono como alternativa para o desenvolvimento de terrenos. Cauley & Pavlov (2002) modelaram uma opção de espera para se vender um imóvel no mercado residencial de Los Angeles. Fortunato, Brandão, Rosenbaum & Rebelo (2008) calcularam o valor da opção de abandono na compra de um imóvel no Brasil.

Para determinados setores, uma importante e valorosa opção real pode ser a de troca de tecnologia, a qual consiste da possibilidade de alterar a oferta variada de produtos ou o uso

dos insumos no processo produtivo. Significa, especificamente, que se a demanda ou o preço dos produtos que a empresa produz ou consome se modificarem, a gerência tem a alternativa de alterar a oferta variada de produtos finais. De forma semelhante, nos casos em que os produtos finais possam ser produzidos com a utilização de insumos distintos, a gerência poderia optar pelo conjunto de insumos que se mostrasse mais rentável e pertinente ao cenário que se revelasse no futuro. Entre importantes trabalhos desenvolvidos sobre opções de troca de produto, podem ser citados o de Bastian-Pinto, Brandão & Hahn (2009). Esses autores analisam a opção de troca de produto na indústria brasileira de etanol, mais especificamente a substituição do produto final entre o açúcar e álcool, tomando ainda seus preços como processos de reversão à média correlacionados. Mais recentemente, Dockendorf & Paxson (2009) analisaram a opção de troca de produto em uma indústria de fertilizantes, mais especificamente a troca do *output* de produção: amônia e ureia. Essa importante flexibilidade gerencial – a alteração do produto final – é existente na siderurgia e constitui uma importante estratégia para atenuar a grande volatilidade da demanda e dos preços do aço. Na atualidade, dependendo do uso que se intencione, podem ser produzidos diversos tipos de aço, variando em termo de formato, nível diferenciado de pureza, ou ainda pela adição intencional de elementos químicos para obtenção de características desejáveis como resistência a corrosão ou maiores níveis de dureza. Entre as diversas utilizações dos produtos siderúrgicos, merecem destaque os usos: na construção civil, na produção automobilística e de bens de capital, em aparelhos domésticos, embalagens e tubos para usos diversos. Essa opção requer, no entanto, investimentos nas plantas de produção, mais especificamente nas unidades de laminação, para confecção de produtos siderúrgicos variados. Não foram encontrados na literatura trabalhos relacionados à avaliação da flexibilidade de troca de produto na siderurgia.

É importante notar que as incertezas presentes em projetos são, frequentemente, modeladas como um Movimento Geométrico Browniano (MGB), que pressupõe uma taxa de crescimento (*drift*) constante e uma variância linearmente crescente no tempo. Sua formulação matemática pode ser dada pela equação diferencial: $dS = \mu S dt + \sigma S dz$, em que μ é o *drift* do processo e σ seu parâmetro de volatilidade.

Mas, frequentemente, as incertezas não seguem o MGB. Esse é o caso quando a incerteza depende de um nível de equilíbrio, como o de commodities não financeiras (Pindyck, 2001, 1999, Brennan & Schwartz, 1985). Especificamente em relação ao preço de commodities ou ativos de produção de commodities, é comum assumir que estes sigam um processo de Reversão à Média - Modelo MRM (Schwartz, 1997, Schwartz & Smith, 2000).

Nesse caso, o valor esperado do processo deve reverter para um nível de equilíbrio no longo prazo, e contrariamente ao MGB, sua variância ficará restrita a um limite. A formulação matemática do processo de reversão geométrico conhecido como modelo 1 de Schwartz (1997) é dada pela equação diferencial: $dS = \eta (\ln(\bar{S}) - \ln(S)) S dt + \sigma S dz$, em que η é a velocidade de reversão do processo, \bar{S} o nível de equilíbrio de longo prazo e σ o parâmetro de volatilidade.

No entanto não há consenso sobre qual processo estocástico é mais adequado, e como Dixit & Pindyck (1994) sugerem, a definição do processo depende tanto considerações estatísticas quanto teóricas.

3 VISÃO GERAL DO SETOR SIDERÚRGICO

O aço é uma liga de ferro e carbono que se distingue do ferro fundido, basicamente, por possuir um teor inferior de carbono e maior maleabilidade (capacidade de deformação), em função das diferenças nos processos produtivos utilizados na fabricação dos dois produtos.

O início da produção do aço é anterior a era cristã. Existem registros de que os egípcios, em 900 A.C., já detinham o conhecimento de técnicas para produção do aço que era utilizado na fabricação de armas como facas e espadas. No entanto a produção do aço em larga escala foi iniciada somente no século XIX, após a Revolução Industrial, quando a evolução tecnológica viabilizou a construção de fornos maiores e mais eficientes.

Na atualidade, dependendo do uso que se intencione, podem ser produzidos diversos tipos de aço, variando em termo de formato, nível diferenciado de pureza, ou ainda pela adição intencional de elementos químicos para obtenção de características desejáveis como resistência a corrosão ou maiores níveis de dureza. Tais características, somadas à abundância de matéria-prima existente para sua produção e ao seu baixo custo relativo, conferem ao aço fortes vantagens comparativas aos materiais concorrentes, fazendo desta a liga metálica mais importante da sociedade moderna.

Segundo pesquisas realizadas pelo IBS, atualmente o consumo de aço representa 90% de todas as ligas metálicas utilizadas ao redor do mundo. Entre as diversas utilizações dos produtos siderúrgicos, merecem destaque os usos: na construção civil, na produção automobilística e de bens de capital, em aparelhos domésticos, embalagens e tubos para usos diversos. Estima-se que, no Brasil, esses segmentos demandem, aproximadamente, 95% de todo aço consumido.

Os investimentos no setor siderúrgico são, no entanto, cercados de incertezas. O principal fator de risco do setor é sua característica cíclica, que acarreta grande oscilação nos preços e nas quantidades demandadas no mercado. Para que se tenha noção dessa variabilidade, o preço de uma tonelada de aço laminado a quente no mercado norte-americano oscilou num intervalo de, aproximadamente, US\$ 250,00 a, aproximadamente, US\$1.200,00, no período de janeiro de 2000 a setembro de 2009. Tal variabilidade é potencializada pela estrutura operacional alavancada do setor, com forte participação de custos fixos, gerando grande volatilidade nos retornos em projetos siderúrgicos, bem como nas ações de empresas do segmento.

3.1 Processos Produtivos

Existem basicamente duas formas típicas de se produzir o aço em grande escala: utilizando-se como matérias-primas o minério de ferro e o carvão nas aciarias de alto-forno; ou em mini-mills (aciarias elétricas), utilizando-se sucata ferrosa fundida em fornos elétricos. As aciarias de alto-forno também são conhecidas como usinas integradas, enquanto as elétricas são chamadas de usinas semi-integradas.

