



Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da Fontoura

**Avaliação socioeconômica de projetos em
ambiente de incerteza:
combinando a Análise de Custo-Benefício (CBA) com
a Análise pela Teoria Opções Reais (ROA)**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração de Empresas.

Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro
Julho de 2016



Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da Fontoura

**Avaliação socioeconômica de projetos em ambiente
de incerteza: combinando a Análise Custo-Benefício (CBA)
com a Análise pela Teoria Opções Reais (ROA)**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Leonardo Lima Gomes

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Guimaraes Dias

Petróleo Brasileiro

Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Grupo IBMEC

Prof. Celso Funcia Lemme

UFRJ

Profa. Mônica Herz

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 14 de julho de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

**Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da
Fontoura**

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), em 2006. Obteve o título de Mestre em Administração de Empresas pelo Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio em 2011. Em 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio, para obtenção do título de Doutor.

Atualmente trabalha no setor de Tecnologia de Informação e Telecomunicações da Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras, mais especificamente na área de suporte a manutenção dos serviços de telecomunicações.

Ficha Catalográfica

Fontoura, Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da

Avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza: combinando a Análise de Custo-Benefício (CBA) com a Análise pela Teoria Opções Reais (ROA / Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da Fontoura ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão. – 2016.

136 f.: il. (color) ; 30 cm

Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2016.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Análise Custo-Benefício. 3. Teoria de Opções Reais. 4. Análise de Custo-Benefício com Opções Reais. 5. COBRA. 6. CBA. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

À minha família, cujo apoio foi fundamental para superação desse desafio.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha família, em especial aos meus pais Carlos Eduardo Fontoura e Thelma Fontoura e minha esposa, Yuna Fontoura, por terem me incentivado durante esse longo período de trabalho que demandou sua compreensão quanto aos longos períodos de ausência

Aos meus sogros, Erington Reis e Maria Alzenir Reis, pelo apoio constante.

Ao professor Luiz Brandão cujo apoio, orientação e principalmente paciência, foram essenciais ao longo da elaboração da tese.

Aos meus superiores na Petrobras Rosiane Oliveira Aragão, Firmo do Couto Filho, Isaac Raymundo Chaperman e João Batista Machado Pereira pelo incentivo e por me permitirem a flexibilidade de horário necessária para cursar o doutorado.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em especial ao IAG, pelos auxílios concedidos sem os quais esse trabalho não poderia ter sido realizado.

Resumo

Fontoura, Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza: combinando a Análise de Custo-Benefício (CBA) com a Análise pela Teoria Opções Reais (ROA)**. Rio de Janeiro, 2016. 136p. Tese de Doutorado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Um Governo deve ser comprometido com a melhoria contínua da prestação de serviços públicos e parte significativa deste comprometimento dá-se por garantir que os fundos públicos são gastos em atividades e projetos que proporcionam os maiores benefícios para a sociedade. A realização de uma Análise de Custo-Benefício (CBA) fornece ao decisor comparações quantitativas das alternativas de investimento, em conjunto com informações de apoio adicionais sobre todos os custos e benefícios que não puderam ser quantificados, auxiliando no processo decisório. Uma limitação da CBA é que, apesar da incerteza ser um aspecto inerente a ela, os fluxos de custos e benefícios futuros são estimados baseando-se somente em informações e premissas disponíveis no momento da decisão de investimento. Já existe extensa literatura demonstrando ser cada vez maior a importância de um gerenciamento empresarial flexível, com revisões constantes das estratégias e dos planos já concebidos. Logo, se percebe a necessidade de uma ferramenta como a Análise pela Teoria de Opções Reais (ROA) que permita a inclusão das incertezas e flexibilidades gerenciais na CBA. O principal objetivo dessa tese foi desenvolver um quadro teórico que permitisse a avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza por meio da combinação da análise de custo-benefício e da análise pela teoria de opções reais. Adicionalmente, ela também tentou verificar se a avaliação socioeconômica proposta produz resultados satisfatórios quando aplicada na prática. A abordagem integrada foi denominada de Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA). De forma a verificar se esta nova abordagem agrega valor a um projeto, ela foi aplicada na avaliação de uma termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol em um cenário sem flexibilidade (Caso Base) e com flexibilidade (Caso Flexível). Por meio dessa aplicação, foi verificado que a avaliação do projeto por meio da abordagem COBRA aumentou seu valor em 93

milhões de euros, tornando o resultado final positivo para a sociedade, permitindo a requisição de apoio financeiro governamental e viabilizando a realização do projeto. Os resultados obtidos indicam que, se aplicada corretamente, esta metodologia pode vir a ser uma alternativa viável para o problema de avaliação socioeconômica de projetos com flexibilidades em ambiente de incerteza.

Palavras-chave

Análise Custo-Benefício; CBA; Teoria de Opções Reais; ROA; Análise de Custo-Benefício com Opções Reais; COBRA.

Abstract

Fontoura, Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira (Advisor). **Socioeconomic valuation of projects under uncertainty: combining Cost-Benefit Analysis (CBA) and Real Options Analysis (ROA)**. Rio de Janeiro, 2016. 136p. Doctoral Thesis - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A government must be committed to the continuous improvement of its public services and a significant part of this commitment involves ensuring that public funds are spent on activities and projects that provide the greatest benefits to society. Conducting a Cost-Benefit Analysis (CBA) provides the decision maker with quantitative comparisons of investment alternatives, together with additional supporting information about all costs and benefits that could not be quantified, assisting in decision making. A limitation of CBA is that despite uncertainty being an inherent aspect to it, the future flows of costs and benefits are estimated based only on information and assumptions available at the time of the investment decision. Since there already is extensive literature demonstrating the increasing importance of flexible business management, with constant revisions of previously designed strategies and plans, one realizes the need for a tool like Real Options Analysis (ROA) that allows the inclusion of uncertainty and managerial flexibility in CBA. The main objective of this thesis was to develop a theoretical framework for the socioeconomic evaluation of projects under uncertainty through the combination of cost-benefit analysis and real options analysis. In addition, it also tried to verify if the proposed framework produces satisfactory results when applied in practice. The integrated approach was called COst-Benefit Real options Analysis (COBRA). In order to verify if this new approach adds value to a project, it was applied in the evaluation of a biomass powerplant with an ethanol production unit in a scenario without flexibility (Base Case) and with flexibility (Flexible Case). Through this application, it was found that the project evaluation through the COBRA approach increased its value by 93 million, turned the project into something beneficial for society, enabled government subsidies and made the project feasible. The results indicate that, if applied correctly, this approach may

prove to be a viable alternative to the problem of socioeconomic evaluation of projects with flexibilities under uncertainty.

Keywords

Cost-Benefit Analysis; CBA; Real Options Analysis; ROA; Cost-Benefit Real Options Analysis; COBRA.

Sumário

1. Introdução	16
1.1 Pergunta de pesquisa	18
1.2 Relevância acadêmica e prática	18
1.3 Estrutura da tese	19
2. Avaliação financeira de projetos	21
2.1 Modelos estocásticos e determinísticos	23
2.2 Opções reais como uma metodologia adequada para avaliação de projetos	24
2.3 Tipos de opções reais	28
2.3.1. Postergar um projeto	28
2.3.2. Abandonar temporária ou definitivamente um projeto	29
2.3.3. Expandir ou contrair a escala de produção	30
2.3.4. Troca de matérias-primas ou de produtos finais de um projeto	31
2.4 Métodos de valoração por opções reais	31
2.4.1. Equações diferenciais parciais	31
2.4.2. Simulações	33
2.4.3. Árvores binomiais	35
2.5 Etapas da análise pela Teoria de Opções Reais (ROA)	37
2.5.1. Etapa A: Identificar e associar fontes de incerteza e flexibilidade e definir estratégias de opções reais	38
2.5.2. Etapa B: Calcular o VPL do projeto sem opções (Caso Base)	39
2.5.3. Etapa C: Calcular o VPL do projeto com opções (Caso Flexível)	39
2.5.4. Etapa D: Calcular o valor da opção	40
3. Avaliação socioeconômica de projetos	41
3.1 O conceito de avaliação socioeconômica	42
3.2 Aspectos principais	43
3.2.1. Custo de oportunidade	44
3.2.2. Perspectiva de longo prazo	44

3.2.3. Cálculo de indicadores de desempenho socioeconômico em termos monetários	44
3.2.4. Abordagem microeconômica	45
3.2.5. Abordagem incremental	45
3.3 Taxa de Desconto Social	46
3.3.1. Taxa Social de Preferência Temporal (SRTP)	48
3.4 Incertezas e análise de risco	50
3.4.1. Taxa de Desconto Ajustada ao Risco	51
3.4.2. Análises de sensibilidade e de cenários	52
3.4.3. Análise de risco	53
4. Análise de custo-benefício	55
4.1 Contexto geral da CBA nas ciências econômicas	57
4.2 CBA e a incorporação do conceito de bem-estar social	60
4.3 A abordagem de disposição a pagar na avaliação de impactos diretos e externos	63
4.3.1. Métodos de preferência revelada	64
4.3.1.1. Método de Preços Hedônicos	64
4.3.1.2. Método de custo de viagem	65
4.3.1.3. Método do comportamento preventivo	66
4.3.2. Métodos de preferência declarada	67
4.3.2.1. Método de avaliação de contingência	67
4.3.2.2. Método de modelagem de escolha	68
4.3.3. Método da transferência de benefícios	69
4.4 Etapas da Análise de Custo-Benefício (CBA)	70
4.4.1. Etapa um: Definir o projeto, seus objetivos e a alternativas relevantes	71
4.4.2. Etapa dois: Identificar os impactos do projeto	72
4.4.3. Etapa três: Quantificar os impactos relevantes	73
4.4.4. Etapa quatro: Valorar monetariamente os efeitos relevantes	74
4.4.5. Etapa cinco: Descontar custos e benefícios	75
4.4.6. Etapa seis: Aplicar o teste do valor presente líquido	76
4.4.7. Etapa sete: Realizar uma análise de sensibilidade e de cenários	76

4.5	Limitações da CBA	77
5.	Integrando a Análise Custo-Benefício (CBA) e a Análise por Opções Reais (ROA) para a avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza	79
5.1	Princípios complementares para integração da CBA e da ROA	80
5.2	Passos da Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA)	83
5.2.1.	Passo um: Definir o projeto, seus objetivos e as alternativas existentes	84
5.2.2.	Passo dois: Identificar os impactos do projeto, suas incertezas e possíveis flexibilidades e estabelecer estratégias de opções reais para cada par incerteza-flexibilidade	84
5.2.3.	Passo três: Quantificar e valorar custos e benefícios e calcular o VPLE do projeto com e sem opções;	85
5.2.4.	Passo quatro: Calcular o valor socioeconômico da opção	85
6.	Aplicação	86
6.1	Aplicação da COBRA na avaliação da Termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol	86
6.1.1.	Análise financeira pela Teoria de Opções Reais	88
6.1.1.1.	Identificar e associar fontes de incerteza e flexibilidade e definir estratégias de opções reais	88
6.1.1.2.	Calcular o VPL do projeto sem opções (Caso Base)	89
6.1.1.3.	Calcular o VPL do projeto com opções (Caso Flexível)	95
6.1.1.4.	Calcular o valor da opção	101
6.1.2.	Análise socioeconômica por meio da abordagem COBRA	102
6.1.2.1.	Passo um: Definir o projeto, seus objetivos e as alternativas existentes	102
6.1.2.2.	Passo dois: Identificar os impactos do projeto, suas incertezas e possíveis flexibilidades e estabelecer estratégias de opções reais para cada par incerteza-flexibilidade	103
6.1.2.3.	Passo três: Quantificar e valorar custos e benefícios e calcular o VPLE do projeto com e sem opções	104

6.1.2.3.1. Cálculo do VPLE do projeto sem opções	104
6.1.2.3.2. Cálculo do VPLE do projeto com opções	113
6.1.2.4. Passo quatro: Calcular o valor socioeconômico da opção	120
6.1.3. Síntese dos resultados	121
7. Conclusões e Recomendações	123
7.1 Conclusões	123
7.2 Limitações da metodologia	125
7.3 Recomendações para trabalhos futuros	125
8. Referências bibliográficas	127

Lista de figuras

Figura 1 - Etapas da análise pela Teoria de Opções Reais (ROA)	38
Figura 2 - Etapas da Análise de Custo-Benefício (CBA)	71
Figura 3 - Passos da Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA)	83
Figura 4 – Comparação análise financeira e análise socioeconômica	87
Figura 5 - Série diária e inflacionada de preços <i>spot</i> de energia elétrica (LPXBHRBS)	92
Figura 6 - VPL caso base	95
Figura 7 - Série semanal e inflacionada de preços <i>spot</i> de etanol (SBIOETT2)	99
Figura 8 - Teste de Razão de Variância da série de preços <i>spot</i> de etanol	100
Figura 9 - VPL caso flexível	101
Figura 10 - Série diária e inflacionada de preços <i>spot</i> de CO2 equivalente (EEXX03EA)	109
Figura 11 - Teste de Razão de Variância da série de preços <i>spot</i> da tonelada de CO2 equivalente	110
Figura 12 - VPLE caso base	112
Figura 13 - Série semanal inflacionada de preços <i>spot</i> de gasolina no varejo (ECOBGTGE)	114
Figura 14 - Teste de Razão de Variância da série de preços de gasolina no varejo	115
Figura 15 - Série mensal inflacionada de preços <i>spot</i> de gasolina no atacado (GFLOGEEX)	117
Figura 16 - Teste de Razão de Variância da série de preços de gasolina no atacado	117
Figura 17 - VPLE caso flexível	120
Figura 18 – VPL caso flexível com apoio governamental	122
Figura 19 – Comparação análise financeira e análise socioeconômica	122

Lista de tabelas

Tabela 1 - Métodos de avaliação de projetos de investimento	22
Tabela 2 - Processos estocásticos mais usuais	24
Tabela 3 - Analogia entre opções reais e financeiras	26
Tabela 4 - Estado do tratamento de incertezas e flexibilidades nos manuais governamentais de aplicação da CBA	78
Tabela 5 - Tabela de equivalência entre as etapas da CBA e da ROA	83
Tabela 6 - Parâmetros da simulação do preço <i>spot</i> da energia elétrica (base diária)	93
Tabela 7 - Parâmetros da simulação do preço <i>spot</i> do etanol (base semanal)	100
Tabela 8 - Parâmetros da simulação do preço <i>spot</i> da tonelada de CO2 equivalente (base diária)	111
Tabela 9 - Parâmetros da simulação do preço <i>spot</i> da gasolina no varejo (base semanal)	116
Tabela 10 - Parâmetros da simulação do preço <i>spot</i> da gasolina no atacado (base mensal)	118

1. Introdução

Um governo deve ser comprometido com a melhoria contínua da prestação de serviços públicos. Parte significativa deste comprometimento dá-se por garantir que os fundos públicos são gastos em atividades e projetos que proporcionam os maiores benefícios para a sociedade. Nesse contexto, os formuladores de políticas públicas enfrentam diariamente escolhas difíceis no que diz respeito à tentativa de otimizar a utilização de recursos escassos. A escolha de um projeto em detrimento de outro deve sempre ser vista no contexto de seu impacto nacional total, uma vez que a escolha do projeto tem consequências para uma série de questões relevantes aos objetivos do país.

Verificar se um programa tem efeitos positivos sobre a sociedade geralmente não é suficiente para avaliar o seu valor social e sua contribuição para que a almejada maximização do bem-estar social seja alcançada. Como os recursos sociais são limitados, é imperativo que os benefícios alcançados com a realização do programa ou projeto de investimento sejam comparados com seus custos. Além disso, os investimentos propostos devem sempre ser comparados com os custos e benefícios de soluções alternativas, pois somente assim a utilização dos recursos sociais pode ser maximizada para o bem público.

Percebe-se, então, a necessidade de métodos que permitam a avaliação dos custos e benefícios inerentes a uma atividade ou projeto de forma que seja possível verificar se estes agregam ou destroem valor à sociedade. Por outro lado, antes de avaliar se um projeto agrega ou destrói valor é preciso primeiro entender quais são esses valores:

- Valor financeiro: é criado quando existe um retorno financeiro sobre o investimento;
- Valor social: é criado quando recursos, processos e políticas são combinadas para gerar melhorias na vida dos indivíduos ou sociedade como um todo;

- Valor socioeconômico: é criado quando são realizadas a quantificação e monetização de certos elementos do valor social e incorporação destes valores monetizados às medidas de valor financeiro.

Desde pelo menos 1950, a Análise de Custo-Benefício (CBA do original em inglês *Cost Benefit Analysis*) tem sido utilizada como uma ferramenta de avaliação de projetos em um amplo espectro de situações e em um grande número de projetos. A CBA é frequentemente associada com a tomada de decisão objetivas e com o aumento da responsabilização sobre as decisões governamentais (Farrow e Toman, 1999).

A CBA é um método de organização de informações para auxílio de decisões sobre a alocação de recursos. Seu poder como uma ferramenta analítica repousa em duas características principais: custos e benefícios são expressos, tanto quanto possível, em termos monetários sendo diretamente comparáveis; e; todos os custos e benefícios são considerados e avaliados em termos de seus impactos para toda a sociedade, favorecendo uma perspectiva global.

A realização de uma CBA fornece ao decisor comparações quantitativas das alternativas de investimento, em conjunto com informações de apoio adicionais sobre todos os custos e benefícios que não puderam ser quantificados. Com isso, ela auxilia no processo decisório, sem, no entanto, substituir a necessidade de julgamento com base em uma ampla gama de considerações. Dentre outras possibilidades, ela pode ser empregada de forma a auxiliar o governo a: decidir se uma proposta de projeto ou programa deve ser realizada; decidir se um projeto ou programa existente deve ser mantido; escolher entre projetos ou programas alternativos; e; determinar regulamentos que afetam o setor privado.

Uma limitação da CBA é que a incerteza é um aspecto inerente a ela. Projetos de investimento ou políticas públicas que têm efeitos duradouros estão sujeitos a diversas incertezas e requerem previsões de seus impactos e estimativas de sua magnitude. Entretanto, a CBA utiliza estima os fluxos de custos e benefícios futuros baseando-se somente em informações e premissas disponíveis no momento da decisão de investimento.