Nas aciarias de alto-forno, o carvão desempenha as funções de combustível e redutor na fabricação do aço, possibilitando que sejam atingidas temperaturas elevadas (acima de 1000 graus Celcius), fundamentais para fusão do minério e auxiliando na remoção do oxigênio do ferro, permitindo sua associação ao carbono. Nesse processo, o ferro se liquefaz, transformando-se em ferro-gusa. Após tratamentos para retirada de impurezas, chega-se ao aço bruto, em formato de placas ou de tarugos, que, posteriormente, será transformado em chapas, vergalhões, bobinas, arames, e em outros produtos, com usos diversos. O processo de produção nas aciarias de alto-forno pode ser resumido em cinco etapas básicas: preparação, redução, refino, lingotamento e laminação.

A grande distinção dos processos produtivos de aço nas aciarias de alto-forno e elétrica é que, no segundo método, não se tem o cumprimento da etapa de redução. Por essa razão, as mini-mills também são conhecidas como usinas semi-integradas. A sucata ferrosa é colocada, diretamente, em fornos elétricos na etapa de refino para produção de aço bruto, que, posteriormente, é laminado e transformado conforme o uso desejado. No lugar de sucata, essas usinas podem utilizar também como matéria-prima o ferro-gusa, produzido, muitas vezes, em fornos que operam com carvão vegetal pelos chamados “guseiros”.

A Figura 1 apresenta um Fluxo Simplificado de Produção demonstrado as etapas descritas para os 2 modelos de produção: aciarias de alto-forno (usinas integradas) e aciarias elétricas (usinas semi-integradas).

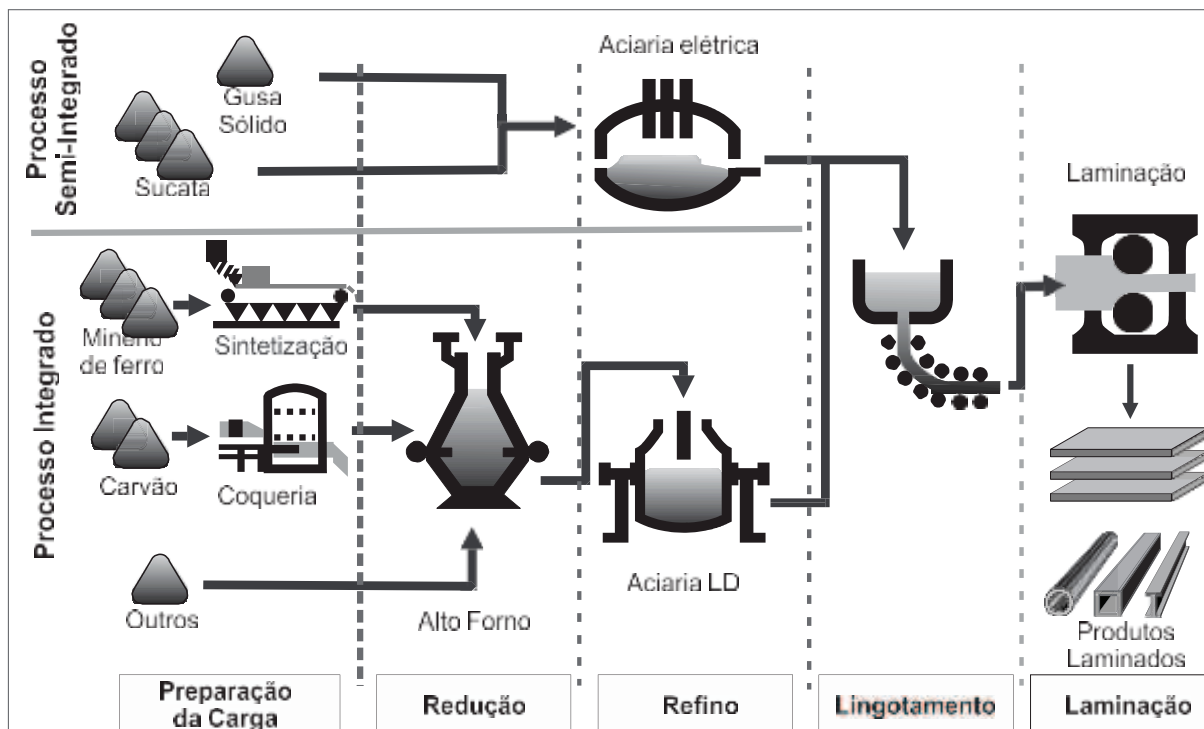


Figura 1 - Etapas dos Processos Produtivos do Aço – Fluxo Simplificado de Produção.

Fonte: IBS.

3.2 Produtos Siderúrgicos

A evolução tecnológica ocorrida na indústria siderúrgica, no decorrer das últimas décadas, permite hoje uma grande versatilidade no uso do aço. As possibilidades existentes de produtos siderúrgicos são inúmeras, variando estes em termos de composição das ligas, em formatos e em tipos de acabamento.

A sofisticação atingida é de tal ordem que, dependendo do nível e tipo de exigência, podem ser desenvolvidos produtos específicos e customizados para as necessidades dos clientes. Para a indústria automobilística, por exemplo, são produzidos atualmente aços especiais com alta resistência a corrosão, de espessuras diversas adequadas à produção das peças e da lataria e com revestimentos e acabamentos intencionalmente elaborados para geração de eficiência na produção dos veículos.

Além das vantagens para a indústria de transformação, a alta tecnologia na siderurgia vem gerando benefícios aos consumidores finais, por conferir maior durabilidade e segurança aos produtos feitos de aço. Como exemplo, pode-se citar a criação do aço de alta potência e ductilidade utilizado, atualmente, na produção de carrocerias de veículos. Com esse tipo

especial de material é possível desenvolver na lataria dos automóveis “zonas inteligentes de amasso” que, em caso de colisões, inicialmente, deformam-se mais facilmente para melhor absorção do impacto, tornando-se posteriormente mais rígidas por meio de transformações na sua estrutura, o que confere maior proteção ao condutor e demais passageiros dos veículos.

Especificamente em relação à composição das ligas de aço, estas podem variar em termos de pureza ou pela adição de substâncias para obtenção de atributos desejáveis. A classificação de aço comum é dada para ligas como teor inferior a 2% de elementos adicionais ao ferro e ao carbono. Entre 2% e 5% de outros elementos na composição do aço, a este será conferido o rótulo de baixa-liga, e acima de 5%, aço de alta-liga.

Entre as substâncias indesejáveis que tipicamente estão presentes na composição do aço, há o enxofre e o fósforo. Tais elementos intervêm, negativamente, nas propriedades físicas do aço, deixando-o com menor resistência e maleabilidade. A adição de magnésio no decorrer do processo de refino, produto que é antissulfurante, visa, entre outros procedimentos, a corrigir esse problema deixando o aço menos quebradiço e mais adequado para etapa da usinagem.

Níquel e cromo são exemplos de substâncias que são adicionadas ao aço para obtenção de propriedades desejáveis. Com participações na composição do aço, muitas vezes, superiores a 20%, esses elementos formam em conjunto com o ferro e o carbono uma alta-liga que é conhecida como aço inoxidável. Essa liga foi descoberta na Inglaterra, no início do século XX, por Harry Brearley, quando este pesquisava ligas metálicas mais resistentes para indústria de armamentos. Entre as principais características do aço inoxidável, estão: sua alta resistência a corrosão, altas temperaturas e variações abruptas de temperatura; a facilidade de limpeza em função da sua baixa rugosidade superficial, conferindo-lhe uma aparência higiênica; resistência mecânica adequada somada as facilidades de conformação e ainda de união com outros materiais. Tais qualidades são apreciadas na produção de diversos produtos como: talheres e utensílios domésticos, canos de descarga de veículos, placas de sinalização visual, entre outros.

Adicionalmente ao desenvolvimento de ligas especiais como o aço inoxidável, outra tecnologia que vem gerando melhorias significativas aos produtos siderúrgicos, no que tange à resistência e à corrosão, é o emprego de revestimentos como o zinco. Uma evolução nessa área de aços revestidos é o processo conhecido como galvanização, por meio do qual o aço é recoberto de uma camada protetora de zinco e ainda sofre uma série de tratamentos térmicos que lhe conferem maior proteção contra a oxidação atmosférica. As chapas de aço

galvanizado apresentam também boa qualidade de solda e melhor adequação à pintura quando comparado às chapas com revestimento de zinco puro.

Quanto ao formato e níveis de acabamento, existem diversas possibilidades de produtos siderúrgicos, distintos também em termos de adequação ao uso pretendido. Entre as etapas de refino e laminação, existe a fase do lingotamento, na qual é produzido o aço bruto (ou semi-acabado), que pode ser fabricado em formato de placas, blocos ou tarugos. Pelo processo de laminação, o aço semi-acabado é novamente reaquecido e mecanicamente prensado gerando os aços planos e os aços longos.

Os aços planos caracterizam-se por possuírem a largura muito superior à sua espessura, diferenciando-se principalmente em termos da espessura das chapas e bobinas produzidas. No cotidiano, é grande a variedade de produtos utilizando aços planos, podendo ir do material utilizado na produção de latas de bebida até chapas grossas usadas na construção de navios.

Os aços longos caracterizam-se por possuir comprimento extremamente superior às demais dimensões. São exemplos de aços longos perfis, barras, tubos, vergalhões e fios-máquina. Os usos dos aços longos são diversos podendo ser utilizados diretamente na construção civil, ou ainda como matéria prima na produção de autopeças, fabricação de pregos, parafusos, entre outros.

4 ESTUDO DE CASO: OPÇÃO DE TROCA DE PRODUTO EM SIDERÚRGICAS INTEGRADAS

Uma importante alternativa estratégica encontrada na siderurgia é a Opção de Troca de Tecnologia, mais especificamente a Opção de Troca de Produto. Em situações em que a demanda ou o preço dos produtos siderúrgicos que a empresa produz se modificam, a gerência tem a alternativa de alterar o *output* de produção para um mix que se demonstre mais rentável. O cálculo do valor dessa opção parte da simulação do fluxo de caixa do projeto em cada possível estado da natureza e em cada período, consideradas as possibilidades de *mix* de produtos e ainda possíveis custos de ajuste na produção.

Nesta seção, utilizando-se o método de Simulação de Monte Carlo, será avaliada uma Opção de Troca de Produto em Siderúrgicas Integradas. Inicialmente, será apresentado um caso base, que consiste da avaliação de um projeto de um alto-forno e de um laminador a quente, ambos com capacidade de produção de 2,8 milhões de toneladas/ano de aço, utilizando-se o método do fluxo de caixa descontado, objetivando o conhecimento do VPL estático desse projeto. Na sequência, será calculada a opção real supracitada, utilizando-se dois tipos distintos de processos estocásticos: MGB e MRM, para a modelagem dos preços

dos produtos de *output*. No final da seção, será efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos, objetivando-se o reconhecimento do potencial de valor agregado e as possíveis implicações da adoção de cada tipo de processo de preço testado na tomada de decisão em projetos de investimento na siderurgia.

4.1 Caso Base

Considera-se um projeto de uma siderúrgica integrada composta de um alto-forno com capacidade de produção anual de 2,8 milhões de toneladas de aço, cujos investimentos para montagem da planta totalizem um montante de R\$ 4.140 milhões. O custo de capital para esse tipo de projeto é de 10,12% ao ano, em termos reais. Este é estimado considerando-se a taxa livre de risco (r) de 5% em termos reais, o beta médio do setor de 0,93, obtido de Damodaran (2011), e o prêmio de risco de mercado é estimado a partir da diferença entre a média histórica dos retornos do Ibovespa, obtidos da BM&FBOVESPA (2011), em termos reais de 10,5% ($E(r_m)$) – referente ao período de 1994 a 2010 – e o retorno da renda fixa (r) no Brasil em termos reais. A partir da fórmula do CAPM, chega-se ao valor estimado:

$$K = r + \text{Beta} \times (E(r_m) - r) = 5\% + 0,93 \times (10,5\% - 5\%) = 10,12\%$$

No momento da avaliação do projeto, a receita líquida por tonelada da placa de aço é de US\$ 500, estando o dólar cotado a R\$ 1,80. A análise das séries históricas de índices de preços deflacionados para seis tipos distintos de aço no Brasil obtidas no IBS (2009), referentes ao período de janeiro/2000 a abril/2009 (Figura 2), mostra uma taxa média de crescimento de 4,67% por ano, em termos reais. No entanto considera-se mais apropriado utilizar um *drift* de 2,5% em termos reais para os preços dos produtos siderúrgicos, uma vez que ocorreram mudanças estruturais no setor após o fim da crise econômica, no final de 2008 e em 2009. Esse valor de *drift* utilizado (2,5%) foi obtido de uma série de placas de aço obtida na Bloomberg (2009), cobrindo de janeiro/1996 a dezembro/2009, com taxa de crescimento (*drift*) ao longo desse período de 2,48% médio, ao ano. Essa série não foi usada para os demais parâmetros, porque são necessárias séries contemporâneas para os dois tipos de aço (placas e bobinas a quente), de forma a determinar as volatilidades específicas e a velocidade de reversão à média e a correlação entre os retornos dos dois preços. Em toda a análise a seguir, será modelada a receita líquida S por tonelada do tipo de aço, considerado como o preço desse tipo de aço (em US\$/ton).