Já existe extensa literatura demonstrando ser cada vez maior a importância de um gerenciamento empresarial flexível, com revisões constantes das estratégias e dos planos já concebidos, sendo a capacidade de antecipar mudanças e de se adaptar a elas vitais para a sobrevivência de uma empresa. Nesse contexto, é importante

perceber que as decisões gerenciais tomadas ao longo da vida útil do projeto alteraram os fluxos de custos e benefícios estimados inicialmente, podendo tornar um projeto positivo em negativo para a sociedade e vice-versa. Percebe-se então a necessidade de uma ferramenta que permita a inclusão das incertezas e flexibilidades gerenciais na CBA.

Estudos nas áreas de estratégia e finanças sugerem que a análise pela Teoria de Opções Reais (ROA do original em inglês *Real Options Analysis*) oferece uma ferramenta de avaliação de projetos poderosa em ambientes de incerteza e que seu uso bem-sucedido pode trazer benefícios como redução de risco e aumento do valor gerado pelo projeto (Trigeorgis, 1996; Mcgrath, 1997). Entretanto, não se verifica na literatura a aplicação da teoria de opções reais em análises de custo-benefício. Considerando os resultados superiores obtidos pela aplicação da teoria de opções reais na análise financeira de projetos, é plausível supor que sua aplicação na avaliação socioeconômica também gere resultados positivos.

1.1 Pergunta de pesquisa

O principal objetivo dessa tese é desenvolver um quadro teórico que permita a avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza por meio da combinação da análise de custo-benefício e da análise pela teoria de opções reais. Adicionalmente, ela também tenta verificar se a avaliação socioeconômica proposta produz resultados satisfatórios quando aplicada na prática.

Dessa forma, a pergunta central de pesquisa é:

Em que nível a adoção de um quadro teórico que combine as análises de custo-benefício e pela teoria de opções reais para avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza agrega valor ao projeto?

1.2 Relevância acadêmica e prática

Este estudo contribuirá teoricamente para academia brasileira de Administração de Empresas por meio da proposta de um quadro teórico que utilize a teoria de opções reais para tratamento das incertezas em uma análise de custo-benefício, em complemento a análise de sensibilidade hoje encontrada na literatura.

Apesar da integração da ROA com outras teorias ser algo comum na literatura, a revisão bibliográfica realizada não identificou trabalho na literatura que demonstre de forma detalhada e didática a natureza complementar da CBA e da ROA e a possibilidade de sua integração visando mitigar uma das limitações hoje existente na análise de custo-benefício e ampliar o campo de aplicação da teoria de opções reais.

No que tange à contribuição empírica, a proposta de integração da CBA com a ROA parece ser uma adição interessante à caixa de ferramentas do avaliador como ferramenta de avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza. Espera-se de sua aplicação uma melhoria dos aspectos que norteiam a tomada de decisões privadas e governamentais.

1.3 Estrutura da tese

O capítulo 1 introduz o contexto da tese, apresenta a pergunta de pesquisa e informa sua relevância acadêmica e prática.

O capítulo 2 discorre sobre a avaliação financeira de projetos, apresentando brevemente os principais métodos de avaliação e desenvolvidas as expressões para o cálculo do valor presente líquido. Também é apresentada a teoria de opções reais, sua aplicabilidade na avaliação financeira de projetos, seus tipos típicos, os métodos de valoração e as etapas de sua aplicação.

O capítulo 3 discorre sobre a avaliação socioeconômica de projetos, apresentando seus principais conceitos e aspectos. Nele também são discutidas a taxa de desconto social e o tratamento das incertezas inerentes aos projetos objetos de tal avaliação.

O capítulo 4 introduz a análise de custo-benefício. Nele são apresentados os conceitos dessa abordagem, discorrendo sobre seu contexto nas ciências sociais e a incorporação do conceito de bem-estar social. Também são abordados o conceito de disposição a apagar e seus métodos de estimação e as etapas de aplicação dessa avaliação.

O capítulo 5 apresenta a complementariedade da análise pela teoria de opções reais com a análise de custo-benefício, introduzindo e explicando o procedimento

para sua aplicação conjunta, e demonstrando a Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA do original em inglês *COst Benefit Real options Analysis*).

O capítulo 6 aplica a abordagem proposta na avaliação de uma termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol que atua em ambiente de incerteza, de forma a verificar em que nível sua adoção agrega valor ao projeto. Nele também são apresentados os resultados dessa aplicação.

O capítulo 7 apresenta as conclusões, limitações e recomendações para futuras pesquisas.

2. Avaliação financeira de projetos

A análise financeira de um projeto avalia seus custos e receitas futuros durante toda sua duração. Nesse sentido, o conceito de valor temporal do dinheiro permite a comparação de custos e receitas no presente com os do futuro. O dinheiro tem um valor temporal que é afetado por elementos como taxas de juros e inflação, ou seja, um valor monetário no presente vale mais do que esse mesmo valor no futuro. Para avaliar um projeto que possui fluxos de caixa esperados durante mais de um período, é necessário entender que estes não podem ser simplesmente somados, devendo ser antes ajustados por uma taxa de desconto apropriada para o período em que o fluxo de caixa ocorreu. Ao reconhecer o valor do dinheiro no tempo, cenários com fluxos de caixa distintos podem ser avaliados de forma equivalente. O valor presente de um montante C em um tempo t sob regime de juros contínuos a uma taxa nominal r é dado pela eq. (2.1). Já o valor presente de um fluxo de caixa esperado $E[FC]$ onde os pagamentos P_1, P_2, \dots, P_n ocorrem nos tempos t_1, t_2, \dots, t_n nas mesmas condições anteriores é dado pela eq. (2.2). Os pagamentos também podem ocorrer de forma contínua em um intervalo de tempo $[a, b]$ a uma taxa nominal r . Nesse caso, o valor presente em tempo contínuo é calculado por meio da eq. (2.3). Já o cálculo em tempo discreto é realizado pela eq. (2.4).

$$VP = Ce^{-rt} \quad (2.1)$$

$$VP = \sum_{i=0}^n E[FC(t)]e^{-rt_i} \quad (2.2)$$

$$VP = \int_a^b e^{-rt} \cdot E[FC(t)]dt \quad (2.3)$$

$$VP = \sum_{i=0}^n \frac{E[FC(t)]}{(1+r)^i} \quad (2.4)$$

Como se pode perceber pela Tabela 1, existem vários métodos aplicáveis na avaliação de projetos. No entanto, alguns são mais apropriados do que outros. Assim, surge uma questão relevante que é identificar o melhor método a ser aplicado na avaliação.

Tabela 1 - Métodos de avaliação de projetos de investimento

Método	Definição
Valor Presente Líquido (VPL)	Soma do valor presente de todos os fluxos de caixa esperados produzidos pelo projeto, líquido dos investimentos necessários para implementação do projeto.
Retorno sobre o investimento	Mede a relação entre o valor presente dos fluxos de caixa e os investimentos necessários para implementação do projeto.
Período de Payback	Período de tempo necessário para recuperar o investimento.
Razão de custo-benefício	Identifica, quantifica e pondera os benefícios e os custos dos projetos de investimento.
Custos Nivelados	Compara rotas tecnológicas com diferentes características e tempos de vida.
Opções Reais	Reformula o cálculo do VPL de forma que cenários de grande incerteza, que compõem os investimentos, sejam explicitamente considerados, assim como a ação ótima em cada cenário.

Fonte: Elaborado pelo autor

O objetivo da análise financeira é avaliar todos os custos e receitas de um projeto. Para alcançar este objetivo, deve-se calcular o valor presente líquido (VPL). O VPL é o valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. Ele se baseia nas premissas de que os fluxos de caixa são descontados a uma taxa de desconto constante e que períodos de tempo e de fluxo de caixa são igualmente espaçados. A eq. (2.5) apresenta a forma padrão do VPL para essas premissas.

$$VPL = \sum_{i=0}^n \frac{Vreceitas_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^n \frac{Vcustos_i}{(1+r)^i} \quad (2.5)$$

onde:

$Vreceitas_i$ é o valor esperado das receitas em $t = i$;

$Vcustos_i$ é o valor esperado dos custos em $t = i$;

r é a taxa de desconto.

A utilidade e simplicidade do VPL fez com que ele se tornasse um método muito popular e comum para avaliação financeira de projetos. No entanto, sabe-se que ele pode subestimar o valor do projeto, porque um dos seus principais

pressupostos subjacentes é que o investimento, uma vez feito, permanecerá inalterado. Outra fraqueza do VPL é que projetos com diferentes tempos de vida não podem ser comparados diretamente, e devem ter seus tempos de vida ajustados para uma duração igual e comum. Adicionalmente, longos períodos de tempo também distorcem os cálculos do VPL, portanto, utilizá-lo para avaliar projetos com mais de 20 anos pode levar a resultado pouco confiável visto que os fluxos de caixa para além de 20 anos serão tão fortemente descontados que serão insignificantes.

Ainda assim, o VPL continua a ser uma ferramenta valiosa e será utilizado nos próximos capítulos dessa tese para mostrar o valor de uma opção real quando se assume que os parâmetros de entrada previstos são dinâmicos e imprecisos. A análise tradicional de VPL é necessária e útil como base para fins de comparação.

2.1 Modelos estocásticos e determinísticos

Modelos computacionais determinísticos usam valores estáticos para os parâmetros de entrada e de saída do modelo. A saída de um modelo determinístico é um número único que resume o resultado com o mesmo nível de detalhe que uma média de uma distribuição de probabilidade. Já os modelos estocásticos têm saídas com distribuições de probabilidade porque as entradas são distribuições de probabilidade. Os modelos estocásticos revelam uma gama de resultados potenciais e a probabilidade associada a cada resultado. O comportamento das entradas dos modelos estocásticos usualmente é modelado por meio de um processo estocástico como, por exemplo, o Movimento Geométrico Browniano (MGB) ou o Movimento de Reversão a Média (MRM). Cada processo estocástico possui diversos pontos fortes e limitações, e não há uma regra geral que determine quando um ou outro deve ser utilizado. Para que a modelagem seja mais aderente a realidade, muitas vezes faz-se necessária a combinação dos dois modelos, ou até a adição de outros processos como o de difusão por saltos. A Tabela 2 lista os processos mais recorrentes na literatura.

Tabela 2 - Processos estocásticos mais usuais

Tipo de Modelo Estocástico	Nome do Modelo	Referências
Modelo Imprevisível	Movimento Geométrico Browniano (MGB)	Paddock, Siegel e Smith (1988)
Modelo Previsível	Reversão a Média Pura (MRM)	Dixit e Pindyck (1994) Schwartz (1997, modelo 1)
Modelos mais Realistas	Modelo de dois ou três fatores, e de reversão para nível incerto de longo prazo	Gibson e Schwartz (1990) Schwartz (1997, modelos 2 & 3) Baker, Mayfield e Parsons (1998) Schwartz e Smith (2000)
	Reversão a média com saltos	Dias e Rocha (1999) Aiube, Baida e Tito (2006)

Fonte: (Dias, 2004)

Embora o cálculo do VPL continue sendo feito pela equação (2.5), a saída e, pelo menos, uma entrada serão sempre probabilísticas. A distribuição de probabilidade do resultado dependente das características das distribuições de probabilidade de entrada.

2.2

Opções reais como uma metodologia adequada para avaliação de projetos

A maioria dos projetos de investimento tem duas características muito importantes. Primeiramente eles são em grande parte irreversíveis, ou seja, a empresa não pode desinvestir de forma que os custos aferidos são irrecuperáveis o menos parcialmente. Em segundo lugar, eles podem ser adiados, permitindo que a empresa espere por novas informações sobre preços, custos e outras condições de mercado antes de dotar os recursos (Pindyck, 1990).

Adicionalmente, tais projetos possuem considerável nível de incerteza relacionado a uma ou mais variáveis significantes para o resultado final do projeto. Portanto, os investidores devem adotar metodologias de avaliação que levem em conta riscos e incertezas. Devido à própria essência de um processo de decisão baseado em fluxos de caixa futuros esperados, um compromisso é assumido no momento da tomada de decisão inicial. Este compromisso com o futuro atribui um papel passivo aos decisores. Em um mundo onde a tomada de decisões sob incerteza é essencial, uma gestão passiva e inflexível é pouco realista. Ao atribuir uma dependência entre eventos futuros e sua invariabilidade, a análise tradicional de VPL se mostra imprópria como indicador único de rentabilidade do projeto para a

gestão do mundo real. Dixit e Pindyck (1994) e Copeland e Antikarov (2003) vão além e afirmam que o método VPL tradicional sistematicamente subestima cada oportunidade de investimento, uma vez que se baseia em fluxos de caixa futuros esperados, falhando, assim, em contabilizar o valor das flexibilidades gerenciais.

Trigeorgis (1996) afirma que a utilização de abordagens tradicionais de fluxo de caixa na avaliação de investimentos de capital não permite a captura adequada da flexibilidade em se adaptar e rever decisões posteriormente uma vez que estas abordagens assumem implicitamente um fluxo de caixa em cenário esperado no qual o decisor se comprometeu com um caminho específico. Em outras palavras, o VPL não leva em conta a flexibilidade da gestão em mudar o curso do projeto. Esta é uma lacuna significativa, pois a maioria dos projetos atuais envolvem decisões que devem ser revistas ao longo do desenvolvimento do projeto.

Outra limitação do VPL tradicional é que ele não reconhece, quantitativa ou qualitativamente, as implicações das interações entre irreversibilidade, incerteza e a escolha do melhor momento para realização do investimento. O critério de decisão do VPL assume que o investimento pode ser reversível ou não. Caso o seja reversível, o investimento pode ser desfeito se os benefícios não forem os esperados e os custos incorridos são recuperados. Caso seja parcial ou totalmente irreversível, o VPL trata a decisão de investimento como uma proposição agora ou nunca. A proposição agora ou nunca, basicamente, afirma que a empresa tem apenas uma oportunidade de realizar o investimento, e se o investimento não for realizado imediatamente essa oportunidade irá desaparecer. Alguns investimentos realmente atendem a essas condicionantes, porém na grande maioria dos casos elas não são atendidas (Kodukula e Papudesu, 2006).

O fato de um investimento ser irreversível, não significa necessariamente se tratar de uma proposição agora ou nunca, como o VPL assume. Na realidade, a possibilidade de retardar investimentos irreversíveis desempenha um papel significativo em sua valoração. A capacidade de adiar um custo de investimento irreversível e esperar por informações adicionais acerca das incertezas inerentes ao projeto, pode afetar a decisão de investimento (Dixit e Pindyck, 1994). A forma pela qual a possibilidade de adiamento da decisão agrega valor ao projeto será melhor descrita na próxima seção.

As limitações do VPL descritas anteriormente referem-se a sua falta de habilidade para capturar flexibilidades. A falta de flexibilidade gerencial no VPL

não deve ser surpresa, já que a passividade reside em sua própria natureza e origem. O VPL foi inicialmente desenvolvido para valoração de ações e títulos por investidores passivos, que assumiram implicitamente que as empresas gerenciam um portfólio de ativos reais de forma também passiva (Trigeorgis, 1996). Como esse gerenciamento passivo não se mostra real na prática, o uso do VPL na tomada de decisões de investimento tem sido alvo de críticas.

Apesar das críticas ao VPL, sua aplicação generalizada e reconhecimento como ferramenta para auxílio a tomada de decisão não deve ser negligenciada. Como firmado anteriormente, o critério de decisão de VPL positivo tem seus benefícios. Mesmo na avaliação pela teoria de opções reais, o resultado obtido pela metodologia do VPL tradicional desempenha um papel central como referência para análises posteriores.

Uma opção real pode ser definida como um direito, mas não uma obrigação, de realização de uma ação sobre um ativo não financeiro subjacente, a um custo determinado em data determinada ou antes dela (Kodukula e Papudesu, 2006). Esta definição tem paralelos óbvios com opções financeiras. Uma opção financeira é um ativo onde o titular tem o direito, mas não a obrigação, de comprar (opção de compra) ou vender (opção de venda) uma quantidade de um ativo específico (ativo subjacente), a um preço fixo (preço de exercício), durante um período ou data pré-estabelecidos. A opção real dá ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de tomar uma decisão que afeta um ativo físico real, a um custo pré-determinado, durante um tempo pré-estabelecido. A Tabela 3 mostra a analogia entre estes dois conceitos.

Tabela 3 - Analogia entre opções reais e financeiras

Opção Financeira	Opção Real
Preço do ativo subjacente	Valor presente dos fluxos de caixa do projeto
Preço de exercício	Investimento requerido
Tempo até a expiração da opção	Período até que a decisão tenha que ser tomada
Taxa de retorno livre de risco	Valor do dinheiro no tempo
Volatilidade	Risco sobre os retornos esperados

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta definição capta a verdadeira essência do que uma opção real representa: a oportunidade para que os tomadores de decisão realizem ações de gestão ativa sobre o ativo real subjacente durante a vida da opção. Fundamentalmente, as opções reais adicionam flexibilidade a um projeto de investimento. A avaliação de opções

reais reconhece e valora a flexibilidade gerencial na tomada de decisão sobre projetos de investimentos reais e sobre a alocação dos recursos da empresa. Devido a existência de incertezas, os fluxos de caixa de um projeto de investimento provavelmente irão diferir do que foi inicialmente esperado. A oportunidade de alterar a estratégia inicial, a fim de capitalizar sobre acontecimentos futuros benéficos e reagir aos desfavoráveis é essencialmente o que é tornado possível pelas opções reais

A teoria de opções reais pode ser utilizada em diversas áreas como recursos naturais, avaliação de terrenos, estratégia internacional, desenvolvimento urbano, alteração de escala (redução ou expansão) de produção de uma empresa e pesquisa e desenvolvimento (Brennan e Schwartz, 1985; Titman, 1985; McDonald e Siegel, 1986; Majd e Pindyck, 1987; Pindyck, 1988; Triantis e Hodder, 1990; Childs e Triantis, 1999; Minardi, 2000; Matsusaka, 2001; Bernardo e Chowdhry, 2002; Pacheco-De-Almeida e Zemsky, 2003).

No Brasil, a teoria de opções reais também tem sido aplicada em diversos setores, dentre os quais podemos citar: o de exploração e produção de petróleo (Dias e Rocha, 1999; Saito, Schiozer e Castro, 2000; Dias, 2004), o de mineração (Lima e Suslick, 2001; Vidal, 2008), o de combustíveis (Brandão Filho, 2005; Bastian-Pinto, Brandão e Hahn, 2009; Brandão, Penedo e Bastian-Pinto, 2009; Bastian-Pinto, Brandão e Alvez, 2010); e; o de energia elétrica (Batista, 2007; Caporal e Brandão, 2008; Gomes e Luiz, 2009).