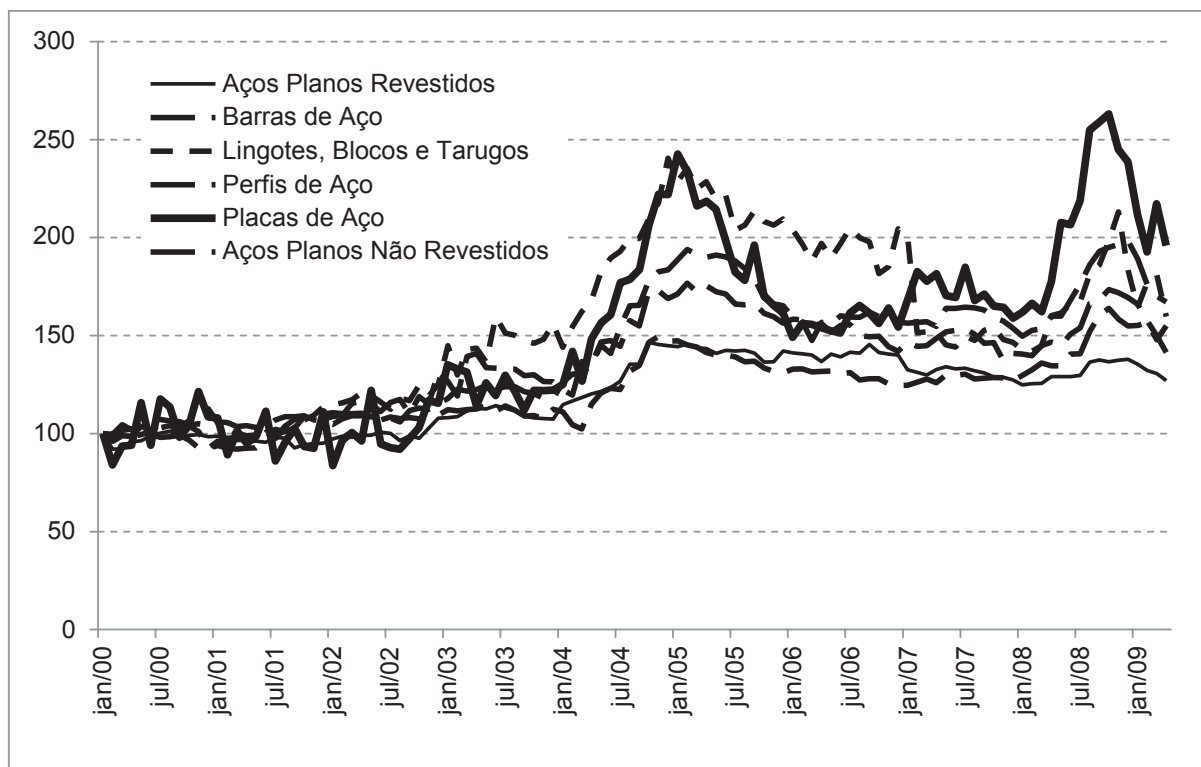


Figura 2- Índice de Preços Mensais Deflacionados de Produtos Siderúrgicos no Mercado Brasileiro - Jan/2000 a Abr/2009

Fonte: IBS, elaborado pelos autores.

Entre os principais custos de produção, destaca-se o minério de ferro, cujo preço na data do trabalho é US\$ 45 por tonelada. Supõe-se que o reajuste trimestral do minério seja equivalente ao *drift* estimado para os preços do aço. Os demais custos de produção, exceto a depreciação (carvão, coque, energia, outros materiais, pessoal e manutenção), totalizam US\$ 255 por tonelada de aço produzido, e as despesas gerais (administrativas e comerciais) atingem R\$ 200 milhões em termos anuais. Supõe-se que esses outros custos de produção e despesas sejam corrigidos no tempo unicamente pela inflação (0% em termos reais) e ainda que o alto-forno opere, em média, a 90% de sua capacidade instalada. Portanto, são considerados sem crescimento na análise. O investimento inicial será depreciado linearmente ao longo de 20 anos e, por simplificação, considera-se que os re-investimentos necessários para manutenção da planta sejam similares à depreciação. Dessa forma, o fluxo de caixa em termos trimestrais pode ser calculado pela equação (1):

$$FCX_s = [Cap \times UC \times (S_s - M_s - OCP) \times TC - DA - DG](1 - AI) \Delta s \quad (1)$$

Onde:

FCX_s – Fluxo de Caixa do Projeto no trimestre s (em R\$ 1.000,00);

Cap – Capacidade Instalada da Planta em toneladas/ano;

UC – Uso da Capacidade Instalada;

S_s – Receita Líquida por Tonelada de Placa de Aço no trimestre s (em US\$);

M_s – Custo do Minério de Ferro por Tonelada de Aço no trimestre s (em US\$);

TC – Taxa de Câmbio (R\$/US\$);

OCP – Outros Custos de Produção (em US\$)

DA – Depreciação e Amortização (em R\$ 1.000,00)/ano

DG – Despesas Gerais (em R\$ 1.000,00)/ano

AI – Alíquota de Impostos

Δs – 0,25 (período trimestral)

Com base em cinco anos de projeções trimestrais dos fluxos de caixa (ou seja: 20 trimestres), após os quais foi considerada uma perpetuidade sem crescimento, foi estimado um valor de R\$4.928 milhões para o projeto, o que determina um VPL estático de R\$ 788 milhões.

A planta avaliada no caso base teria como único output placas de aço, tipo de aço que é insumo para diversos outros produtos siderúrgicos. Considera-se, então, a possibilidade investimento em um laminador que permitisse a produção de bobinas a quente, produto de maior valor agregado com diversos usos industriais, elaborado a partir das placas de aço. O desembolso de capital para montagem do laminador com capacidade 2,8 milhões de toneladas/ano é de R\$ 2.880 milhões, depreciáveis ao longo de 20 anos. Na data da avaliação, o preço da tonelada da bobina a quente é de US\$ 750, e o dólar americano está cotado a R\$ 1,80. Supõe-se que os preços do laminado a quente, de forma semelhante aos das placas de aço, cresçam no decorrer dos próximos cinco anos a uma taxa média de 2,5% a.a., em termos reais. A implantação do laminador implicaria um incremento nas despesas gerais anuais de R\$ 120 milhões e US\$ 100 em custos de produção por tonelada de aço produzido. Por simplificação, considera-se que os re-investimentos necessários para manutenção da planta sejam similares à depreciação.

O fluxo de caixa incremental, em termos esperados, obtido com a implantação do laminador pode ser definido pela equação (2):

$$FCXI_s = [Cap \times UC \times ((S_s^* - S_s - OCP^*) \times TC) - DG^* - DA^*] (1 - AI) \Delta s \quad (2)$$

Em que:

$FCXI_s$ – Fluxo de Caixa Incremental do Laminador de Bobinas a Quente no trimestre s (em R\$ 1.000,00);

Cap – Capacidade Instalada da Planta em toneladas/ano;

UC – Uso da Capacidade Instalada;

S_s^* – Receita Líquida por Tonelada de Bobinas a Quente no trimestre s (em US\$);

S_s – Receita Líquida por Tonelada de Placas de Aço no trimestre s (em US\$);

OCP^* – Custos Incrementais de Produção das Bobinas a Quente por Tonelada (em US\$);

TC – Taxa de Câmbio (R\$/US\$);

DG^* – Despesas Gerais Incrementais com a Produção das Bobinas a Quente (em R\$ 1.000,00)/ano;

DA^* – Depreciação e Amortização Incrementais com o Investimento no Laminador (em R\$ 1.000,00)/ano;

AI – Alíquota de Impostos

Δs – 0,25 (período trimestral)

Considerando-se um custo de capital para esse tipo de projeto de 10% ao ano, em termos reais, o VPL estático incremental do laminador de bobinas a quente é estimado em R\$ 796,830 milhões.

4.2 Opção de Troca de Produto em Usinas Integradas – MGB

A análise estática do VPL incremental do laminador despreza, no entanto, a importante alternativa estratégica de troca de produto, por pressupor que, durante todo período de avaliação, a produção será, exclusivamente, de bobinas a quente. Ocorre que, em determinados períodos, em função de oscilações nos preços dos produtos siderúrgicos provocadas por variações momentâneas de oferta e demanda, a produção de placas de aço pode ser uma alternativa mais interessante que a produção de bobinas. O valor da opção de troca de produto pode, então, ser obtido diretamente pela simulação neutra ao risco dos fluxos incrementais obtidos pela venda de placas em relação à venda de bobinas, e o devido desconto desses fluxos pela taxa livre de risco, conforme demonstrado pelas equações (3) e (4):

$$OPT_0 = \frac{\sum_{s=1}^{\infty} E_0^*[FCXI_s^*]}{(1+r)^s} \quad (3)$$

$$FCXI_s^* = \text{Max}[Cap \times UC \times (S_s - S_s^* + OCP^*) \times TC \times (1 - AI) \Delta s; 0] \quad (4)$$

Em que:

OPT_0 – Valor da Opção de Troca no tempo 0 (em R\$ 1.000,00);

$E_0^*[\cdot]$ – Expectativa Neutra ao Risco no tempo 0;

$FCXI_s^*$ – Fluxo de Caixa Incremental da Venda de Placas de Aço em relação a Venda de Bobinas a Quente no trimestre s (em R\$1.000);

Cap – Capacidade Instalada da Planta em toneladas/ano;

UC – Uso da Capacidade Instalada;

S_s – Receita Líquida por Tonelada de Placas de Aço no trimestre s (em US\$);

S_s^* – Receita Líquida por Tonelada de Bobinas a Quente no trimestre s (em US\$);

TC – Taxa de Câmbio (R\$/US\$);

OCP^* – Custos Incrementais de Produção das Bobinas a Quente por Tonelada (em US\$);

AI – Alíquota de Impostos

Δs – 0,25

Para obtenção da Expectativa Neutra Risco, $E_0^*[\cdot]$, foi utilizado o método de Simulação de Monte Carlo do MGB Neutro ao Risco dos processos de Receita Líquida (S) das Placas de Aço e de Laminados a Quente, utilizando-se o software *@Risk*, pela equação (5):

$$S_s = S_{s-1} \exp \left[\left(\mu - \pi - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta s + \sigma N(0,1) \sqrt{\Delta s} \right] \quad (5)$$

Em que:

S_s – Receita Líquida por Tonelada de Placas de Aço no trimestre s (em US\$);

μ – parâmetro do *drift* do processo (ao ano);

π – prêmio de risco do processo;

σ – parâmetro de volatilidade (ao ano);

$N(0,1)$ – distribuição normal de média 0 e desvio padrão 1.

Supondo-se que os preços do aço se comportem como um MGB, foram utilizados *drifts* de crescimento para o log de S_s e S_s^* similares àqueles utilizados na projeção dos fluxos de caixa do caso base, de: $(\mu - \sigma^2/2) = 2,5\%$. Como parâmetro de volatilidade para as placas de aço, utilizou-se $\sigma = 34,32\%$, estimado a partir dos log-retornos dos índices de preços de placas de aço da série apresentada na Figura 2. Como parâmetro de volatilidade para as bobinas a quente, utilizou-se $\sigma = 9,84\%$, também estimado a partir dos log-retornos dos índices de preços de aços planos não revestidos da série apresentada na Figura 2. Adicionalmente, os dois processos de preços supracitados foram supostos correlacionados, sendo o parâmetro $\rho = 0,238$ estimado a partir da correlação dos log-retornos de S_s e S_s^* . Para a simulação dos processos correlacionados, foi utilizada a decomposição de Cholesky, segundo a qual duas variáveis aleatórias, ambas seguindo distribuições normais correlacionadas (Z_A e Z_B), podem ser simuladas conjuntamente pela equação: $Z_B = \rho Z_A + (1 - \rho^2)^{0,5} Z_W$, em que Z_W e Z_A são distribuições normais padrão independentes. Para a modelagem da opção, foi necessário ainda estimar os prêmios de risco (π_s e π_{s^*}), que, subtraídos dos *drifts* $(\mu - \sigma^2/2)$, permitem o desconto dos fluxos de caixa expandidos utilizando-se taxas livres de risco, $r = 5\%$, no caso em questão. A estimação do prêmio de risco pode ser efetuada pelo método descrito por Hull (2006, cap. 31) e utilizado nos trabalhos de Irwin (2003), Brandão e Saraiva (2007), Blank, Baidya e Dias (2009). O método estima o prêmio a partir da correlação dos retornos do ativo e dos retornos do mercado, da volatilidade dos retornos do ativo, da volatilidade dos retornos do mercado e do prêmio de risco de mercado, conforme demonstrado na equação (6):

$$\pi_i = \frac{\rho_{i,m} \sigma_i}{\sigma_m} \pi_m \quad (6)$$

Onde:

π_i - prêmio de risco do processo de preços do ativo i;

$\rho_{i,m}$ - correlação dos retornos do ativo i com mercado;

σ_i - volatilidade dos retornos do ativo i;

σ_m - volatilidade dos retornos do mercado;

π_m - prêmio de risco do mercado.

Utilizando-se a metodologia descrita acima, os prêmios de risco foram estimados em $\pi_S = 0,33\%$ e $\pi_{S^*} = 0,37\%$. De posse dos fluxos incrementais estimados, $E_0^*[FCXI_s^*]$, descontados a uma taxa livre de risco $r = 5\%$ a.a., foi obtido um valor de R\$ 760 milhões para Opção de Troca de Produto, o que aumentaria em 95% o VPL estático estimado para o projeto do laminador de bobinas a quente, como pode ser observado na Figura 3, referente à Simulação de Monte Carlo.