Conforme afirmado anteriormente, a existência de pelo menos uma flexibilidade que, por meio de um gerenciamento ativo, possa alterar o valor futuro do projeto, é condição necessária para a aplicação da teoria de opções reais. Com isso, existe uma extensa lista de opções usualmente existentes em projetos de investimento (Trigeorgis, 1996).

Um projeto pode possuir uma ou mais opções. Nos casos onde o projeto possui mais de uma opção, o valor combinado muitas vezes difere da simples soma do valor de cada opção, ou seja, assim como um investidor pode possuir um portfólio de opções financeiras simultâneas, uma empresa com múltiplos projetos de investimento pode possuir um portfólio de opções reais passíveis de interação entre si. Desta forma, um projeto pode afetar o valor de outras opções em posse da empresa e conseqüentemente o valor do portfólio de opções como um todo (Triantis e Hodder, 1990; Smit e Trigeorgis, 2004).

2.3

Tipos de opções reais

Vintila (2007) mostra que é possível se obter o aumento do valor de um projeto de investimento por meio de uma diversidade de opções reais. Um dos primeiros tipos de opções reais a serem identificadas na literatura foi a opção de escolha do momento de investir. A possibilidade de postergar a decisão de investimento permite a acumulação de novas informações que podem esclarecer algumas incertezas inerentes ao projeto e, assim, criar valor adicional. Uma variante da opção exposta acima é a opção de faseamento do projeto. Nela, o projeto é separado em várias fases onde cada fase necessita de um investimento menor do que o necessário para o projeto completo e fornece informações adicionais para verificação da real rentabilidade. Ao fim de cada fase há uma decisão de continuidade ou abandono baseada nas novas informações obtidas.

Outro tipo de opção real muito comum e que está parcialmente presente na opção de faseamento são as opções de abandono. Seu valor reside na possibilidade de evitar fluxos de caixa financeiros negativos, transformando-os em fluxos de caixa com valor zero. Além disso, em alguns casos é possível se obter algum valor monetário adicional com a liquidação do investimento. Existem ainda as opções operacionais e as de crescimento. A primeira permite ao decisor reorganizar sua operação de forma a se beneficiar ou se proteger de alterações nas condições de mercado. Dois exemplos muito comuns na literatura são a opção de alternar a matéria-prima utilizada ou o produto comercializado de forma a maximizar a rentabilidade do projeto e a opção de contrair ou expandir a escala de produção para se adequar aos movimentos do mercado. A segunda está associada a projetos que, apesar de terem VPL negativo (*e.g.* investimento em pesquisa e desenvolvimento), possibilitam outros projetos que possuem VPL positivo o suficiente para cobrir a perda gerada pelo original. É importante ressaltar que nesses casos a existência do primeiro projeto é condição necessária para a realização dos projetos seguintes.

2.3.1.

Postergar um projeto

A opção de postergar um investimento está presente em quase todos os projetos, porém pode ser difícil estimar quando ou se é apropriado iniciar tal

investimento. A avaliação pela teoria de opções reais possibilita identificar o momento ótimo para realização do investimento. Os tomadores de decisão podem adiar a decisão por um período de tempo e optar por exercê-la quando as condições forem favoráveis. Assim, a opção de postergar um projeto pode ser categorizada como uma opção de compra americana, onde o preço de exercício é igual ao valor do investimento. Esta definição é seguida por uma regra de decisão na qual o investimento só deve ser executado se o valor obtido pelo exercício da opção exceder o valor de mantê-la. Considerando o valor de se manter a opção como zero no momento exato antes de sua expiração, o valor da opção de postergação na expiração é um *máximo*($V - X, 0$), onde V é o valor de projeto e X é preço de exercício (Trigeorgis, 1996).

Apesar de comum, a opção de postergar o investimento não está presente em todos os projetos, pois podem existir situações específicas onde investir rapidamente é estratégico para o tomador da decisão (Dixit e Pindyck, 1994). Opções de postergação são mais valiosas quando incidentes sobre ativos onde os proprietários têm direitos de propriedade exclusivos e as barreiras à entrada são elevados, o que significa que a empresa não irá perder a sua posição competitiva e receitas associadas ao esperar para investir (Kodukula e Papudesu, 2006). Segundo Trigeorgis (1996), a opção de postergação é particularmente valiosa em indústrias de extração de recursos naturais devido à elevada incerteza e longo horizonte de investimento dos projetos.

2.3.2. Abandonar temporária ou definitivamente um projeto

Condições desfavoráveis de mercado ou operacionais podem forçar a decisão de abandonar um projeto permanentemente. A opção de abandono está presente em muitos projetos, porém sua probabilidade de ser exercida varia de acordo com o setor onde o projeto se situa. Segundo Slade (2001), raramente projetos no setor de mineração são abandonados completamente, optando-se usualmente por um abandono temporário da mina até que as condições de mercado voltem a estar favoráveis

Para que uma empresa possa minimizar suas perdas em caso de abandono, ele pode optar por desinvestir os ativos do projeto por um valor residual, valor este que

representa o preço de exercício. Assim, a natureza de opção de abandono é equivalente a uma opção de venda americana onde o detentor da opção tem o direito, mas não a obrigação, de vender o ativo subjacente para um preço de exercício pré-determinado, a qualquer momento durante a vida do projeto. O valor da opção de abandono na expiração é um $máximo(X - V, 0)$, onde X é o valor residual e V é o valor de projeto. O valor residual é susceptível a alterações ao longo da vida do projeto, pois os valores dos ativos relacionados ao projeto podem ser influenciados por fatores tais como a depreciação.

2.3.3. Expandir ou contrair a escala de produção

As opções de expansão ou contração da escala de produção são altamente relevantes em algumas indústrias. Opções para alteração do nível operacional permitem ao decisor a possibilidade de ajustar o nível de produção de acordo com as condições de mercado. A opção de expandir pode ser exercida para tirar proveito de condições favoráveis ao expandir a escala de produção, ao passo que a opção de contração da produção poderá ser exercida se as condições de mercado forem desfavoráveis. Assim, neste caso, existem duas opções de nível operacional que devem ser calculadas de formas distintas (Trigeorgis, 1996).

A opção de expansão pode ser modelada como uma opção de compra americana. O proprietário da opção, geralmente o tomador de decisão, tem o direito, mas não a obrigação, de expandir sua escala de operação a qualquer momento durante a vida da opção, pagando um preço de exercício que representa o custo da expansão. O valor da opção de expansão na expiração é um $máximo(eV - X, 0)$, onde e é o fator de expansão, V é o valor de projeto, e X é o preço de exercício. Assim, a opção de expansão irá ser exercida se o retorno esperado for maior do que o preço de exercício. Antes do vencimento, a opção só será exercida se o valor de exercício da opção exceder o valor de manter a opção. A opção de contração pode ser modelada como uma opção de venda americana, onde uma parte do valor do projeto inicial pode ser descartada por um preço de exercício igual ao potencial de redução de custos. Assim, o valor da opção de contração na expiração é um

máximo($X - cV, 0$), onde c é o fator de contração sendo $c \in (0,1)$, V é o valor de projeto, e X é o preço de exercício (Trigeorgis, 1996).

2.3.4.

Troca de matérias-primas ou de produtos finais de um projeto

Uma opção para troca de matérias-primas (*switch input*) ou de produtos finais (*switch output*) de um projeto pode ter um valor considerável para uma empresa. A decisão de alternar usualmente pode ocorrer em momentos diferentes ao longo da vida de um projeto e aumenta a flexibilidade gerencial inerente ao projeto. Essa opção também associa características de redução de risco ao reduzir a dependência do projeto a disponibilidade de uma única matéria-prima ou a comercialização de um único produto final.

2.4

Métodos de valoração por opções reais

Em geral, existem duas abordagens para a avaliação pela teoria de opções reais: uma aproximação das equações diferenciais parciais e uma aproximação direta dos processos estocásticos subjacentes (Trigeorgis, 1996)

A primeira abordagem envolve técnicas matematicamente avançadas tais como esquemas de diferenças finitas e soluções em forma fechada. A segunda técnica foca diretamente nos processos estocásticos subjacentes permitindo abordagem mais intuitiva envolvendo a simulação de Monte Carlo explorada por Boyle (1977) e o modelo de árvores binomiais explorado por Cox, Ross e Rubinstein (1979).

2.4.1.

Equações diferenciais parciais

Black e Scholes (1973) e Merton (1976) forneceram uma solução para valorar o preço de equilíbrio de uma opção que é largamente adotada no mercado de opções. A fórmula de valoração da opção é dada por:

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad (2.6)$$

onde

C_0 é o valor corrente da opção de compra;

S_0 é o preço atual do ativo subjacente;

X é o preço de exercício;

r é a taxa livre de risco;

T é o tempo até a expiração;

$N(d_1)$ e $N(d_2)$ são fatores de probabilidade, cujos valores são normalmente distribuídos e calculados por:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2.7)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (2.8)$$

O modelo de Black-Scholes adota algumas premissas. São elas: a opção pode ser exercida somente na sua maturidade, isto é, a fórmula é válida para uma opção europeia; a opção possui apenas um ativo subjacente, logo a fórmula não se aplica a opções compostas; o ativo subjacente não distribui dividendos; a taxa livre de risco é constante ao longo da vida da opção; e; a volatilidade do ativo é constante ao longo da vida da opção.

Para as opções europeias de longo prazo que distribuem dividendos constantes durante a vida da opção, o modelo de Black-Scholes pode ser facilmente adaptado para incorporar o efeito da distribuição de dividendos.

$$C_0 = S_0 e^{-yT} N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad (2.9)$$

onde:

$$y = \text{dividendos}/S_0 \quad (2.10)$$

Utilizando-se o teorema de paridade de compra-venda, é possível derivar a fórmula de Black-Scholes para o valor de uma opção de venda, desde que ambas as opções de compra e de venda apresentem o mesmo valor no exercício, sejam opções europeias e tenham a mesma maturidade

$$P_0 = C_0 + Xe^{-rT} - S_0 \quad (2.11)$$

onde:

P_0 é o valor corrente da opção de venda

Apesar do modelo de Black-Scholes ter sido originalmente elaborada para a valoração de opções financeiras, ele também pode, de certa forma, ser usada no cálculo do valor das opções reais. Soluções de forma fechada, como a fórmula BSM, são rápidas e fáceis de implementar com o apoio de conhecimentos básicos de programação (Kodukula e Papudesu, 2006). De acordo com Copeland e Antikarov (2003), muitos praticantes cometem o erro de tentar usar a fórmula Black-Scholes como uma aproximação para os modelos mais gerais, dada sua facilidade de manuseio.

O problema é que esse modelo raramente é adequado para avaliação de opções reais dadas as suas premissas restritivas. Tais premissas não são adequadas às opções reais, pois a maioria delas viola ao menos algumas dessas premissas. Na maioria dos casos reais existe mais de uma fonte de incerteza (*e.g.* incertezas sobre os custos, preços, quantidades, etc.). Além disso, as opções reais são normalmente americanas e podem ser exercidas a qualquer momento antes do vencimento, o que não é compatível com a premissa afirmando que a opção só pode ser exercida no vencimento. Adicionalmente, não é incomum que o preço de exercício varie durante a vida da opção (Kodukula e Papudesu, 2006).

2.4.2. Simulações

A Simulação de Monte Carlo é um método estocástico utilizado na avaliação de fenômenos que apresentam um comportamento probabilístico. A partir dele, pode-se simular, por repetidas vezes, uma grande quantidade de situações-resultado possíveis, por meio de um mecanismo gerador de valores aleatórios para a variável de interesse (Dutra, 2006).

A base do método de Monte Carlo está na amostragem de números aleatórios e sua precisão está, em geral, associada ao tamanho da amostra. O *trade-off* entre precisão e tempo de computação é uma característica relevante deste método. O

desvio-padrão de um processo de Monte Carlo é diretamente proporcional $n^{-1/2}$, ou seja, a redução pela metade do desvio-padrão exige um número quatro vezes maior de amostras.

Este método pode ser utilizado de diferentes formas. Na abordagem mais usual, cada cenário do projeto é criado por meio da adoção de um valor aleatório para cada um dos parâmetros de entrada do método de fluxo de caixa descontado para então calcular-se o VPL. Esse cálculo envolve basicamente duas etapas.

Primeiramente deve ser definida as distribuições de probabilidade de todas as variáveis de entrada (custo de investimento, receitas/custos para cada intervalo de tempo selecionado durante a fase de produção, etc.) que determinam os fluxos de caixa livres. Isso normalmente é feito com base em séries históricas. Nos casos onde inexistem dados históricos sobre uma variável de entrada, as probabilidades podem ser fornecidas com base no julgamento do avaliador.

Em seguida, é sorteado um valor para cada parâmetro de entrada a partir de sua distribuição e estimado o VPL usando o método de fluxo de caixa descontado. Esse processo é repetido milhares de vezes por meio da utilização de programas disponíveis comercialmente como @Risk® ou Crystal Ball®. O resultado final são milhares VPLs diferentes que permitem a construção de uma distribuição de probabilidade do VPL esperado pelo projeto.

Os resultados obtidos por meio da utilização da simulação de Monte Carlo permitem uma melhor avaliação do VPL esperado. A utilização exclusiva do valor médio pode levar a decisões erradas pelo analista nos casos onde a distribuição de probabilidade do VPL é muito assimétrica devido a existência de alguns VPLs extremamente altos ou baixos e que podem ser observados por meio da distribuição de probabilidade.

Segundo Amram e Kulatikala (1999), o modelo de simulação de Monte Carlo é um dos mais utilizados no cálculo de opções reais por lidar com vários aspectos das aplicações do mundo real, incluindo regras de decisão e relações entre o valor da opção e valor do ativo subjacente complexas. Adicionalmente, a simulação de Monte Carlo é caracterizada o mais simples e flexível dentre os métodos que utilizam probabilidade na análise de riscos, ressaltando, no entanto, que ele é um processo caro e lento, uma vez que requer um maior tempo para executar as diversas simulações necessárias para a redução dos erros nas estimativas dos resultados esperados.

2.4.3. Árvores binomiais

Cox, Ross e Rubinstein (1979) introduziram seu modelo de árvores binomiais, ou simplesmente modelo binomial, alguns anos após a publicação do artigo de Black & Scholes. O modelo binomial contribuiu para os métodos de valoração de opções ao permitir uma maior flexibilidade. Segundo os autores, o novo modelo fornecia um procedimento numérico simples e eficiente para valorar opções onde o exercício antecipado era opcional (opção americana). Para os praticantes, uma das principais vantagens do modelo proposto foi o fato de sua estrutura subjacente ser transparente, tornando os resultados de fácil explicação para os tomadores de decisão (Kodukula e Papudesu, 2006).

A abordagem binomial começa com o cálculo do Valor Presente de um projeto e considera as informações adicionais que a volatilidade do fluxo de caixa adiciona ao Valor Presente. Usando essas informações é possível construir a árvore binomial para o fluxo de caixa do projeto e o valor da opção. O modelo considera uma árvore de decisão em tempo discreto e binomial no espaço, para, a seguir, aproximar um processo contínuo e calcular o preço de uma opção americana. Sua principal vantagem é a flexibilidade, pois permite avaliar tanto as opções de compra quanto as de venda; americanas ou europeias; que pagam ou não dividendos. Além disso, a simplicidade e a facilidade de implantação fizeram com que o modelo de árvores binomiais se tornasse a metodologia de avaliações de opções americanas mais utilizada (Brobouski, 2004).

O valor inicial da árvore binomial é o valor inicial do valor do ativo subjacente (S_0). No primeiro incremento de tempo, o valor vai para cima ou para baixo. Ela continua desta maneira, nos seguintes incrementos de tempo, até a expiração. A metodologia a ser usada na modelagem do processo estocástico do ativo subjacente depende se o ativo segue um movimento aritmético ou geométrico através do tempo. Na maioria das vezes, os profissionais escolhem processos estocásticos geométricos para modelagem por estes não permitirem valores negativos (Copeland e Antikarov, 2003). Se o ativo subjacente segue um movimento geométrico ao longo do tempo, os movimentos ascendentes e descendentes são calculados multiplicando-se o valor do nó anterior por fatores

“para cima” e “para baixo” referidos como u e d e calculados com as seguintes equações:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} \quad (2.12)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (2.13)$$

Existem duas abordagens diferentes para o uso do modelo binomial no cálculo dos valores da opção. O valor da opção pode ser calculado usando probabilidades neutras a risco, ou pela abordagem do portfólio replicante. Deve-se obter resultados idênticos independente da abordagem utilizada. Ambas as abordagens começam no final da árvore binomial, e usam indução para trás, para calcular o valor da opção.

O portfólio replicante consiste em uma quantidade m de ações do ativo subjacente e uma quantidade B de títulos livres de risco, e se correlaciona perfeitamente com o valor da opção, independentemente de o preço do ativo subjacente subir ou descer no futuro. Consequentemente, o preço atual da opção é calculado como o valor atual do portfólio replicante. Assim, $C = mS + B$ onde C é o preço da opção de compra, S é o preço do ativo subjacente, m é o número de ações e B é o valor monetário de títulos livres de risco. A quantidade de ações e títulos que devem compor o portfólio replicante são encontrados pelo cálculo dos pagamentos futuros. Os pagamentos futuros no estado acima ou abaixo devem ser iguais. Resolvendo as equações para m e B , temos:

$$m = \frac{C_u - C_d}{S_u - S_d} \quad (2.14)$$

$$B = \frac{S_u C_d - S_d C_u}{(S_u - S_d)(1+r)} \quad (2.15)$$

A abordagem do portfólio replicante assume uma taxa livre de riscos constante e ausência de impostos, custos de transação e exigências de margem. A taxa livre de risco é a taxa que pode ser obtida em um investimento sem risco ao longo de um período de tempo do mesmo comprimento que a vida opção.