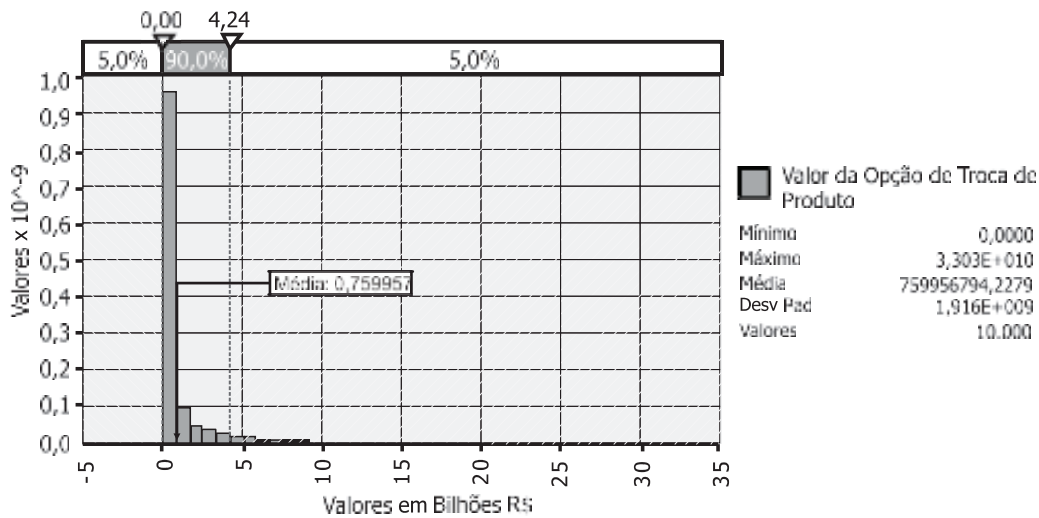


Figura 3 – Valor da Opção de Troca de Produto (MGB) em Bilhões de Reais

4.3 Opção de Troca de Tecnologia em Usinas Integradas – MRM

A partir das mesmas informações utilizadas no caso anterior (seções 4.1 e 4.2), nesta seção, será avaliada uma opção de troca de tecnologia (produto) em uma usina siderúrgica integrada, supondo-se, nesse caso, que os preços do aço seguem um movimento de reversão à média. O processo estocástico escolhido foi o Modelo 1 de Schwartz (1997), cuja forma de simulação neutra ao risco está apresentada na equação (7):

$$S_s = \exp \left(\ln S_{s-1} e^{-\eta \Delta s} + \left(\ln \bar{S} - \frac{\sigma^2}{2\eta} - \lambda \right) (1 - e^{-\eta \Delta s}) + \frac{\sigma}{\sqrt{2\eta}} \sqrt{1 - e^{-2\eta \Delta s}} N(0,1) \right) \quad (7)$$

Em que:

S_s – Receita Líquida por Tonelada de Placas de Aço em s (em US\$);

$\ln \bar{S}$ – log da média de longo prazo dos preços;

η – parâmetro de velocidade de reversão a média do processo (ao ano);

λ – prêmio de risco normalizado do processo;
 σ – parâmetro de volatilidade do processo (ao ano).

Novamente, os parâmetros anuais foram estimados a partir das séries de índices de preços de placas de aço, apresentadas na Figura 2, sendo estes: $\eta_S = 0,67$, $\sigma_S = 35,1\%$, $\bar{S} = 551,10$ US\$/tonelada, respectivamente, os parâmetros de velocidade de reversão, a volatilidade e a média de longo prazo das placas de aço. E: $\eta_{S^*} = 0,18$, $\sigma_{S^*} = 9,94\%$, $\bar{S}^* = 826,65$ US\$/tonelada, os mesmos parâmetros referentes à série de aços planos não revestidos, utilizados para cálculo da receita líquida das bobinas a quente. A abordagem utilizada para estimação dos parâmetros do processo MRM foi aquela desenvolvida por Bastian-Pinto, Brandão e Hahn (2009).

De forma similar ao efetuado no MGB, é necessária também, nesse caso, a subtração do prêmio de risco no modelo para obtenção do processo neutro ao risco de simulação. No caso do MRM, o prêmio de risco π deverá ser normalizado dividindo este pelo parâmetro de velocidade de reversão: $\lambda = \pi/\eta$. Os prêmios de risco padronizados estimados para os processos de preços das placas e de bobinas a quente foram estimados, respectivamente, em: $\lambda_S = 0,047$ e $\lambda_{S^*} = 0,112$.

Considerando-se as alterações nos processos de preço do aço, foram observadas mudanças nos VPL dos projetos sem flexibilidade, pela simples suposição de que os preços do aço seguem um MRM e não um MGB, como no caso base original. Com essa modificação de modelo, houve redução no VPL estático do alto-forno de R\$ 789 milhões para R\$ 556 milhões, e no caso do laminador de bobinas a quente o VPL estático, que era de R\$ 797 milhões no MGB, mudou para R\$ 320 milhões, com a alteração para o MRM. A partir do desconto pela taxa livre de risco dos fluxos incrementais estimados, $E_0^*[FCXI_s^*]$, foi obtido um valor de R\$ 268 milhões para Opção de Troca de Produto, com a suposição de que os preços do aço seguem um MRM, como pode ser observado na Figura 4, referente à Simulação de Monte Carlo.

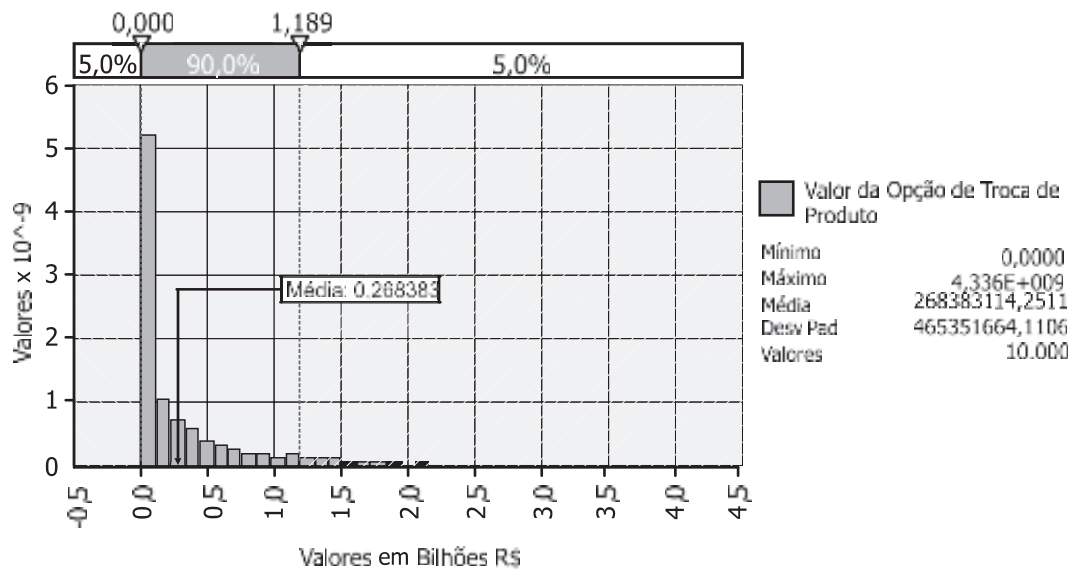


Figura 4 – Valor da Opção de Troca de Produto (MRM) em Bilhões de Reais

4.4 Resultados

A Tabela 1 resume os valores encontrados para o projeto de uma Siderúrgica Integrada composta por um alto-forno e um laminador a quente, contendo uma Opção de Troca de Tecnologia (Troca de Produto), nos seus cinco primeiros anos de vida, considerando-se dois tipos de processos estocásticos utilizados para os preços do aço.

Tabela 1 – Opção de Troca de Tecnologia: Valor do Alto-Forno, VPL do Alto-Forno, VPL do Laminador, Valor Expandido do Laminador, Valor da Opção, em R\$ Milhões.