Enquanto a abordagem do portfólio replicante desconta os fluxos de caixa esperados à taxa ajustada ao risco, abordagem da probabilidade neutra ao risco

desconta fluxos de caixa ajustados à taxa livre de risco (Copeland e Antikarov, 2003). Denominamos de Probabilidade Neutra ao Risco a probabilidade que faz com obtenhamos o mesmo valor presente anterior quando descontamos os fluxos à taxa livre de risco. Essa probabilidade pode ser determinada a partir da relação existente entre a taxa de desconto, as probabilidades objetivas os fluxos de caixa do projeto e o Valor Presente. A probabilidade neutra a risco p é equivalente ao portfólio replicante e produz os mesmos resultados. A probabilidade neutra ao risco, p , não é uma probabilidade objetiva, sendo utilizada apenas para ajustar os fluxos de caixa de forma que eles possam ser descontados à taxa livre de risco, ou seja, são apenas uma outra maneira de se determinar um valor de mercado para o projeto. Esta abordagem é muito conveniente, pois as probabilidades neutras ao risco permanecem constantes. A probabilidade neutra ao risco é calculada pela eq. (2.16) enquanto o valor da opção calculado pela abordagem de probabilidade neutra ao risco é dado por pela eq. (2.17).

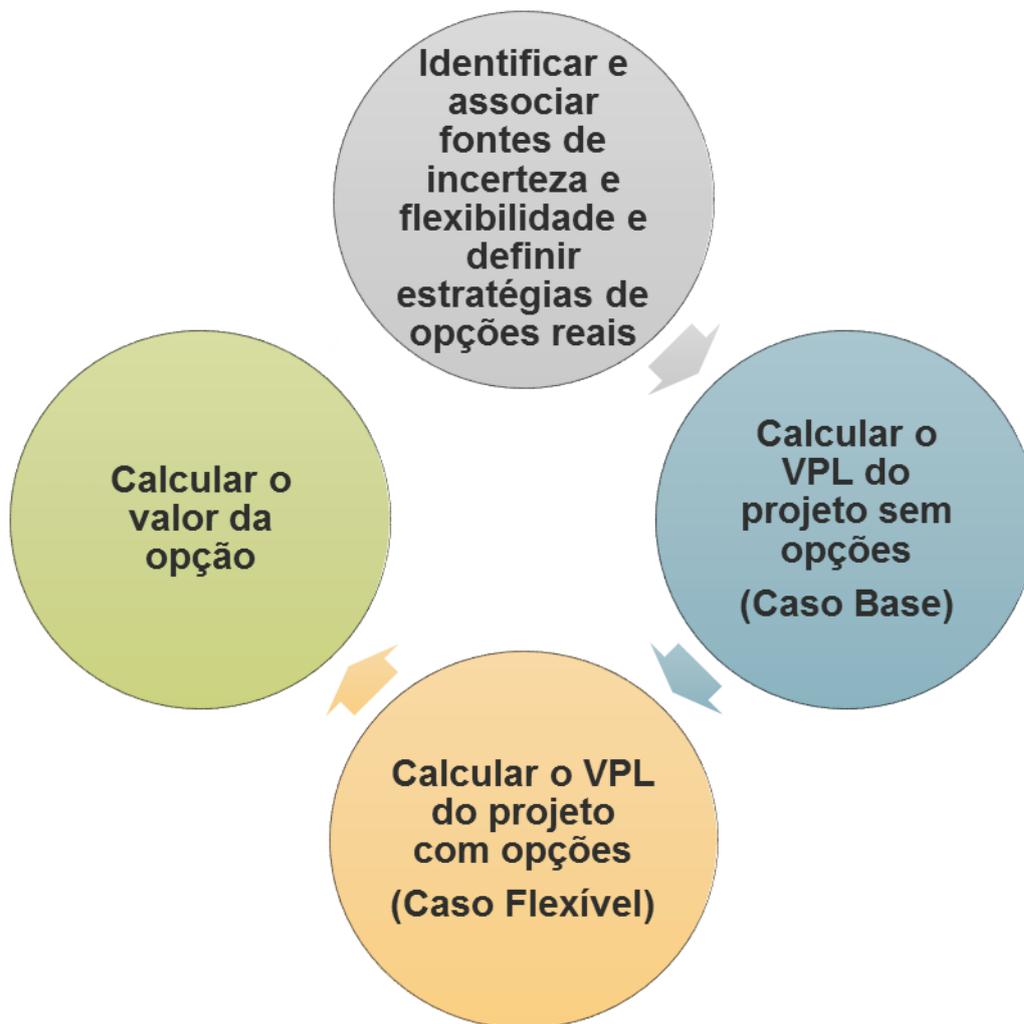
$$p = \frac{1+r-d}{u-d} \quad (2.16)$$

$$C = \frac{pC_u + (1-p)C_d}{1+r} \quad (2.17)$$

2.5 Etapas da análise pela Teoria de Opções Reais (ROA)

As etapas para a análise pela teoria de opções reais utilizadas nesta tese foram inspiradas na abordagem descrita em Copeland e Antikarov (2003) resultando em um processo dividido em quatro etapas resumidas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da análise pela Teoria de Opções Reais (ROA)



Fonte: Elaborado pelo autor

2.5.1.

Etapa A: Identificar e associar fontes de incerteza e flexibilidade e definir estratégias de opções reais

A primeira consiste na identificação de fontes de incertezas (por exemplo: as taxas de locação, taxas de absorção, preços de venda por unidade, custo de construção, taxas de juros, etc.) e flexibilidades. As incertezas são inerentes a uma previsão de longo prazo e devem ter seus comportamentos analisados e modelados por meio de dados históricos ou estimativas dos avaliadores. A flexibilidade será um aspecto técnico do sistema que, com uma opção incorporada, pode ser acionada no futuro, compensando a incerteza na previsão de longo prazo. Podem existir diversas fontes de incertezas e flexibilidades, porém deve-se optar por utilizar um

número menor de variáveis que tenham o maior impacto. Essa etapa é de extrema importância, pois quanto maior for a incerteza do negócio e a flexibilidade gerencial que a empresa possui para se adaptar frente a estes riscos, mais valiosas são as opções reais associadas. Ele deve ser necessariamente a primeira etapa, pois muitas das incertezas identificadas irão impactar a análise dos fluxos de caixa do projeto com ou sem opções reais.

Depois de identificação de ao menos um par incerteza-flexibilidade, o próximo passo é selecionar uma estratégia de opções reais que, em geral, já foi criada implicitamente quando a fonte de flexibilidade foi identificada. Vale ressaltar que embora, nesse momento, já exista uma opção real em teoria, ela só será reconhecida como uma opção válida se for tecnicamente viável e estiver alinhada aos objetivos dos gestores do projeto.

2.5.2.

Etapa B: Calcular o VPL do projeto sem opções (Caso Base)

A segunda etapa consiste na criação de uma análise de fluxo de caixa descontado tradicional para o projeto, de forma a determinar o VPL esperado do projeto sem opções (caso flexível) em $t=0$. Essa análise depende da elaboração de um instrumento de simulação que permita a inclusão das incertezas e suas modelagens, sejam elas distribuições de probabilidade ou processos estocásticos. Dois softwares comumente utilizados para realização de simulações são @Risk® e Crystal Ball®.

2.5.3.

Etapa C: Calcular o VPL do projeto com opções (Caso Flexível)

A terceira etapa consiste na criação de uma análise de fluxo de caixa descontado do projeto, já incorporadas as flexibilidades gerenciais, de forma a determinar o VPL esperado do projeto com opções (caso flexível) em $t=0$. Para essa análise deve ser utilizado o mesmo instrumento adotado na etapa B, devendo ele ser devidamente ajustado de forma a permitir a inclusão das flexibilidades gerenciais e das incertezas associadas somente ao projeto com opções. As adequações necessárias no instrumento de simulação variam de acordo com a flexibilidade identificada. Para modelagem de uma opção de *switch output*, por

exemplo, deve-se simular as receitas líquidas de todas as possibilidades de *output* diferentes, com a periodicidade mínima definida de *switch* e adotar como receita para cada período o maior dentre os valores simulados.

2.5.4.

Etapa D: Calcular o valor da opção

A quarta e última etapa consiste no cálculo do valor da opção real por meio da comparação dos resultados obtidos para os VPLs do projeto com e sem. Em geral, sob alta incerteza e com presença de grande flexibilidade gerencial, o valor da opção pode ser substancial.

3. Avaliação socioeconômica de projetos

Este capítulo irá discorrer sobre a avaliação socioeconômica de projetos e os desafios enfrentados pelas ferramentas que visam possibilitar tal avaliação. Ela, em geral, se aplica a tipos específicos de projetos e, por isso, é importante identificar suas características típicas.

Os projetos sob avaliação frequentemente representam novas atividades. Exemplos incluem a construção de uma nova estrada, mudança na função de uso da terra, ou, a introdução de uma nova política pública. A avaliação geralmente é *ex ante* (antes da realização do projeto) e não *in media res* (ao longo da realização do projeto) ou *ex post* (após a realização do projeto); este ponto de partida logicamente implica que os impactos são incertos. Quando estes efeitos incertos são negativos, muitas vezes se fala em risco. A metodologia de avaliação tem de lidar com incerteza e risco.

Adicionalmente, os projetos devem ser suficientemente grandes e complexos para demandar uma avaliação formal e dispendiosa por parte do governo ou empresa privada. "Grande o suficiente" refere-se ao fato de a própria avaliação envolver custos que devem ser justificados pelos benefícios potenciais da avaliação. "Complexos o suficiente" refere-se ao fato de que os impactos do projeto não podem ser identificados e avaliados facilmente. Um esforço sistemático no sentido de estruturar alternativas e recolher informações relevantes é, portanto, útil para auxiliar a tomada de decisão sobre a melhor alternativa. A avaliação deve aumentar a compreensão sobre questões relevantes e complexas de forma que a própria realização da análise de custo-benefício possua benefícios maiores que seus custos (Commonwealth of Australia, 2006).

Os projetos precisam ter um tempo de vida definido, ou seja, um início e um fim independente ser este de curta ou longa duração. Usualmente os projetos objeto de análises socioeconômicas possuem longa duração e requerem vultosos investimentos, porém seus impactos ocorrem ao longo do tempo de forma não

uniformemente distribuída. Desta forma, a metodologia de avaliação precisa considerar aspectos temporais.

Dentre os impactos acima mencionados, os de aspetos econômico são muito importantes, porém não são os únicos. Tais aspectos econômicos vão além do meramente financeiro. O fato da CBA ter um bom histórico na captura dos impactos econômicos dos projetos nos deixa especialmente interessados em seu uso como ferramenta de avaliação. No entanto, os projetos avaliados também possuem, frequentemente, aspectos sociais, ambientais e outros impactos. Portanto, no processo de avaliação, o analista deve ter grande interesse em avaliar diferentes impactos de uma forma comparável. O que parece um tratamento lógico para um impacto pode ser irrealista ou irrelevante para o outro. A possibilidade de avaliar diferentes impactos sob uma ótica comum é uma característica fundamental para qualquer ferramenta de avaliação de projetos (Jenkins, Kuo e Giraldez, 2007).

Projetos públicos objeto de avaliações socioeconômicas buscam, usualmente, agregar valor à sociedade. Desta forma, considerando que esses projetos apresentam custos para a sociedade, eles exigem a possibilidade de responsabilização dos tomadores de decisão. É preciso que a metodologia permita o rastreamento de todas as premissas assumidas e dados utilizados de forma a permitir a identificação de todos os envolvidos na realização da avaliação que subsidiou a tomada de decisão. O aspecto de responsabilização também pode ser aplicado na avaliação de projetos privados sob a ótica do desempenho corporativo sustentável ou responsabilidade social corporativa. Devido ao tamanho e poder das empresas multinacionais e sua grande exposição global, são cada vez maiores a importância de sua imagem e a reputação da marca. Com isso, a tomada de decisões empresariais exige a prestação de contas para as diferentes partes interessadas. Nesse sentido, a avaliação socioeconômica de projetos da empresa busca demonstrar que, minimamente, este não reduz o bem-estar da sociedade.

3.1 **O conceito de avaliação socioeconômica**

A medição de mudanças no bem-estar social e os critérios de decisão para a avaliação econômica de projetos pode ser abordada por meio da modelagem da economia como um conjunto de indivíduos que, dadas as suas preferências, tenta

maximizar sua função utilidade estando sujeitos a duas restrições: os recursos e as tecnologias disponíveis. Um projeto altera o equilíbrio nos mercados em que os indivíduos participam como consumidores, proprietários dos fatores de produção, contribuintes, ou afetados por externalidades e a avaliação socioeconômica tenta medir a mudança na função utilidade dos indivíduos para avaliar se o projeto representa uma melhoria para esse agregado denominado sociedade.

Dada a escassez de recursos, as pessoas normalmente são forçadas a escolher entre diferentes usos, e a tecnologia disponível limita a quantidade, variedade e qualidade dos bens produzidos a partir desses recursos. Em uma sociedade onde o que importa é o bem-estar de seus indivíduos, o foco não está em aumentar a produção, e sim a utilidade dos indivíduos. Neste sentido, as preferências individuais limitam a utilidade que as pessoas podem obter a partir de uma determinada dotação de recursos e tecnologias, o que é particularmente relevante nas decisões tomadas pelo setor público. Além das decisões dos indivíduos, o governo também intervém com projetos que alteram o equilíbrio de alguns mercados e afetam o bem-estar social. As suas decisões afetam a quantidade, qualidade e composição dos bens e serviços e sua distribuição.

Para decidir se um projeto deve ser aprovado temos que comparar os seus benefícios sociais com os seus custos sociais, previamente identificados e medidos. É preciso, em primeiro lugar, quantificar em termos monetários as mudanças na utilidade dos indivíduos; em seguida, deve-se usar alguns critérios para a agregação de benefícios e custos que afetam diferentes indivíduos em diferentes momentos temporais; e por fim, deve-se utilizar alguns critérios de decisão para aceitar ou rejeitar um projeto, ou para selecionar um projeto dentre um conjunto pré-estabelecido de alternativas.

3.2 **Aspectos principais**

A avaliação socioeconômica de projetos objetiva avaliar as vantagens ou desvantagens socioeconômicas de uma decisão de investimento por meio da avaliação de seus custos e benefícios, a fim de verificar a mudança de bem-estar que lhe é imputável. O quadro analítico desta avaliação possui alguns conceitos chave que precisam ser melhor entendidos.

3.2.1. Custo de oportunidade

O custo de oportunidade de um bem ou serviço é definido como o potencial de ganho com a melhor das alternativas renunciadas, quando uma escolha precisa ser feita entre várias alternativas mutuamente excludentes. A lógica da avaliação socioeconômica encontra-se na observação de que as decisões de investimento tomadas com base em motivações puramente financeiras levam, em algumas circunstâncias (*e.g.* falhas de mercado, tais como assimetria de informação, externalidades, bens públicos, etc.), a resultados socialmente indesejáveis. Por outro lado, se as entradas, saídas (inclusive intangíveis) e efeitos externos de um projeto de investimento forem avaliadas pelos seus custos de oportunidade sociais, o retorno calculado será uma medida adequada da contribuição do projeto para o bem-estar social (Jenkins *et al.*, 2007).

3.2.2. Perspectiva de longo prazo

Uma perspectiva de longo prazo deve ser adotada, variando de um mínimo de 10 anos a um máximo de 30 anos, ou mais, dependendo do setor onde irá ocorrer a intervenção. Daí a importância da: definição de um horizonte de tempo adequado; previsão de custos e benefícios futuros coerentes com as informações atualmente disponíveis; adoção de taxas de desconto apropriadas para calcular o valor presente dos custos e benefícios futuros; e; consideração das incertezas ao avaliar os riscos do projeto. Apesar de, tradicionalmente, a principal aplicação da avaliação socioeconômica ser na fase *ex ante* do projeto, ela também pode ser usada em avaliações *in medias res* e *ex post*.

3.2.3. Cálculo de indicadores de desempenho socioeconômico em termos monetários

A avaliação socioeconômica é baseada em um conjunto de objetivos predeterminados a serem alcançados pelo projeto e estabelece valores monetário a todos os impactos positivos (benefícios) e negativos (custos) resultantes da intervenção. Estes valores são então descontados de forma a se calcular o benefício

total líquido. O desempenho geral do projeto é medido por indicadores, a saber, o Valor Presente Líquido Econômico (VPLE), expresso em valores monetários, permitindo a comparação e ranqueamento de projetos ou alternativas concorrentes (Commonwealth of Australia, 2006).

3.2.4. Abordagem microeconômica

A avaliação socioeconômica se utiliza, usualmente, de uma abordagem microeconômica permitindo a avaliação do impacto do projeto sobre a sociedade como um todo, através do cálculo de indicadores de desempenho econômicos, proporcionando assim uma avaliação das mudanças de bem-estar esperadas. Enquanto aspectos diretos como empregos diretos gerados ou efeitos ambientais externos realizados pelo projeto estão refletidos no VPLE, efeitos indiretos (*e.g.* em mercados secundários) e mais amplos (*e.g.* no índice de desemprego, no crescimento regional, etc.) devem ser excluídos. Isto ocorre por duas razões principais. Primeiramente a maioria dos efeitos indiretos e/ou mais amplos são normalmente transformados, redistribuídos e capitalizados sob forma de efeitos diretos sendo necessário limitar a possibilidade de dupla contagem. Além disso, não existem técnicas robustas para tradução desses efeitos e estas muitas vezes dependem de premissas cuja confiabilidade é de difícil verificação. Recomenda-se, no entanto, fornecer uma descrição qualitativa desses efeitos indiretos e/ou mais amplos de forma a explicar melhor a contribuição do projeto para o aumento do bem-estar social (Lakshmanan, 2011).

3.2.5. Abordagem incremental

A avaliação socioeconômica compara um cenário com o projeto com um cenário base (ou contrafactual) sem o projeto. A abordagem incremental requer que um cenário contrafactual seja definido como o que ocorreria na ausência do projeto. Para este cenário são feitas projeções para todos os fluxos de caixa relacionados com as operações do projeto durante toda sua vida útil. Nos casos onde o projeto consiste em um ativo completamente novo, ou seja, onde não existe nenhum serviço

ou infraestrutura pré-existente, o cenário sem o projeto é um sem qualquer operação (Florio, Forte, Pancotti, Sirtori e Vignetti 2016).

Já nos casos de investimentos que visam melhorar uma instalação já existente, ele deve incluir os custos e as receitas/benefícios necessários para operação e manutenção do serviço em um nível em que este ainda seja operável (*Business As Usual (BAU)*) ou até mesmo incluir pequenos investimentos programados para ocorrer de qualquer maneira (*do-minimum*). Em especial, recomenda-se a realização de uma análise do histórico de fluxos de caixa, como base para as projeções, se pertinente.