Opção de Troca de Tecnologia em Usinas Integradas		
	MGB	MRM
Valor do Alto-Forno	4.928,9	4.696,1
VPL do Alto-Forno	788,9	556,1
VPL do Laminador	796,8	320,4
VPL Exp. Do Laminador	1.556,8	588,8
Valor da Opção	760,0	268,4
Acrésc. % ao VPL	95%	84%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira coluna da Tabela 1 (MGB) apresenta os resultados obtidos para os projetos do alto-forno e do laminador a quente considerando que os preços das placas (produzidas no alto-forno) e dos laminados a quente (produzidos no Laminador) seguem dois processos MGB correlacionados, enquanto a segunda coluna da Tabela 1 (MRM) apresenta os resultados obtidos para os projetos do alto-forno e do laminador a quente considerando que os preços do aço comportam-se como dois processos MRM também correlacionados. Como é possível observar, a mudança do MGB para o MRM acarretou a redução do VPL estático (tanto do alto-forno quanto do laminador) e no valor da Opção de Troca de Tecnologia. Tal fenômeno decorre do fato de a variância do MGB ser crescente no tempo, e portanto proporcional a:

$\sigma.s.$, enquanto, no caso do MRM, essa variância tende a convergir para um valor determinado: σ^2/η (PINDYCK, 1994). A consequência dessa característica desses processos estocásticos é que, para opções com longos prazos de vida, é razoável esperar maiores valores provenientes do MGB do que no MRM. Isso é confirmado em diversos trabalhos, tais como: Bastian-Pinto, Brandão & Hahn (2009) e Schwartz (1997). No caso apresentado, de troca de produtos em indústria siderúrgica, a principal variável incerta é o preço do aço e seus subprodutos. Como estes têm fortes características de *commodities*, é razoável pensar que podem ser guiados por um processo de reversão à média e não por um MGB, como, frequentemente, é assumido em trabalhos envolvendo opções reais.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a sensibilidade do valor da opção em relação aos parâmetros: *drifts*, volatilidades, e correlação dos dois processos de preço (placas e laminados a quente) seguindo o MGB.

Tabela 2 - Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia a Diferentes Valores dos *Drifts* dos Processos de Preços do Aço seguindo o MGB, em R\$ Milhões.

Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia			
<i>Drift da Placa</i>	<i>Drift do Laminado a Quente</i>		
	1,0%	2,5%	4,0%
1,0%	743,7	689,6	574,4
2,5%	855,7	760,0	706,5
4,0%	983,6	900,3	785,7

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3 - Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia a Diferentes Volatilidades dos Processos de Preços do Aço seguindo o MGB, em R\$ Milhões.

Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia			
Vol. da Placa	Vol. Do Laminado a Quente		
	5,0%	10,0%	15,0%
25,0%	429,3	443,7	512,6
35,0%	742,3	764,1	833,0
45,0%	1145,0	1165,0	1202,0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4 - Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia a Diferentes Níveis de Correlação entre os Processos de Preços do Aço seguindo um MGB, em R\$ Milhões.

Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia	
<i>Correlação entre os Processos</i>	<i>Valor de Opção de Troca de Tecnologia</i>
5%	828,8
15%	792,5
25%	757,2
35%	717,6
45%	690,3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, considerando-se a hipótese de que os preços do aço seguem um MGB, a Opção de Troca de Tecnologia apresenta maiores valores quanto maior for o *drift* de tendência da placa de aço, em relação ao *drift* do laminado a quente. Essa análise é importante, visto que foi assumido um caso base com *drift* de 2,5% para ambas variáveis estocásticas, apesar de as séries de índices disponíveis indicarem valores de taxas mais altas no período analisado. Como já explicado, esse período (2000 a 2009 – Figura 2) antecede mudanças estruturais do setor, que não deverão permitir a manutenção das taxas de crescimento apresentadas, e, portanto, foi usada a taxa de crescimento de uma série mais longa, que, porém, não cobre todos os produtos necessários à presente análise. No entanto, ao analisar a sensibilidade do valor da opção aos *drifts* dos produtos, pode-se observar que o valor desta permanece significativamente alto para qualquer valor simulado, sendo o menor de R\$ 690 milhões e o mais elevado R\$ 984 milhões, demonstrando que a opção tem valor significativo mesmo para valores baixos de *drift*.

Nas Tabelas 3 e 4, é possível observar que o valor da Opção de Troca de Tecnologia aumenta à medida que a volatilidade dos preços de aço aumenta, enquanto o valor da opção diminui à medida que a correlação entre os preços aumenta.

As Tabelas 5 e 6 demonstram a sensibilidade do valor da opção em relação aos parâmetros: velocidade de reversão e nível de equilíbrio de longo prazo dos dois processos de preço (placas e laminados a quente) seguindo um MRM.

Tabela 5 - Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia a Diferentes Velocidades de Reversão dos Processos de Preços do Aço seguindo o MRM, em R\$ Milhões.

Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia			
Veloc. de Ver. da Placa	Velocidade de Ver. do Laminado a Quente		
	15,0%	20,0%	25,0%
50%	332,2	322,2	305,5
70%	259,9	253,1	245,9
90%	217,9	210,4	203,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6 - Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia a Diferentes Níveis de Equilíbrio de Longo Prazo dos Processos de Preços do Aço seguindo o MRM, em R\$ Milhões.

Sensibilidade do Valor da Opção de Troca de Tecnologia			
Nível de Equil. Preços (Placas)	Nível de Equilíbrio dos Preços (Laminados)		
	820	850	880
530	228,4	216,5	199,8
550	279,4	265,3	242,4
570	334,7	307,8	287,6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 5, considerando-se a hipótese de que os preços do aço seguem um MRM, é possível observar que o valor da Opção de Troca de Tecnologia reduz à medida que a velocidade de reversão dos processos de preços de aço aumenta, enquanto, na Tabela 6, é possível constatar que o valor da opção é maior para maiores níveis de equilíbrio dos preços das placas de aço e para menores níveis de equilíbrio dos laminados a quente. Em relação à sensibilidade do valor da opção quanto a variações nos demais parâmetros do MRM, mais especificamente volatilidade e correlação entre os processos, as conclusões são similares às obtidas para o caso do MGB.

Ao ser analisada a sensibilidade do valor da opção real estudada aos seus parâmetros, o que mais chama a atenção é que a diferença de valor quando as variáveis são modeladas por MGB ou MRM é significativamente maior do que qualquer sensibilidade aos parâmetros dos processos. Esse importante ponto indica que a escolha do processo estocástico pode ser ainda mais influente do que a precisão na parametrização do processo, quando se trata de cálculos de opções reais de longa duração. Nesse caso, o modelo estocástico escolhido poderá influenciar o valor da opção, principalmente, pelos seus parâmetros de tendência (*drift* no MGB e nível de equilíbrio no MRM), além de suas características de variância. Assim, a escolha correta do modelo de difusão estocástico é decisiva na correta avaliação de opções reais de longa duração, principalmente, em setores ligados a preços de *commodities*.