A escolha entre um cenário *BAU* ou *do-minimum* como contrafactual deve ser feita caso a caso, com base em evidências sobre qual é a situação mais provável e factível. Como regra, se existe incerteza o cenário *BAU* deve ser adotado. Se o cenário *do-minimum* for usado como contrafactual, este deve ser viável e crível, não causando benefícios ou custos adicionais indevidos e irrealistas. Tal escolha pode ter implicações importantes sobre os resultados da análise (Florio *et al.*, 2016).

A abordagem incremental também requer que projeções de fluxos de caixa sejam feitas para o cenário com o projeto proposto. Elas devem levar em consideração todos os investimentos, custos e benefícios socioeconômicos e financeiros resultantes do projeto. Em casos com investimentos com infraestrutura pré-existente, recomenda-se que também seja realizada a análise de custos e receitas históricos, como base para as projeções financeiras do cenário com o projeto e como referência para o cenário sem projeto, pois caso contrário a análise incremental será muito vulnerável à manipulação.

Por fim, a avaliação socioeconômica considera apenas a diferença entre os fluxos de caixa dos cenários com o projeto e contrafactual. Os indicadores de desempenho financeiros e socioeconômicos são calculados utilizando-se apenas os fluxos de caixa incrementais.

3.3 Taxa de Desconto Social

A taxa de desconto social (SDR do original em inglês *Social Discount Rate*) é usada na análise econômica de projetos de investimento para descontar custos e benefícios econômicos, e reflete o custo de oportunidade do capital sob uma

perspectiva intertemporal para a sociedade como um todo. Em outras palavras, ela reflete a visão social de como benefícios e custos futuros devem ser valorizados frente aos atuais. Neste sentido, cada taxa de desconto implica em um julgamento sobre o futuro que afeta o peso atribuído a benefícios ou custos futuros.

Uma SDR zero deriva da suposição de que pesos iguais são observados para custos e benefícios que ocorrem a qualquer momento, ou seja, que a realização de um consumo hoje ou no futuro é indiferente sob o ponto de vista de utilidade para a sociedade. Por outro lado, uma taxa de desconto positiva indica uma preferência da sociedade por consumir hoje em detrimento de consumo futuro, ao passo que o oposto é verdadeiro se a taxa de desconto é negativa. Diferentes abordagens têm sido propostas na literatura para estimar a SDR.

A taxa de retorno social de investimentos privados (SRRI do original em inglês *Social Rate of Return on private Investments*) se fundamenta na ideia de que os investimentos públicos deslocam investimentos privados, ou seja, que empresas privadas não farão investimentos que já estão sendo realizados pelo Estado. Portanto, de acordo com esta abordagem, o retorno sobre investimento público deve igual ou maior do que o retorno que poderia ser obtido a partir de um investimento privado. Logo, a SDR é considerada igual ao custo de oportunidade social marginal de fundos no setor privado. A abordagem SRRI geralmente possui um viés para altas estimativas da SDR, pois o retorno privado observado nos investimentos inclui um prêmio de risco que não deve ser incluído na SDR. Isso ocorre porque a sociedade como um todo, ou o governo, possui um portfólio muito maior do que qualquer investidor privado e, conseqüentemente, é capaz de explorar a diversificação dos riscos (Boardman, Greenberg, Vining e Weimer, 2006).

A taxa social de preferência temporal (SRTP do original em inglês *Social Rate of Time Preference*) é a taxa em que a sociedade está disposta a adiar uma unidade de consumo atual em troca de mais consumo no futuro. A lógica desta abordagem é que o governo deve considerar o bem-estar tanto da geração atual quanto das futuras e resolver um programa de planejamento otimizado com base em preferências individuais para consumo. Um possível limite da abordagem SRTP é que ao se concentrar no aspecto do consumo ela desconsidera o efeito de deslocamento que investimentos públicos podem ter sobre o investimento privado.

Existem outras abordagens aplicáveis para definição da SDR, porém são pouco utilizadas na prática. Entre elas está a abordagem média ponderada e a

abordagem do preço sombra do capital. Na primeira, quando o investimento público possui impactos tanto de deslocamento do investimento privado quanto no consumo futuro, a SDR deve ser estimada pela média ponderada da taxa de retorno sobre investimento e a taxa de preferências temporais. Já a segunda implica na conversão dos fluxos de investimento em equivalente de consumo por meio de um preço sombra de capital apropriado e posterior desconto desses fluxos à taxa social de preferência temporal.

Verifica-se que a SRTP é comumente aplicada em diversos países europeus e será objeto de maior detalhamento a seguir (Florio, 2006; Hepburn, 2007; Quinet, 2007).

3.3.1. Taxa Social de Preferência Temporal (SRTP)

Uma maneira relativamente fácil e muito utilizada para estimação da SRTP se baseia na eq. (3.1) que pode ser obtida a partir do modelo de crescimento econômico proposto por Ramsey (1928).

$$SRTP = p + e.g \quad (3.1)$$

onde

p é a preferência temporal pura;

e é a elasticidade da utilidade marginal do consumo, ou seja, a variação percentual da utilidade marginal dos indivíduos correspondente a cada variação percentual no consumo;

g é a taxa de crescimento esperada do consumo per capita.

Os dois componentes desta fórmula (um relacionado à preferência temporal e outro relacionado com o crescimento do consumo) refletem as duas possíveis razões pelas quais um consumo futuro pode ter um valor menor do que um consumo presente. Em primeiro lugar, geralmente se prefere uma renda ou consumo presente devido às incertezas sobre o futuro e por impaciência. Além disso, o consumo futuro pode ser avaliado com um valor menor do que o presente devido à probabilidade das pessoas se tornarem mais ricas no futuro. Cada termo da fórmula será discutido de forma mais detalhada abaixo.

O termo preferência temporal pura (p) pode ser decomposto em dois elementos: um relacionado com impaciência e miopia dos indivíduos, e outro relacionado ao risco de morte do indivíduo ou extinção da raça humana. O primeiro elemento refere-se à observação de que indivíduos favorecem o consumo presente sobre o consumo futuro e isso se reflete em um valor positivo para esse elemento. Entretanto, um valor positivo significa, na verdade, que as gerações futuras estarão em uma situação pior do que a presente pelo simples fato de terem nascido mais tarde. Logo, se considerarmos uma perspectiva social, é eticamente indefensável definir este elemento como diferente de zero. Já o segundo elemento usualmente é obtido dividindo o número de mortes pelo total da população. Como resultado, uma maneira prática de obtenção do valor de p é definir o elemento de impaciência e miopia dos indivíduos como igual a zero e igualar o elemento de risco de morte ou extinção da raça humana à taxa bruta de mortalidade anual da população (número de mortes ao longo população).

A elasticidade da utilidade marginal do consumo (e) capta a dinâmica do consumo ao longo do tempo. Este parâmetro leva em consideração que os consumidores de amanhã serão um pouco mais ricos que os atuais e que com isso sua utilidade marginal estará diminuindo. Em outros termos, ele reflete como o consumo deve ser transferido entre diferentes gerações.

Uma abordagem utilizada para estimar este termo é considerar o julgamento social sobre como o consumo deve ser transferido entre pessoas de momentos temporais diferentes. Isso pode ser obtido por meio da análise da progressividade das taxas nacionais de imposto de renda de pessoas físicas. Evans (2005) propõe a seguinte fórmula para cálculo da elasticidade:

$$e = \frac{\ln(1-t')}{\ln(1-t)} \quad (3.2)$$

onde t' e t são as taxas de imposto de renda marginal e média para um contribuinte médio.

Vale ressaltar que 1 é o valor neutro do parâmetro. Quando $e = 1$, então 1 valor monetário de consumo futuro adicional adiciona 1 valor monetário para o bem-estar social. Quando $e < 1$, os consumidores não estão tão interessados no crescimento futuro e o inverso ocorre para $e > 1$.

Por fim, a taxa de crescimento esperada do consumo per capita (g) implica que, se é esperado que as gerações futuras sejam mais ricas que a atual acarretando um aumento no consumo ao longo do tempo, deve ocorrer um aumento na taxa de desconto de forma a transferir a prioridade para a atual geração que é mais pobre. Geralmente, taxas de crescimento do consumo real per capita de muito longo prazo são utilizadas para estimar o crescimento futuro, a fim de suavizar possíveis distorções de curto prazo.

Estimativas empíricas para este termo usualmente são baseadas em modelos de crescimento que levam em conta tanto o caminho de desenvolvimento passado de longo prazo quanto o crescimento futuro esperado. Uma forma de estimar g é considerar outro indicador de bem-estar social correlacionado como *proxy* para o crescimento do consumo, tais como o crescimento do PIB per capita real, o crescimento do consumo ou o crescimento da renda pessoal.

3.4 Incertezas e análise de risco

Na avaliação socioeconômica de projetos, não é incomum o uso de uma análise determinística, ou seja, a escolha de valores exclusivos para quantidades e preços provenientes das melhores informações disponíveis no momento da avaliação e que são tratados como se fossem ser efetivamente realizados no futuro. No entanto, a realidade não suporta o cálculo do VPLE sob a suposição de que suas variáveis são determinísticas. A incerteza em torno dos custos e benefícios recomenda a inclusão de variáveis aleatórias que nos permitam obter uma gama de VPLEs e suas correspondentes distribuições de probabilidade associadas.

O futuro é incerto e incerteza significa variabilidade no resultado associado a uma determinada ação. É impossível viver sem risco. Investidores privados decidem sobre em que devem empreender sempre levando em consideração o risco envolvido em cada projeto. Um projeto arriscado é, a princípio, menos atraente a menos que possua retornos mais elevados para compensar a maior probabilidade de perda financeira se as circunstâncias se mostrarem desfavoráveis. Investidores privados exigem maiores taxas de retorno para projetos mais arriscados, como compensação pela maior probabilidade de uma perda.

Certeza absoluta inexistente, portanto, projetos de investimento ou políticas públicas que têm efeitos de longo prazo exigem previsões de seus impactos e estimativas de sua magnitude. A incerteza associada aos benefícios e custos de um projeto indica que seu resultado se encontra dentro de um intervalo de valores com suas respectivas distribuições de probabilidade associadas, não sendo este um valor determinístico. Com isso, a análise de risco fornece informações úteis para melhorar a tomada de decisão.

3.4.1. Taxa de Desconto Ajustada ao Risco

Uma questão chave em relação a gestão do risco associado a projetos reside em definir se o setor público deve agir como o setor privado, calculando os valores esperados com uma taxa de desconto maior, que inclua um prêmio de risco.

Há razões econômicas que suportam um tratamento diferente do risco quando os projetos são avaliados no setor público. Vimos que, para um investidor privado avesso ao risco, há um nível seguro de rentabilidade (o equivalente a certeza) inferior ao valor esperado, que deixa o investidor indiferente entre o projeto arriscado e um retorno livre de risco (Pinto, 2006).

Faz sentido para o investidor privado descontar os fluxos a uma taxa mais exigente, pois o risco é um custo real para um investidor avesso ao risco. Entretanto, deve-se questionar se o setor público também deve maximizar o VPLE dos benefícios sociais líquidos dos projetos de investimento e políticas públicas utilizando uma taxa de desconto social ajustada ao risco. A fundamentação teórica para descarte desta abordagem de risco em projetos do setor público é suportada pelo teorema proposto por Arrow e Lind (1970).

Havia duas posições anteriores ao teorema de Arrow-Lind sobre como o setor público devia introduzir prêmios de risco nas taxas de desconto. A primeira era que o setor público devia utilizar a mesma taxa de desconto ajustada ao risco que o setor privado. Este entendimento defendia que se o setor público usasse uma taxa de desconto livre de risco enquanto o setor privado acrescentasse um prêmio de risco, haveria uma má alocação de recursos por investimento excessivo do setor público. A segunda afirmava que o setor público deveria ignorar a incerteza e agir como se fosse indiferente ao risco e a avaliação do projeto deveria utilizar uma taxa de

desconto livre de risco. Levando em consideração que muitos projetos similares e independentes são realizados, os resultados tenderiam ao valor esperado. Isto pode ser interpretado como se o setor público fosse seu próprio segurador ao pagar as perdas associadas a situações adversas com os ganhos das situações mais favoráveis.

Apesar do teorema de Arrow-Lind também defender a utilização de uma taxa de desconto livre de risco, esta não se baseia na diversificação de risco por meio de um portfólio de projetos, e sim na capacidade do setor público de distribuir os riscos entre a população que faz com que os custos sejam imperceptíveis para os cidadãos e, portanto, indiferentes para suas decisões de investimento (Pinto, 2006).

3.4.2. Análises de sensibilidade e de cenários

A análise de sensibilidade consiste em alterar o valor de uma variável e verificar como isso afeta o resultado do projeto. Quando várias variáveis são modificadas ao mesmo tempo, se diz estar utilizando a análise de cenários. Uma opção dentro da análise de sensibilidade é calcular os valores limiares das variáveis relevantes. Esta verificação da sensibilidade dos resultados é realizada por meio da alteração do valor da variável selecionada até que o VPLE seja zero. Este valor é muitas vezes apresentado em termos relativos, ou seja, como a variação percentual no valor da variável alvo que faz com que o VPLE do projeto seja igual a zero (Florio *et al.*, 2016).

A lógica da análise de cenários não é substancialmente diferente da lógica da análise de sensibilidade. Em vez de modificar uma única variável e manter as demais fixas, na análise de cenários busca-se observar o efeito combinado das alterações em algumas variáveis selecionadas, alterações estas correspondentes a diferentes cenários possíveis. As análises de sensibilidade e de cenários possuem como vantagem revelar o grau de robustez dos resultados obtidos pela alteração no valor de uma variável ou um conjunto delas, comparando os resultados com os obtidos na análise determinista (Florio *et al.*, 2016).

Apesar da utilidade das análises de sensibilidade e de cenários ser largamente reconhecida, é importante observar suas limitações devidas principalmente ao uso de valores absolutos em detrimento do uso de intervalos de valores associados a

uma distribuição de probabilidade. A aleatoriedade de muitos dos eventos que afetam o projeto pode resultar em uma alteração conjunta dos valores das variáveis que pode não estar em conformidade com uma escolha rígida de cenários.

3.4.3. Análise de risco

A alternativa para mitigar essa limitação não pode ser baseada na adição de mais variáveis para a análise de sensibilidade. Com o acréscimo de novas variáveis o número de possíveis combinações cresce geometricamente, proporcionando muita informação de pouca utilidade prática para o tomador de decisão. A alternativa para as análises de sensibilidade e de cenários consiste em analisar o impacto das variáveis sobre o VPLE do projeto de uma forma mais sistemática. Tal abordagem alternativa é chamada de análise de risco.

A análise de risco procura obter o máximo de informações dos dados disponíveis, principalmente por meio da utilização de uso de intervalos de valores associados a uma distribuição de probabilidade. O uso de *softwares* especializados para análise de risco permite a simulação de milhares de valores possíveis para cada variável em um curto espaço de tempo, cada um resultando em um valor diferente de VPLE.

Em vez de computar um único VPLE e, em seguida, executar uma análise de sensibilidade com dois ou três valores de benefícios de forma a verificar as mudanças ocorridas nos fluxos de benefícios líquidos, com a análise de risco é possível se obter um número muito elevado de diferentes VPLEs calculados utilizando-se valores de entrada aleatórios definidos dentro de um intervalo de valores obtendo assim resultados probabilísticos (Balcombe e Smith, 1999). A análise de risco se baseia em três etapas.

A primeira etapa é a modelagem do projeto. Esta etapa é comum a qualquer análise financeira ou de custo-benefício, seja determinística ou estocástica (incorporando incertezas). Ela consiste em construir um modelo que capta a relação entre os custos e benefícios ao longo do tempo, a fim de prever o VPLE do projeto de acordo com os valores identificados para as variáveis. Em geral, a decisão sobre as variáveis do projeto depende de suas características.

A segunda etapa é a seleção das variáveis de risco. De todas as variáveis que determinam a rentabilidade do projeto, deve-se escolher apenas aqueles que, além de serem susceptíveis a alteração de seu valor, se o fizerem, modificam significativamente os resultados do projeto. Desta forma, variáveis que têm um alto impacto ao mudar de valor, mas possuam baixa probabilidade de que essa alteração ocorra ou que são susceptíveis a alteração de valor, mas possuem impacto irrelevante podem ser desconsideradas na análise.

A razão por trás da necessidade de se reduzir tanto quanto possível o número de variáveis incluídas na análise de risco é que quanto maior a quantidade de variáveis incluídas, mais difícil é estabelecer correlações entre elas e mais provável é a obtenção de resultados inconsistentes quando da simulação com valores aleatórios. Além disso, ao reduzir o número de variáveis, podemos concentrar nossos esforços na identificação do comportamento e as interações das variáveis mais relevantes para a avaliação do projeto.

A última etapa é a definição de distribuições de probabilidade para as variáveis. Na presença de incertezas, o valor das variáveis do modelo é de difícil determinação. Uma vez que se tem os valores mínimos e máximos, é preciso decidir qual distribuição de probabilidade é a mais adequada. A escolha do tipo de função de probabilidade é de fato uma previsão do futuro, que se baseia na análise de dados do passado, mas também numa visão subjetiva do futuro.

4. Análise de custo-benefício

A análise de custo-benefício é um método de avaliação que tem se desenvolvido em grande parte dentro das ciências econômicas. Ela compara os custos e benefícios de projetos ou políticas públicas, atuais ou futuros, em termos monetários. Em princípio, ele pode ser aplicado a qualquer alocação de recursos em um ambiente econômico (Layard e Glaister, 1994). Há uma longa extensa bibliografia que se estende ao longo de várias décadas onde é detalhado como uma CBA deve ser realizada, e que conceitos teóricos devem ser seguidos (Harberger, 1972; Dasgupta, Sen e Marglin, 1972; Mishan, 1975; Squire e Van der Tak, 1975; Sugden e Williams, 1978; Sassone e Schaffer, 1978; Ray, 1984; Hanley e Spash, 1993; Johansson, 1993; Layard e Glaister, 1994; Zerbe e Dively, 1994; Nas, 1996; Brent, 1998; Boardman *et al*, 2006).

No entanto, a literatura não é unânime no apoio ao método. Os críticos argumentam, por exemplo, que a CBA é "estúpida" (Richardson, 2000) ou apenas "suposições de um analista" (Junger, 1979). Os defensores costumam argumentar que os críticos não reconhecem os limites e possibilidades da CBA corretamente (Rosenthal e Nelson, 1992). Ainda assim, a literatura retrata uma imagem suficientemente clara quanto ao que é a CBA, como ela é aplicada, e os seus principais pontos fortes e fracos.

A análise de custo-benefício não é sobre valores monetários. Ela é fundamentalmente sobre bem-estar social. Valores monetários são fundamentais para a análise financeira, mas apenas instrumentais na avaliação socioeconômica de projetos e políticas públicas. O dinheiro é a unidade comum na qual são expressos os custos e benefícios de projetos sociais. Volume de água potável, acidentes evitados, economia de tempo, trabalho e energia consumidos são medidos em unidades diferentes e precisa-se de uma unidade comum de medida para expressar todos esses itens heterogêneos em um fluxo homogêneo. Este é o papel-chave da monetização na análise de custo-benefício.

A CBA é um método de organização de informações utilizado para auxiliar decisões sobre a alocação de recursos. Seu poder como uma ferramenta analítica repousa em duas características principais: custos e benefícios são expressos tanto quanto possível em valores monetários, sendo diretamente comparáveis; e; custos e benefícios são avaliados em termos das perdas incorridas e ganhos fornecidos para a comunidade como um todo, de modo que a perspectiva é 'global' e não limitada a um indivíduo ou grupo de interesse.

A realização de uma análise custo-benefício fornece ao tomador de decisão, comparações quantitativas de projetos ou políticas alternativas, juntamente com o apoio de informações de quaisquer custos e benefícios que não possam ser quantificados. No entanto, uma análise custo-benefício não substitui a necessidade de julgamento com base em uma ampla gama de considerações. Ela é utilizada de várias maneiras. Pode ajudar o governo a: decidir se uma proposta de projeto deve ser realizada; decidir se um projeto existente deve ser continuado; escolher entre projetos alternativos; escolher a escala e o momento adequado para um projeto; e; determinar leis ou políticas públicas que afetam o setor privado.

A CBA tem sido aplicada como ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão em diversos contextos. Dentre eles podemos destacar: aceitar ou rejeitar um projeto individual; escolha da escala ou do momento de implantação de um projeto; escolha de um projeto dentro de uma gama de projetos mutuamente excludentes; avaliação de políticas públicas, não limitadas a regulações governamentais; e; avaliação *ex post* de projetos e políticas públicas. Adicionalmente, a CBA é um método de análise muito popular em vários países e regiões como Estados Unidos da América, Austrália, Canada, Lituânia, União Europeia e Reino Unido que possuem seus manuais próprios de aplicação da CBA.

A literatura desse campo de pesquisa possui diversos exemplos de aplicação da CBA. Gewirth (1990) realizou um estudo sobre duas ações do governo britânico na área da saúde da Grã-Bretanha. A primeira ação foi o tratamento de pneumonia por antibiótico e a segunda, a campanha de imunização contra a pólio realizada no final dos anos 40. O estudo concluiu que a primeira ação resultou em benefícios líquidos positivos e a segunda negativos. Já Andersen (1997) utilizou a CBA para avaliar o desflorestamento na floresta amazônica, demonstrando que considerando os níveis de desmatamento da época, os benefícios potenciais do desmatamento eram mais elevados do que os custos esperados.

Almuneef e Memish (2003) avaliaram a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos em um hospital da Arábia Saudita, concluindo que esta apresentava um valor econômico positivo por meio da redução de riscos à saúde, economias financeiras e proteção ao meio ambiente. Já Bergmann, Hanley e Wright (2006) a utilizaram de forma a estimar a magnitude dos custos e benefícios das tecnologias de energia renovável na Escócia, identificando que em quase todos os dezesseis cenários considerados o parque eólico proporcionava um ganho de bem-estar líquido para a sociedade.

Reichhuber e Requate (2007) realizaram uma análise de custo-benefício de três sistemas de uso diferentes para o restante das florestas equatoriais da Etiópia, concluindo que o manejo florestal sustentável produz o maior valor econômico total quando considerados os benefícios globais de conservação da biodiversidade e armazenamento de carbono. Já Tha e Seager (2013) analisaram seis propostas de adoção de vazão ecológica do rio Zambeze, em Moçambique, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisões quanto à descarga proposital (vazão ecológica). Nela foram comparados os benefícios para as atividades de subsistência (pesca e agricultura) das comunidades do delta e também para a pesca comercial com a perda na produção de energia elétrica. O estudo concluiu que dois dos cenários avaliados resultaram em valores líquidos positivos para a sociedade moçambicana e o ecossistema do delta.

4.1

Contexto geral da CBA nas ciências econômicas

Existem duas abordagens para apresentação do contexto geral da CBA, sendo elas a formal e a informal. Uma apresentação mais formal exige o entendimento por parte do leitor da formulação técnica, gráfica e matemática. Embora não haja nenhuma objeção quanto a este tipo de abordagem, seu valor para o entendimento do objetivo desta tese é limitado. Como os fundamentos que precisam ser entendidos são não-técnicos, parece razoável seguir a abordagem informal. Para compreender o contexto geral da CBA nas ciências econômicas, existem alguns tópicos que precisam ser entendidos (Johansson, 1993; Boardman *et al.*, 2006).

O primeiro é o comportamento de unidades familiares e empresas individuais, ou seja, o conceito de que indivíduos ou unidades familiares individuais optam por

consumir diferentes produtos e maximizar sua utilidade (sujeito a restrições de orçamento) e o conceito de que empresas são capazes de produzir produtos diferentes em quantidades diferentes e maximizar seu lucro (utilizando mão de obra e insumos de capital). É importante observar que não por acaso a discussão começa com indivíduos, pois via de regra cada indivíduo é entendido como o melhor juiz de seu próprio bem-estar e realiza suas escolhas de forma a maximizar seu bem-estar (Ng, 1983).

Assume-se que indivíduos ou unidades familiares individuais estão sempre maximizando sua utilidade. Em mercados consumidores os indivíduos exigem certos produtos e a preços diferentes eles demandam quantidades diferentes desses produtos, dependendo da utilidade que o produto oferece a cada indivíduo. Eles também fornecem trabalho e recebem um rendimento em troca. A quantidade de trabalho que oferecem e o salário ou rendimento que querem receber em troca também depende da utilidade derivada de várias opções. O rendimento recebido representa uma restrição orçamentária para a demanda por bens de consumo.

Empresas privadas individuais - em última análise pertencentes a unidades familiares - estão produzindo bens de consumo, e tem várias possibilidades para produzir mais ou menos e alternar entre diferentes tipos de produtos. Elas usam trabalho e capital para o processo de produção, e podem usá-los em quantidades diferentes. As empresas tentam maximizar os lucros, que é a diferença entre a sua receita de vendas e seus custos operacionais e de capital.

O segundo tópico compreende os mercados competitivos e suas possibilidades para alcançar um equilíbrio geral que é, até certo ponto, socialmente ótimo. O critério de Pareto "fraco" indica que uma mudança de política é desejável se o resultado for bom para todos. O critério de Pareto "forte" afirma que uma mudança é desejável quando o resultado é positivo para ao menos alguém e não é negativo para ninguém.

A oferta e demanda por bens, trabalho e capital são confrontados uns com os outros em mercados competitivos. A questão da concorrência perfeita, em particular, tem de ser abordada. O ideal de um mercado perfeitamente competitivo é importante porque a economia de bem-estar social afirma que quanto mais próximo do ideal se encontrar a realidade, mais confiáveis serão os valores de mercado como indicadores de bem-estar social. Os requisitos de concorrência pura são que o mercado tenha apenas pequenas empresas e consumidores que não podem

influenciar individualmente os preços e, que todos os preços de produtos e fatores de produção homogêneos são uniformes em toda a economia (Blaug, 1985). Estas são condições necessárias, porém não suficientes para garantir a otimização. Para que a concorrência seja perfeita, todos os fatores de produção devem ser perfeitamente móveis de forma a evitar lucros acima dos normais e todos os agentes econômicos devem ter perfeito conhecimento das alternativas disponíveis.

Sob as circunstâncias ideais de concorrência perfeita, o mecanismo de mercado assegura a ocorrência das chamadas "condições marginais" que a ciência econômica tem desenvolvido para alocação ótima de recursos e que são até certo ponto "socialmente ótimas" (Blaug, 1985). No equilíbrio alcançado em um mercado específico, o custo marginal individual do fornecimento é igual ao benefício marginal individual da demanda, não havendo divergência entre os custos marginais "sociais" e benefícios marginais "sociais". Ou seja, em condições ideais os muitos julgamentos individuais dos consumidores e produtores resultam em resultados de mercado que podem ser vistos como socialmente ideais.

Por fim, é importante compreender a CBA como uma ferramenta para avaliar alterações de bem-estar no mundo real, onde a existência de bens públicos, externalidades e várias formas de falhas de mercado podem impedir que o mecanismo de mercado seja um mecanismo de alocação socialmente ótimo. Seu objetivo é determinar o impacto de uma certa mudança no bem-estar social avaliando o impacto que a mudança terá sobre o bem-estar de todos os consumidores individuais, que por sua vez podem ser medidos e valorados pela mudança nos preços e quantidades nos mercados. Um sinal positivo não indica diretamente que o projeto ou política pública atende ao critério de Pareto, pois podem haver vencedores e vencidos. Para conseguir resultados mais práticos e relevantes para a otimização social do que o critério de Pareto, a CBA utiliza o critério de Kaldor-Hicks, ou da melhoria de Pareto potencial (PPI). Ele afirma que o projeto ou política pública deve ser adotado se e somente se aqueles que irão obter benefícios poderiam compensar aqueles que irão perder benefícios e ainda assim serem considerados beneficiados (Boardman *et al.*, 2006). A compensação real dos perdedores pelos vencedores não tem de ocorrer necessariamente, mas tem de ser, a princípio, possível.

A identificação dos benefícios líquidos ou custos líquidos e determinação de se a compensação conceitualmente é possível, são muito auxiliadas por informações

relacionadas com o mercado. Quanto mais os valores monetários refletirem o bem-estar social corretamente, mais adequada será a CBA.

A importância do mecanismo de mercado perfeitamente competitivo para CBA está na causalidade e a transmissão relacionada dos impactos de bem-estar social através do sistema econômico. Ações e impactos possuem ligação causal. Se um produtor encontra uma maneira de produzir de forma mais eficiente, a concorrência garante que os preços vão ser reduzidos e que os consumidores serão beneficiados por meio de preços mais baixos. Esta redução, por sua vez, irá deixá-los com mais dinheiro para gastar nestes ou outros bens de consumo, o que pode tanto aumentar os preços quanto a produção desses bens, o que levará a necessidade de mais trabalho para a produção desses bens, etc. Embora os impactos possam vir a ser muitos e complexos, a CBA assume a mudança final de bem-estar dos indivíduos como o melhor ponto de medição. Nesse caso a concorrência perfeita pode reduzir significativamente a carga de trabalho para medição do bem-estar, pois como ela assegura que o efeito inicial na primeira etapa da cadeia causal (o impacto do projeto de primeira ordem) atinge os consumidores individuais finais sem distorções, a medição do bem-estar social pode ser restrita a esses chamados efeitos diretos.

4.2

CBA e a incorporação do conceito de bem-estar social

A economia do bem-estar é tida com a base da CBA, imputando-a com a tarefa de relacionar conceitos amplos e gerais de bem-estar sem qualquer conteúdo operacional à conceitos de valor econômico estritos relacionados ao mercado com conteúdo operacional prático. No contexto desta tese não é nem possível, nem útil, fornecer uma visão completa da economia do bem-estar, dos debates em torno dos seus principais conceitos, e de todas as possíveis implicações destes debates sobre a prática da CBA. A discussão irá se concentrar em dois elementos fundamentais cuja a compreensão é essencial para uma avaliação adequada da utilidade do CBA: o papel de conceitos amplos de bem-estar; e; o uso da abordagem de disposição a pagar (DAP) como um atalho para a avaliação do bem-estar (Porter, 1995; Boardman *et al.*, 2006; Mishan, 1981; Sen, 1982).

O primeiro elemento fundamental é que a economia do bem-estar se inicia a partir de conceitos amplos de bem-estar. A partir deste ponto de partida, pode-se seguir duas direções. A primeira é permanecer nos conceitos amplos, o que pode ser realista mas oferece pouca orientação prática para avaliação do projeto. A segunda é optar por um caminho mais prático. Ao se adotar a praticidade – opção mais usual na CBA – se chega no segundo elemento fundamental que é a disposição de um indivíduo em pagar ou aceitar valores monetários como ferramenta de medição de mudanças no bem-estar. O uso dessa ferramenta de medição tem várias limitações. Os contextos em que esta medida obtém melhores resultados e aqueles em que parece menos adequadas podem ser especificados com o auxílio do conceito de que as preferências existentes dos “consumidores” diferem daquelas dos “cidadãos”, mesmo sendo estes o mesmo indivíduo ou sociedade.

A discussão começa com o conceito de "utilidade", que é central na economia do bem-estar. Na economia de bem-estar espera-se que os indivíduos busquem maximizar a sua utilidade. Tal expectativa soa, muitas vezes, hedonista (busca do prazer), mas isso não é necessariamente verdade. Tanto a realização da justiça e a apreciação de um objeto de arte, quanto a aquisição de um novo automóvel são consideradas atividades ou produtos que dão origem a utilidade porque foram escolhidas e a utilidade é um dispositivo para auxiliar na explicação do por que as pessoas escolhem (Sen, 1985; Zerby e Dively, 1994; Brekke, Luraos e Nyborg, 1996).

A utilidade na economia de bem-estar é considerada uma variável ordinal para qualquer indivíduo. Não se é possível afirmar que um indivíduo esteja duas vezes mais satisfeito com um produto do que com outro, ou que esteja meio feliz com uma situação quando comparada com outra, pois estas são características de uma variável cardinal. O fato da utilidade ter característica ordinal significa que o indivíduo pode apenas afirmar que prefere um bem ou situação em relação a outro(a), ou seja, permite apenas o ranqueamento das alternativas existentes. A economia do bem-estar assume como premissa que o indivíduo está apto a fazer tal ranqueamento. A prioridade da economia do bem-estar é afirmar algo sobre o bem-estar de grupos de indivíduos, ou seja, da sociedade em geral. O conceito de utilidade individual, no entanto, não permite agregação visto não serem possíveis comparações interpessoais de utilidade. Se o avaliador aderir a utilidade ordinal, as únicas afirmações que podem ser feitas com segurança durante a avaliação das

alternativas é que o bem-estar da sociedade aumenta se aumentar para todos os indivíduos ou se aumentar para ao menos um indivíduo sem reduzir para nenhum indivíduo. Conforme informado anteriormente, tais afirmações são chamadas de critério de Pareto “fraco” e “forte” respectivamente (Ng, 1983).

Dentro da economia do bem-estar é possível distinguir dois grupos diferentes de autores que podem ser classificados, para fins de explicação, como teóricos “subjetivistas” e da “corrente principal” (Blaug, 1985).

Com relação aos teóricos “subjetivistas”, há certa resistência em analisar situações em que algumas pessoas ganham e alguns perdem bem-estar. Parte dos teóricos modernos “subjetivistas” chegam muito próximos a aceitar este “ponto de impossibilidade”. A aceitação desse ponto está intimamente ligada a uma determinada ideia de que, fundamentalmente, a economia é a ciência que estuda o comportamento humano como uma relação entre fins e meios escassos que têm usos alternativos.

Já os teóricos da “corrente principal” usam a disposição a pagar (DAP) e a disposição a aceitar (DAA) como um dispositivo de ligação entre valores monetários e mudanças no bem-estar. A CBA usa dados sobre as preferências associadas a dois tipos diferentes de contextos. Preferencialmente, a CBA utiliza métodos de preferência revelada para identificação da DAP, pois esta é baseada em um comportamento real que a revelou. Outra opção é a solicitar explicitamente a DAP por meio de questionários. O segundo tipo de método, denominado preferência declarada, é especialmente popular na avaliação de impactos ambientais.

A utilização da DAP como forma de medição de mudanças no bem-estar possui limitações muitas vezes não reconhecida em uma CBA. A DAP e DAA implicam uma aplicação restrita do conceito de bem-estar à mudanças sobre as quais os indivíduos estão dispostos a imputar valores monetários. Dois pontos relativos a estas limitações parecem ser especialmente relevantes: hesitação na valoração; e; valoração sensível ao contexto.

Primeiramente, os indivíduos podem hesitar em valorar certos aspectos por entender não fazer sentido ou por conflitos éticos e morais. Provavelmente o melhor exemplo desse tipo de situação é a valoração da vida humana, mas ela também é recorrente na valoração de aspectos ambientais (Merkhofer, 1987; Revesz, 1999; Spash, 2000; Sunstein, 2004). Em segundo lugar, e talvez de uma forma mais geral,

as pessoas tendem a expressar sua DAP num certo contexto e o uso e utilidade dessa expressão fica limitada ao contexto em que ela foi dada.

4.3

A abordagem de disposição a pagar na avaliação de impactos diretos e externos

A abordagem disposição a pagar (DAP), juntamente com a da disposição a aceitar (DAA), podem ser aplicadas na quantificação dos benefícios diretos e dos impactos, positivos ou negativos, dos efeitos externos do projeto. A DAP mede o valor máximo que os indivíduos estariam dispostos a pagar para obter os resultados que eles entendem como desejáveis ou, alternativamente, o valor máximo que as pessoas estariam dispostas a pagar para evitar resultados que eles entendem como indesejáveis. A DAA mede o valor mínimo que um indivíduo aceitaria receber em troca de um bem. Na teoria econômica, o valor de equilíbrio da DAP e DAA são conceitualmente equivalentes a fim de que a escolha entre as medidas de DAP e DAA reflète uma escolha entre medidas alternativas de bem-estar hicksianas (*i.e.*, variação compensatória contra variação equivalente).

No entanto, foi demonstrado empiricamente que os indivíduos tendem a dar estimativas mais elevadas para a DAA do que para a DAP. Isso ocorre porque as pessoas tendem a exigir compensações monetárias superiores para desistir de bens que já possuem, do que o preço que eles dizem estar dispostos a pagar para comprar o mesmo bem se eles não o têm. Por esta razão, a literatura recomenda a utilização da DAP.

Como já citado anteriormente, as saídas podem incluir produtos e serviços efetivamente comercializados no mercado e externalidades. No primeiro caso, mesmo se uma tarifa, uma taxa ou imposto for pago pelos usuários, isso pode ser distorcido e não refletir nem o custo total de produção, nem qualquer benefício ou custo social adicionais incorridos na produção desse produto ou serviço. Em situações semelhantes, o valor monetário da receita financeira não é o "verdadeiro" valor socioeconômico da saída, pois é a DAP que fornece uma melhor estimativa para o valor social do bem ou serviço do que os preços observados.