5 CONCLUSÕES

As decisões de investimento em usinas siderúrgicas são tomadas em um ambiente de incertezas, em que a volatilidade dos preços do aço e a variabilidade de quantidades demandadas têm a capacidade de alterar, significativamente, o desempenho econômico dos projetos nesse setor. Nas usinas siderúrgicas semi-integradas, esse problema pode ser atenuado pela redução da produção ou até mesmo pela parada da produção por um determinado período. Essa alternativa estratégica, no entanto, não está disponível para usinas integradas, pois os altos-fornos têm a desvantagem de necessitarem trabalhar de forma contínua, com pouca flexibilidade no ajuste da escala. Por outro lado, as siderúrgicas integradas, normalmente, investem em ativos de laminação que lhes permitem produzir diferentes tipos de produtos siderúrgicos. Levando-se em consideração que esses produtos siderúrgicos são consumidos por diversas indústrias e suas variações de preço são correlacionadas, mas não idênticas ao longo do tempo, esses investimentos podem gerar valiosas opções de troca de produto.

Neste trabalho, utilizando-se a simulação de Monte Carlo, foi analisado o valor de uma opção de troca de produto em uma usina siderúrgica integrada hipotética, constituída por um alto-forno e por um laminador a quente, ambos com uma capacidade máxima de produção de 2,8 milhões de toneladas/ano. Como modelos de comportamento de preços, dois diferentes tipos de processos estocásticos foram considerados, o Modelo de Reversão à Média (MRM) e o Movimento Geométrico Browniano (MGB). Os resultados obtidos apontam que, independentemente do processo de escolha, essa opção possui um valor significativo que aumenta, consideravelmente, o valor criado para os acionistas de projetos siderúrgicos integrados. Em alguns casos, essa importante opção real pode até mesmo fazer a diferença com relação à viabilidade do projeto em si. No entanto a correta determinação do processo estocástico adequado à modelagem das incertezas envolvidas pode ser grandemente influente na avaliação da opção real. No caso analisado, a diferença de valor da opção calculada usando-se dois processos estocásticos diferentes chega a ser importante, apesar de seu valor ainda permanecer significativo. A escolha do modelo de difusão estocástico é, portanto, fundamental na modelagem de opções reais em projeto ligados a commodities. Como sugestão para outros trabalhos futuros nesse setor, outras opções podem ser investigadas, tais como a opção de parada temporária e a opção de expansão de escala.

REFERÊNCIAS

- BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L. E. T.; HAHN, W. J. Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: the ethanol case. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 335-510, maio, 2009.
- BJERKSUND, P.; EKERN, S. Managing investment opportunities under price uncertainty: from “last chance” to “wait and see” strategies. **Financial Management**, v. 3, n. 19, p. 65-83, Autumn 1990.
- BLANK, F. B.; BAYDIA, T. K. N.; DIAS, M. A. G. Private infrastructure investment through public private partnership: an application to a toll road highway concession in Brazil. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON REAL OPTIONS, 13., 2009. **Anais...** UNIVERSITY OF MINHO, PORTUGAL & UNIVERSITY OF SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPANHA, 17-20 jun. 2009.
- BLOOMBERG – Business, Financial & Economic News Stock Quotes. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com>>. Acesso em: 5 out. 2009.
- BM&FBOVESPA. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/home.aspx?idioma=pt-br>>. Acesso em: 5 jan. 2011.
- BRANDÃO, L. E. T.; SARAIVA, E. C. G. Risco privado em infra-estrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. **Revista de Administração Pública**, v. 41, n. 6, p. 1035-1057, nov./dez. 2007.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. Evaluating natural resource investment. **Journal of Business**, v. 58, n. 2, p. 135-157, 1985.

CAULEY, S. D.; PAVLOV, A. D. Rational delays: the case of real estate. **Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 24, n. 1-2, p.143-165, 2002.

DAMODARAN, A. Levered and unlevered betas for industry. Disponível em: <www.damodaran.com>. Acesso em: 5 jan. 2011.

DIAS, M. A. G.; ROCHA, K. Petroleum concessions with extendible options using mean reversion with jumps to model oil prices. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON REAL OPTIONS, 3., 1999, Wassenaar/Leiden. **Anais...** Wassenaar/Leiden, Holanda, 1999.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R, S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

DOCKENDORF, J.; PAXSON, D. the value of switching outputs in a fertilizer plant in the US. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON REAL OPTIONS, 13., 2009. **Anais...** UNIVERSITY OF MINHO, PORTUGAL & UNIVERSITY OF SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPANHA, 17-20 jun. 2009.

FORTUNATO, G. et al. Valor da opção de abandono em lançamentos imobiliários residenciais. **RAC Eletrônica**, v. 2, n. 3, p. 531-545, set./dez. 2008.

GOMES, L. L. **Avaliação de termelétricas no Brasil**: estudando o melhor momento de investimento por modelos de opções reais. 2002. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2002.

HERBELOT, O. **Option valuation of flexible investments**: the case of environmental investments in the electric power industry. Thesis (Ph. D.) – Dept. of Nuclear Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1992.

HULL, J. C. **Options, futures, and other derivatives securities**. 6. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2006.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IBS). Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br>>. Acesso em: 3 out. 2009.

IMF & WORLD STEEL ASSOCIATION. Disponível em: <www.imf.org>. Acesso em: 5 out. 2009.

IRWIN, T. Public money for private infrastructure. **World Bank Working Paper**, n. 10, 2003. Disponível em: <<http://rru.worldbank.org/Documents/PapersLinks/Public%20Money%20for%20Private%20Infrastructure.pdf>>.

MOREIRA, A.; ROCHA, K.; DAVID, P. Thermopower generation investment in Brazil: economic conditions. **Energy Policy**, n. 32, n. 1, p. 91-100, jan. 2004.

MYERS, S. Determinants of corporate borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, n. 2, p. 147-175, nov. 1977.

PINDYCK, R. S. The dynamics of commodity spot and futures markets: a primer. **The Energy Journal**, v. 22, n. 3, p. 1-29, ago. 2001.

PINDYCK, R. S. The long run evolution of energy prices. **The Energy Journal**, v. 20, n. 2, p. 1-27, 1999.

QUIGG, L. Empirical testing of real option: pricing models. **The Journal of Finance**, v. 48, n. 2, p. 621-641, jun. 1993.

SCHWARTZ, E. S. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging. **The Journal of Finance**, v. 52, n. 3, p. 923-973, jul. 1997.

SCHWARTZ, E. S.; SMITH, J. E. Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices. **Management Science**, v. 46, n. 7, p. 893-911, jul. 2000.

TITMAN, S. Urban land prices under uncertainty. **The American Economic Review**, v. 75, n. 3, p. 505-514, jun. 1985.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of reserves of natural resources**: an option pricing approach. Tese (Doutorado em Administração.) – University of California, Berkeley, 1979.

WILLIAMS, J. Real state development as an option. **Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 4, n. 2, p. 191-208, jun. 1991.

WORLD STEEL ASSOCIATION. Brussels - Belgium, 2009. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org>>. Acesso em: 3 out. 2009.

WORLD STEEL DYNAMICS INC. – Global Steel Export Pricing: Forecast to 2018, July 2008. Disponível em: <<http://www.worldsteeldynamics.com/subscription/publist2008.html>>. Acesso em: 20 out. 2009.