A importância da utilização da abordagem DAP também é igualmente evidente quando externalidades, para os quais nenhuma compensação monetária é paga, são produzidas pelo projeto. As externalidades têm de ser "internalizadas",

ou seja, valoradas em termos monetários e inseridas na análise econômica do projeto. Tanto para as externalidades positivas quanto para as negativas, a DAP fornece, na maioria dos casos, uma estimativa de referência do seu valor social. Isso permite valorar a melhoria total de bem-estar, tendo em conta as mudanças de bem-estar em todos os vencedores e perdedores do projeto.

Diferentes métodos podem ser adotados para estimar empiricamente a DAP como uma medida de bem-estar. As três principais categorias metodológicas são os métodos de preferência revelada, métodos de preferência declarada e método de transferência de benefícios. Eles serão discutidos em seguida e estão bem estabelecidos e consolidados, tanto na teoria quanto na prática da CBA.

4.3.1. Métodos de preferência revelada

Estes métodos implicam que a avaliação dos impactos não mercantis é baseada na observação do comportamento real e, especialmente, nas compras feitas em mercados reais. Consequentemente, o foco é sobre escolhas reais e suas disposições a pagar implícitas. A força desses métodos é que eles são baseados em decisões reais feitas por indivíduos. O principal ponto fraco é a dificuldade de testar os pressupostos comportamentais em que os métodos se baseiam (Adamowicz, Louviere e Williams, 1994). Os principais métodos específicos são o método de preços hedônicos, o método de custo de viagem e o método de comportamento preventivo.

4.3.1.1. Método de Preços Hedônicos

O foco deste método está na observação, no mercado, do comportamento de bens relacionados ao que estão sendo avaliados. O ponto de partida é o fato de que os preços de muitos bens de mercado são funções de um conjunto de características. Por exemplo, o preço de uma máquina de produção depende da variedade ou quantidade de peças que ela produz, a sua eficiência energética e a sua confiabilidade. Por meio de técnicas estatísticas o método tenta isolar o preço implícito de cada uma destas características (Aguirre e De Faria, 1997). Na

avaliação de itens que não são do mercado, o método utiliza dois tipos de mercados: o mercado imobiliário e o de trabalho.

No que diz respeito ao mercado imobiliário, as casas podem ser descritas por meio de suas características estruturais (*e.g.* número de quartos), características de localização (*e.g.* proximidade de escolas), características da vizinhança (*e.g.* as taxas de criminalidade) e características ambientais (*e.g.* ruído do tráfego rodoviário). O método de preços hedônicos deve identificar a contribuição de cada determinante significativo dos preços da habitação, a fim de estimar a disposição a pagar marginal por cada característica. Estudos hedônicos do mercado imobiliário têm sido utilizados para identificar o valor de bens não mercantis, tais como o ruído do tráfego, o ruído das aeronaves, a poluição do ar, qualidade da água e proximidade de aterros sanitários. Uma casa perto de um aeroporto, por exemplo, será adquirida a um preço mais baixo do que uma casa localizada em uma área tranquila, caso todas as outras características sejam semelhantes. A diferença entre valores pode ser entendida como o valor atribuído ao ruído. A criação de um parque urbano em uma área industrial em desuso ou a melhoria da urbanização de um bairro aumentam o valor de mercado das propriedades localizadas na área de projeto. O aumento total do valor imobiliário é um bom indicador do benefício socioeconômico do projeto. Nos mercados de trabalho, a observação de diferenças salariais entre postos de trabalho com exposição diferente ao risco físico é utilizada para estimar o valor de evitar o risco de morte ou lesão (Aguirre e De Faria, 1997).

Alguns problemas específicos típicos desta abordagem são a falta de informação sobre dados domiciliares e o fato de que as características do mercado tendem a se mover em conjunto, sendo muitas vezes difícil identificar o efeito individual de cada característica.

4.3.1.2. Método de custo de viagem

O método de custo de viagem visa valorar a disposição a pagar de um indivíduo pelo acesso aos recursos ambientais (*e.g.* áreas de lazer ao ar livre) observando os custos incorridos para acessá-los. A base do método é a observação de que viajar e áreas de lazer ao ar livre são complementares de tal modo que o valor das áreas de lazer pode ser medido com referência a valores expressos nos

mercados para viagens até essas áreas. Espera-se que para áreas localizadas muito longe da área de referência, o número de visitas seja zero porque o custo da viagem excede o benefício derivado da viagem (Maia e Romeiro, 2008).

Para tal, é importante saber o número de viagens para as áreas de recreação ao ar livre ao longo de um determinado período de tempo, os custos das viagens a estas áreas a partir de origens diferentes divididos em custos de viagem, preço de admissão (se for o caso), despesas no local, despesas com bens de capital necessários para o consumo e o tempo gasto no deslocamento e seu valor.

Alguns problemas específicos típicos desta abordagem estão relacionados com viagens de múltiplos propósitos, pois quando muitas viagens têm mais de um destino, é difícil identificar qual parte do custo total da viagem é relacionada a um destino específico. Outro problema é que o método de custo de viagem permite uma estimativa da DAP para a área como um todo, em vez de uma característica específica desta área, o que pode tornar difícil a estimação do valor de uma mudança em um atributo de um bem multidimensional. Uma vez que apenas os benefícios do consumo direto dos serviços ambientais são considerados nesta abordagem, valores de não-uso (existência, altruísmo e legado) não podem ser considerados (Maia e Romeiro, 2008).

4.3.1.3. Método do comportamento preventivo

A principal premissa do método do comportamento preventivo é que os indivíduos podem se isolar de um bem não mercantil por meio da adoção de comportamentos mais caros para evitá-lo. Outra maneira de evitar a exposição a um bem não mercantil específico é a compra de um bem de mercado que "defenda" o consumidor (despesas defensivas). O valor de cada uma dessas compras pode ser considerado o preço implícito para o bem não mercantil que as pessoas querem evitar (Miranda, Vitale e Zampier, 2009).

Um exemplo poderia ser a instalação de janelas com vidros duplos para diminuir a exposição ao ruído do tráfego rodoviário. Uma janela de vidros duplos é um bem de mercado que pode ser entendido como um substituto para um bem não mercantil (ausência de ruído do tráfego rodoviário) e assim o custo de aquisição da janela pode ser considerado como o preço do bem não mercantil.

Há vários problemas específicos típicos desta abordagem tais como o fato de que as despesas defensivas muitas vezes representam uma estimativa parcial do valor dos bens não mercantis a serem evitados e que muitos comportamentos preventivos ou despesas defensivas estão relacionados a um mesmo produto (*e.g.* aquecimento e isolamento de ruído). Além disso, indivíduos ou empresas podem realizar mais de uma forma de comportamento preventivo em resposta a qualquer mudança ambiental.

4.3.2. Métodos de preferência declarada

Métodos de preferência declarada são baseados em *surveys* e tentam deduzir o comportamento futuro dos indivíduos nos mercados. Por meio de questionários adequadamente concebidos, um mercado hipotético é descrito no qual o bem em questão pode ser negociado. Pede-se, então, para uma amostra aleatória de pessoas expressar sua máxima disposição a pagar (ou disposição a aceitar) pela suposta mudança no nível de provisão do bem (Adamowicz *et al.*, 1994).

A principal vantagem dos métodos com base nesta abordagem é representada pela flexibilidade que eles podem assegurar. Eles permitem a avaliação de quase todos os bens não mercantis, além de serem capazes de capturar todos os tipos de benefícios de um bem ou serviço não mercantil, incluindo os valores de não uso. Os principais métodos são o método de avaliação de contingência e o método de modelagem de escolha.

4.3.2.1. Método de avaliação de contingência

O objetivo do método de avaliação de contingência é deduzir preferências individuais, em termos monetários, quanto a mudanças na quantidade ou qualidade de um bem ou serviço não mercantil. O elemento chave em qualquer estudo de avaliação de contingência é um questionário devidamente concebido. O questionário tem como objetivo determinar as estimativas dos indivíduos sobre o quanto ter ou evitar a mudança em questão vale para eles (Miranda *et al.*, 2009).

De forma a viabilizar a realização de uma avaliação de contingências, algumas ações devem ser tomadas. São elas: investigar as atitudes e o

comportamento relacionados ao bem a ser valorado de forma a revelar os fatores subjacentes mais importantes que moldam a atitude dos entrevistados para com o bem; apresentar aos respondentes um cenário de contingências, que fornece uma descrição do bem e os termos em que o mesmo deve ser hipoteticamente oferecido, visto que as questões finais devem ter como objetivo determinar o quanto os respondentes valorizariam o bem se confrontados com a oportunidade de obtê-lo sob os termos e condições especificados; fazer perguntas sobre as características socioeconômicas e demográficas dos respondentes, a fim de verificar em que extensão a amostra de pesquisa é representativa da população envolvida; e; perguntar aos entrevistados se eles estariam dispostos a pagar um montante específico em troca do bem e se a resposta for afirmativa, repetir a pergunta, aumentando ligeiramente o preço até que o entrevistado expresse uma falta de vontade de pagar o valor especificado (Miranda *et al.*, 2009).

No final do processo de *survey*, analistas utilizam técnicas econométricas apropriadas para derivar medidas de bem-estar, como disposição a pagar média ou mediana e seus fatores mais determinantes.

Problemas com a avaliação de contingência estão associados com a probabilidade de que os respondentes não entendam completamente o cenário ou o bem sob avaliação, ou mesmo não estejam dispostos a atribuir um valor monetário a certos bens (*e.g.* o valor de uma vida humana). Além disso, Carson e Groves (2007) apontam que um aumento na oferta de um bem público para o qual é feita apenas uma contribuição voluntária, geralmente é supervalorizado. Isso ocorre porque os entrevistados têm um incentivo para tentar “pegar uma carona”, ou seja, aumentar as chances de oferta do bem desejado sem ter que pagar por isso.

4.3.2.2. Método de modelagem de escolha

A modelagem de escolha é um método baseado em *surveys* utilizado na modelagem de preferências por bens, quando os bens são descritos em termos de seus atributos e do nível desses atributos. Os respondentes possuem várias descrições alternativas de um bem, diferenciados por seus atributos e níveis, e são solicitados a ranquear as alternativas, classifica-las ou a escolher a sua opção preferida. Ao incluir o preço/custo como um dos atributos do bem, a disposição a

pagar pode ser diretamente obtida a partir dos ranqueamentos, classificações ou escolhas. Além disso, neste caso, o método permite a medição de valores de não uso (Brito, 2007).

Os principais pontos fortes do método são sua capacidade de lidar com situações onde as mudanças são multidimensionais, graças à sua capacidade de identificar separadamente o valor dos atributos específicos de um bem e o fato de que ao se basear em classificações, rankings e escolhas, e derivar indiretamente da disposição a pagar dos entrevistados, o método supera alguns problemas associados com o método de avaliação de contingência.

Os principais pontos fracos são representados pela dificuldade experimentada pelos entrevistados em lidar com múltiplas escolhas e ranqueamentos complexos, pela ineficiência na derivação de valores para uma sequência de elementos implementados por uma política ou projeto (nesse caso o método de avaliação de contingência deve ser utilizado) e por fim, pela sensibilidade da estimativa da disposição a pagar ao desenho do estudo. Para exemplificar, a escolha de atributos e níveis a serem apresentados aos entrevistados e a maneira como essas escolhas são apresentadas aos entrevistados (uso de fotografias, descrição de texto, etc.) podem ter impacto sobre os valores estimados.

4.3.3. Método da transferência de benefícios

Evoluções no comportamento de políticas públicas têm enfatizado a relevância da abordagem (ou método) da transferência de benefícios na avaliação de bens não mercantis, mais especificamente bens e serviços ambientais (Pearce, Atkinson e Mourato, 2006). Este método consiste em tomar um valor unitário para um bem não mercantil estimado em um estudo original e usar esta estimativa, depois de alguns ajustes, para valorar benefícios (ou custos) que surgem quando uma política ou projeto é implementado em outros lugares.

O interesse demonstrado nesta abordagem deve-se à oportunidade de reduzir a necessidade de estudos originais dispendiosos e demorados dos valores de bens não mercantis. Além disso, a transferência de benefício pode ser utilizada para avaliar utilidade de uma análise mais aprofundada. O principal obstáculo na utilização desta abordagem é que a transferência de benefício pode dar origem a

estimativas muito tendenciosas, embora, obviamente, julgamento e discernimento sejam necessários em todos os passos inerentes a realização de um exercício de transferência de benefícios.

A transferência de benefício geralmente é realizada em três etapas: compilação da literatura existente sobre o assunto sob investigação (atividade recreativa, saúde humana, poluição do ar e da água, etc.); avaliação dos estudos selecionados para a sua comparabilidade (semelhança dos serviços ou benefícios ambientais valorados, diferenças de renda, educação, idade e outras características socioeconômicas que podem afetar a avaliação); e; cálculo dos valores e sua transferência para o novo contexto de avaliação.

4.4 Etapas da Análise de Custo-Benefício (CBA)

A CBA deve ser flexível o suficiente para capturar as características específicas de cada estudo de caso. Entretanto, existem algumas etapas que devem ser seguidas independente dos aspectos específicos do projeto em avaliação. Em seguida será fornecida uma breve descrição de cada etapa com base na literatura existente, bem como uma avaliação de seus prós e contras. Um resumo das etapas da CBA é apresentado na Figura 2.

Uma etapa preliminar importante da CBA envolve descrever o contexto social, econômico, político e institucional em que o projeto será implementado. Esta é a oportunidade de situar o projeto ou programa em um contexto mais amplo, antes de estreitar o foco para o projeto ou programa em si.

Os principais itens a serem descritos compreendem: as condições socioeconômicas do país ou região que são relevantes para o projeto, incluindo, por exemplo, a dinâmica demográfica, o crescimento esperado do PIB e as condições do mercado de trabalho; a infraestrutura existente para prestação de serviços públicos, incluindo indicadores ou dados sobre a cobertura e qualidade dos serviços prestados, os custos operacionais atuais e as tarifas pagas pelos usuários, se houver; a percepção e as expectativas da população com relação ao serviço a ser prestado, incluindo, quando for relevante, as posições adotadas por organizações da sociedade civil; e; outras informações e estatísticas que são relevantes para melhor qualificar o contexto, como por exemplo, a existência de questões ambientais.

A definição do contexto é fundamental para a identificação de tendências futuras, especialmente para análise de demanda. De fato, a possibilidade de alcançar previsões críveis sobre custos e benefícios depende de uma boa avaliação das condições macroeconômicas e sociais da região. Além disso, este exercício tem como objetivo verificar se o projeto é apropriado para o contexto em que ele ocorre.

Figura 2 - Etapas da Análise de Custo-Benefício (CBA)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.1.

Etapa um: Definir o projeto, seus objetivos e a alternativas relevantes

A primeira etapa contempla a definição dos objetivos a serem alcançados pelo projeto ou política e o exame das alternativas relevantes. A partir da análise dos elementos contextuais, devem ser avaliadas as necessidades da sociedade que podem ser abordadas pelo projeto. Os objetivos do projeto devem, então, ser definidos em relação explícita com essas necessidades. Em outras palavras, a avaliação das necessidades baseia-se na descrição do contexto e fornece a base para a definição do objetivo.

Uma clara definição dos objetivos do projeto é imprescindível para a identificação dos efeitos resultantes da implementação do projeto a serem melhor avaliados na CBA de forma a mensurar seus reais impactos no bem-estar social (Zerbe e Diveley, 1994). Além disso, ela também é importante para a verificação da relevância do projeto, pois permite avaliar se foram fornecidas evidências de que o projeto atende a uma necessidade prioritária da sociedade.

Por fim, devem ser identificadas as alternativas de investimento. Apesar de todas as alternativas de investimento identificadas implicarem em quantidades consideráveis de análise posterior (se elas forem totalmente incorporadas na análise de custo-benefício), o número de alternativas geradas deve ser suficiente para prover ao tomador de decisão possibilidades reais de exercer uma escolha. Além disso, a alternativa de "não fazer nada" deve sempre ser identificada. Isso se faz necessário porque os custos e os benefícios são sempre incrementais em relação ao cenário onde projeto algum foi realizado. Assim, a opção "não fazer nada" representa o caso base (Sassone e Schaffer, 1978).

Adicionalmente, devem ser identificadas as restrições que possam afetar o cumprimento dos objetivos de forma a garantir que todas as alternativas analisadas sejam factíveis. As restrições podem ser de natureza financeira (*e.g.* limites de orçamento), distribucional (*e.g.* requisitos relativos à distribuição dos benefícios do projeto entre os indivíduos ou grupos), gerencial (*e.g.* limites de quantidade e/ou qualidade do pessoal disponível para executar a atividade) e ambiental (*e.g.* normas de proteção ambiental que devem ser cumpridas). A natureza das restrições relevantes para um projeto ou programa específico nem sempre pode ser conhecida com certeza. A existência de restrições potenciais, ou seja, sujeitas a condicionantes, deve ser claramente definida.

4.4.2.

Etapas dois: Identificar os impactos do projeto

A segunda etapa consiste na identificação dos impactos positivos (benefícios) e negativos (custos) do projeto. Deve ser elaborada uma lista dos benefícios e custos esperados do projeto. Para identificá-los é necessário um conhecimento aprofundado das repercussões do projeto ou programa. Para determinar quais e como impactos devem ser considerados, a CBA utiliza sua base teórica

fundamentada na economia do bem-estar. Nela, a utilidade, seja da sociedade ou do indivíduo, é um conceito central (Hanley e Spash, 1993).

A lista de benefícios podem incluir itens como: o valor dos produtos conforme refletido nas receitas gerada por um projeto particular; o valor residual dos bens de capital do projeto; os custos evitados, ou seja, os custos que teriam sido incorridos no cenário de “não fazer nada”; ganhos de produtividade, ou seja, as reduções nos níveis existentes de dispêndio resultantes do projeto ou programa; redução do desemprego e efeitos econômicos associados; e; benefícios para a saúde da população, meio ambiente e outros benefícios sociais como a redução do desemprego.

Como exemplos de custos podemos citar: despesas de capital; custos de operação e manutenção incorridos durante toda a expectativa de vida econômica do projeto; custos de trabalho; custos de insumos (materiais, produtos manufaturados, transporte e armazenamento, etc.); custos de pesquisa e desenvolvimento; custos de oportunidade associados à utilização dos recursos; custos ambientais e sociais como a poluição do ar e a poluição sonora.

Embora a literatura da CBA seja repleta de terminologia associadas a bens, preços e custos, vale reforçar que ela não se limita aos impactos meramente tangíveis e os custos ou benefícios tanto tangíveis quanto intangíveis devem ser incorporados (Nas, 1996)

4.4.3. Etapa três: Quantificar os impactos relevantes

Esta etapa determina as quantidades físicas de custos e benefícios e sua distribuição no tempo. A quantificação dos elementos considerados relevantes pode variar do muito simples ao muito difícil. Como exemplo, identificar a quantidade de materiais como concreto, ferro e asfalto necessários para a construção de uma estrada pode ser feito de forma simples e direta. No entanto, determinar o impacto ambiental local desta estrada, bem como a estimativa do número de veículos que irão percorrê-la ao longo de trinta anos pode ser muito difícil. A CBA precisa quantificar fisicamente os impactos antes de valorá-los. Se possível, distribuições de probabilidade ou intervalos de valores esperados podem ser determinados para impactos diferentes.

A teoria da CBA provê pouca orientação adicional para esta fase, exceto quando se discute estudos de casos específicos. A razão para esta falta de orientação geral é provavelmente porque esta fase é comum a muitos tipos de avaliação. Segundo Patton (1997), avaliações são baseadas em dados e uma avaliação formal orientada para o julgamento não pode ser realizada sem uma coleta sistemática de dados.

4.4.4.

Etapa quatro: Valorar monetariamente os efeitos relevantes

A análise de custo-benefício compara custos e benefícios utilizando uma medida comum, de preferência monetária. Assim, valores devem ser atribuídos aos custos e benefícios que serão utilizados na análise.

Os preços de mercado, quando existentes, fornecem uma grande quantidade de informações sobre a magnitude dos custos e benefícios. Na maioria dos mercados, os consumidores estão dispostos a pagar exatamente o preço real de mercado. Assim, esse preço pode geralmente ser adotado como uma medida do valor atribuído pela sociedade a um bem ou serviço. Da mesma forma, os preços dos insumos geralmente refletem seu valor. No entanto, as vezes os preços reais têm que ser ajustados para converter os custos e benefícios privados em sociais, ou seja, em custos e benefícios que refletem os ganhos e perdas para a economia como um todo, e não para indivíduos ou grupos (Hanley e Spash, 1993).

Dados confiáveis são necessários para a avaliação dos custos e benefícios. Na prática, a valoração muitas vezes depende de estudos técnicos detalhados. Nesse contexto, é necessária uma atenção especial quanto às premissas utilizadas na definição dos preços que fundamentam os estudos. Como os custos e benefícios dependem em sua maior parte desses preços, a utilização de dados pouco confiáveis compromete toda a análise realizada.

Os custos e benefícios devem ser estimados para todo o período do projeto. Com isso, a previsão é uma parte fundamental do processo de valoração dos custos e benefícios. Técnicas econométricas são amplamente utilizados para fins de previsão. Seja qual for a técnica utilizada, deve-se evitar a tentação, muito comum, de superestimar a taxa de crescimento dos benefícios e subestimar a taxa de crescimento dos custos.

Uma abordagem muito utilizada internacionalmente é obter a análise econômica por meio da financeira. Segundo Hanley e Spash (1993), para que isso ocorra o analista possui três obrigações: estimar preços para fluxos de valor futuro; corrigir os preços de mercado quando necessário; e; calcular os preços quando nenhum existir.

4.4.5. Etapa cinco: Descontar custos e benefícios

O total de custos em cada ano de vida do projeto é subtraído do total de benefícios no mesmo ano produzindo um fluxo anual de benefícios líquidos do projeto. Esse fluxo de benefícios líquidos deve ser descontado a uma determinada taxa de forma que o analista obtenha o valor presente líquido do projeto ou programa.

Ainda há muito debate sobre a utilização de taxas de desconto na CBA (Moore, Boardman, Vining, Weimer, e Greenberg, 2004). Autores que escrevem sobre esse tema usualmente tomam como ponto de partida taxas de empréstimos reais que são familiares para os consumidores ou produtores e, em seguida, propõem uma taxa diferente para a avaliação de um projeto ou política pública. Stiglitz (1994) argumenta que a taxa de desconto pode variar de projeto para projeto e que a escolha da taxa adequada deve ser feita após uma análise minuciosa das consequências distributivas do projeto. Dependendo dos resultados desta análise, a taxa de desconto pode ser inferior, igual ou maior do que as taxas de empréstimos para consumidores e produtores.

No contexto de avaliação de políticas públicas, parece haver consenso sobre a adoção de uma taxa de desconto um pouco mais baixa do que as taxas atuais de juro de mercado de longo prazo (Nas, 1996). A lógica por trás disso é de fácil entendimento. Como uma política pública muitas vezes tenta corrigir algum tipo de falha de mercado, seria pouco razoável esperar um retorno de mercado de medidas de política pública.

Devido a escolha de uma taxa de desconto ser crucial para a CBA, e porque esta escolha é frequentemente objeto de debate, os governos usualmente indicam a taxa de desconto a ser utilizada. Estas taxas são, muitas vezes, um pouco abaixo da taxa de juros de longo prazo (Layard e Glaister, 1994). Naturalmente este

procedimento de padronização da taxa de desconto pelo governo aumenta consideravelmente a comparabilidade dos resultados entre projetos, bem como a transparência e prestação de contas na CBA (Adler e Posner, 1999).

4.4.6.

Etapa seis: Aplicar o teste do valor presente líquido

A etapa seis pode ser considerada a etapa do resultado final da CBA. Uma vez que todos os impactos foram calculados em termos monetários e uma taxa de desconto apropriada foi escolhida, a soma líquida dos custos e benefícios pode ser calculada como um valor presente, ou seja, como um valor como se fosse um custo ou benefício atual. Em geral, um projeto é aceitável se o valor presente líquido esperado é igual ou maior que zero. Caso estejam sendo avaliados mais de um projeto e existem restrições como restrições orçamentárias ou projetos mutuamente excludentes, torna-se necessário classificar todas as alternativas, sendo escolhida a com o valor presente líquido mais elevado. Como pode ser observado, o valor presente obtido desconsidera quaisquer incertezas de mercado e as flexibilidades gerenciais existentes no projeto. Logo, ele será utilizado como caso base para comparação com a avaliação realizada aplicando a teoria de opções reais.

4.4.7.

Etapa sete: Realizar uma análise de sensibilidade e de cenários

Valores presente líquidos estimados são baseados em estimativas de custos e benefícios futuros que não são, e não podem ser, conhecidas com certeza. De forma a se obter uma apreciação dos efeitos da incerteza ou riscos a que está exposto o projeto, o analista deve empregar as análises de sensibilidade e de cenários. O primeiro passo para realização dessas análises é estimar o valor presente líquido usando pressupostos 'pessimistas' e 'otimistas' plausíveis sobre as principais variáveis que determinam os custos e benefícios. Se o cenário "pessimista" resultar em um valor presente líquido negativo, é necessário identificar as variáveis às quais o projeto é mais sensível. Essa identificação é feita por meio da adoção de valores pessimistas plausíveis para cada variável, uma de cada vez, mantendo todas as outras variáveis com seu valor mais provável ou médio.

Se for verificada a existência de apenas uma ou duas variáveis críticas, o analista precisa apenas avaliar a probabilidade de essas variáveis apresentarem valores acima ou abaixo do valor crítico, de forma a apresentar uma avaliação adequada do risco de projeto ao tomador de decisão. Se houver diversas variáveis críticas, não será possível avaliar a incerteza do projeto desta maneira. Será necessária, então, uma análise completa dos riscos onde distribuições de probabilidade são atribuídas aos valores de todas as variáveis críticas, e, através de iterações repetidas pode ser gerada uma distribuição de probabilidades do valor presente líquido do projeto.

4.5 Limitações da CBA

O uso efetivo de análise custo-benefício exige que o analista esteja consciente das limitações do método que fazem com que sua aplicabilidade ainda seja muito discutida. Uma limitação da CBA é que a incerteza é um aspecto inerente a ela. Projetos de investimento ou políticas públicas que têm efeitos duradouros estão sujeitos a diversas incertezas e requerem previsões de seus impactos e estimativas de sua magnitude. Há dois aspectos principais de uma avaliação sobre os quais o analista pode estar incerto. O primeiro é o valor a ser atribuído a parâmetros como pesos distribucionais ou taxas de desconto. Para endereçar este tipo de incerteza usualmente utiliza-se a análise de sensibilidade. O segundo tipo de incerteza diz respeito às valorações dos custos e benefícios que exigem uma estrutura probabilística para as decisões.

A CBA estima os fluxos de custos e benefícios futuros baseando-se em informações e premissas disponíveis no momento da decisão de investimento. Entretanto, como exposto no capítulo 2, já existe extensa literatura que demonstrando ser cada vez maior a importância de um gerenciamento empresarial flexível, com revisões constantes das estratégias e dos planos já concebidos, sendo a capacidade de antecipar mudanças e de se adaptar a elas vitais para a sobrevivência de uma empresa. Percebe-se então a necessidade de inclusão e tratamento das incertezas e flexibilidades gerencias na CBA.

Entretanto, a literatura atual atende apenas parcialmente essa necessidade. Utilizando o conceito de risco como uma incerteza a qual existe uma distribuição

probabilística associada, a Tabela 04 expõe os métodos de tratamento recomendados nos manuais governamentais de aplicação da CBA. Percebe-se que, enquanto a análises de monte-carlo, de sensibilidade e de cenários já são ferramentas consolidadas para tratamento de riscos e incertezas, a existência de potenciais flexibilidades que poderiam afetar positivamente ou negativamente o desenvolvimento e os resultados esperados do projeto é largamente ignorada. Muito menos são estabelecidas formas de tratamentos das flexibilidades existentes.

Tabela 4 - Estado do tratamento de incertezas e flexibilidades nos manuais governamentais de aplicação da CBA

País	Risco	Incerteza	Flexibilidades
Reino Unido	Árvores de Decisão Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade Análise de Cenários	Cita a possibilidade de adoção de flexibilidades operacionais apenas como medida de gestão de risco
Canadá	Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade	Não cita
União Europeia	Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade Análise de Cenários	Não cita
Estados Unidos da América	Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade	Não cita
Austrália	Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade	Não cita
Lituânia	Análise de Monte Carlo	Análise de Sensibilidade	Não cita

Fonte: Elaborado pelo autor

5. Integrando a Análise Custo-Benefício (CBA) e a Análise por Opções Reais (ROA) para a avaliação socioeconômica de projetos em ambiente de incerteza

Enquanto os capítulos 2 e 4 exploraram a CBA e a ROA individualmente, o capítulo 5 irá considerá-las simultaneamente. A análise do referencial teórico até o momento revelou a CBA como uma ferramenta de avaliação socioeconômica de projetos de investimento e a ROA como uma ferramenta de avaliação de projetos privados em ambiente de incerteza. A discussão nesse capítulo terá como base essas definições.

Este capítulo irá discorrer sobre como combinar a CBA e a ROA. A proposta de integração da CBA com a ROA parece ser uma adição interessante à caixa de ferramentas do avaliador como ferramenta de avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza. É importante ressaltar que o objetivo da integração proposta é propiciar uma melhor análise socioeconômica, logo, o objetivo principal desse estudo é verificar como inserir a teoria de opções reais dentro das etapas de uma CBA tradicional e analisar se esta abordagem produz resultados positivos.

Esta nova ferramenta será denominada COBRA (*COst Benefit Real options Analysis*) que significa Análise de Custo-Benefício com Opções Reais e espera-se que ela mitigue uma das limitações hoje existente na análise de custo-benefício e ampliar o campo de aplicação da teoria de opções reais.

A integração da ROA com outras teorias é algo comum na literatura. Miller e Waller (2003) afirmam que embora tanto a análise de cenários quanto a análise de opções reais sejam ferramentas para lidar com a incerteza, a literatura não oferecia nenhuma indicação sobre a forma (ou mesmo se) elas poderiam ser utilizadas em conjunto. Eles propuseram a combinação das duas abordagens em um processo de gestão integrada de riscos que envolve a elaboração de cenários, a identificação de exposições, a formulação de respostas de gestão de risco, e as etapas para sua implementação. Eles defenderam uma perspectiva de nível corporativo na gestão

de riscos que considera toda a gama de exposições em todo o portfólio de uma empresa. Em seu artigo eles demonstraram como a integração das duas teorias poderiam contribuir para uma abordagem de planejamento estratégico que permitisse aos gestores avaliar e gerenciar riscos.

Já Sanchez (2003) desenvolveu uma integração das teorias de custos transacionais e de opções reais que levou a uma representação mais completa do problema da organização econômica. Ao reconhecer os custos de oportunidade associados à internalização de ativos de uso específico quando ativos flexíveis também estão disponíveis, o quadro teórico integrado favoreceu um melhor entendimento sobre estratégias ótimas para a configuração de cadeias de valor em ambiente de incertezas tanto sobre oferta quanto procura. Adicionalmente, o modelo expandido de organização econômica sugeriu quatro estratégias ótimas para a configuração de cadeias de valor e previu quatro formas predominantes de organização econômica sob diferentes combinações de incerteza na contratação (lado da oferta) e do mercado (lado da demanda).

Por fim, outros exemplos mais conceituais, de integração foram propostos por Husted (2005) e Peters, Waples e Golden (2014). Ambos exploram a relação dos conceitos associados a responsabilidade social corporativa (CSR) e o raciocínio característico da teoria de opções reais. Husted (2005) afirmou que a teoria de opções reais permite uma visão estratégica da responsabilidade social corporativa, mais especificamente, que ela sugeria que a CSR das empresas deve ser negativamente relacionada ao risco do negócio da empresa. Já Peters *et al.* (2014) argumentava que a atitude e comportamento de uma empresa em relação a CSR era um determinante significativo sobre a forma como ela reconhece, adota e gerencia opções reais estratégicas.

A COBRA será discutida em duas etapas. Primeiramente, com base no referencial teórico já apresentado, será identificada a natureza complementar da CBA e da ROA. Em seguida serão apresentadas as etapas que compõem a COBRA.

5.1

Princípios complementares para integração da CBA e da ROA

O objetivo dessa seção é mostrar como a integração da CBA e da ROA é possível. Nesse sentido, as principais etapas de cada processo serão resumidas e

apresentadas em uma tabela de mapeamento. De forma simplificar o entendimento, cada conjunto de etapas sequenciais possui identificadores numéricos (CBA) ou alfabéticos (ROA).

O processo básico da aplicação da ROA requer quatro etapas:

- A. Identificar e associar fontes de incerteza e flexibilidade e definir estratégias de opções reais;
- B. Calcular o VPL do projeto sem opções (Caso Base);
- C. Calcular o VPL do projeto com opções (Caso Flexível); e;
- D. Calcular o valor da opção.

Já o processo básico da aplicação da CBA requer sete etapas:

- 1. Definir o projeto (ou política), seus objetivos e a alternativas relevantes;
- 2. Identificar os impactos do projeto;
- 3. Quantificar os impactos relevantes;
- 4. Valorar monetariamente os efeitos relevantes;
- 5. Descontar custos e benefícios;
- 6. Aplicar o teste do valor presente líquido;
- 7. Realizar uma análise de sensibilidade

Conforme informado anteriormente, este estudo busca verificar como inserir a teoria de opções reais dentro das etapas de uma CBA tradicional, logo o ponto de partida da análise serão sempre as etapas da CBA.

A etapa 1 independente se opções reais estão sendo utilizadas ou não. Todos os passos subsequentes da CBA são guiados pelo objetivo do projeto e esta etapa está necessariamente presente na abordagem COBRA.

A etapa 2 contém a etapa A. Ela especifica os impactos decorrentes do projeto que serão utilizados durante toda o CBA. Tais impactos possuem incertezas associadas que devem ser identificadas. Além disso, este é um momento apropriado do processo para identificação das flexibilidades que serão utilizadas para

estabelecer uma ou mais opções reais. Impactos com maior incerteza são os mais propensos a serem beneficiados com as flexibilidades e levam aos maiores valores das opções reais. Nesta etapa a COBRA inicia sua diferenciação da CBA, pois enquanto a CBA se limita a identificar e modelar incertezas, a COBRA demanda a identificação e modelagem de flexibilidades que permitam o estabelecimento das opções reais associadas ao projeto.

As etapas 3, 4, 5 e 6 estão inclusas tanto na etapa B quanto na etapa C. A quantificação e valoração dos fluxos de custos e benefícios deve ser feita tanto para o projeto sem opções, no que poderia ser chamada de uma CBA tradicional, quanto para o projeto com opções utilizando a metodologia proposta nessa tese. Em seguida esses fluxos devem ser descontados de forma que os VPLEs do projeto com e sem opções sejam identificados. É importante ressaltar que a análise do projeto com opções deve considerar os impactos das flexibilidades sobre esses fluxos.

As etapas D não possui equivalente na CBA tradicional, justamente por esta não permitir a inclusão de flexibilidades, e deverá ser incluída na metodologia proposta nessa tese.

A etapa 7 independe se opções reais estão sendo utilizadas ou não, pois a análise de sensibilidade ou de cenários pode ser realizada em qualquer situação.

A Tabela 5 apresenta de forma resumida a natureza complementar da CBA e da ROA.

É muito importante ressaltar que a abordagem COBRA difere de uma simples aplicação da Teoria de Opções Reais em fluxos de custos e benefícios sociais, ao invés dos tradicionais fluxos de custos e benefícios financeiros. Caso a abordagem COBRA se limitasse a aplicação exposta acima, a maximização do valor do projeto teria como objetivo o maior VPLE (e não VPL) possível. No entanto, a metodologia proposta nessa tese realiza a maximização do resultado financeiro do projeto enquanto analisa os impactos dessa maximização em seu valor socioeconômico. Em outras palavras, ela permite avaliar os efeitos da utilização da ROA para valoração de um projeto, em seu valor socioeconômico.

Tabela 5 - Tabela de equivalência entre as etapas da CBA e da ROA

		Etapas da ROA			
		A	B	C	D
Etapas da CBA	1				
	2	X			
	3		X	X	
	4		X	X	
	5		X	X	
	6		X	X	
	7				

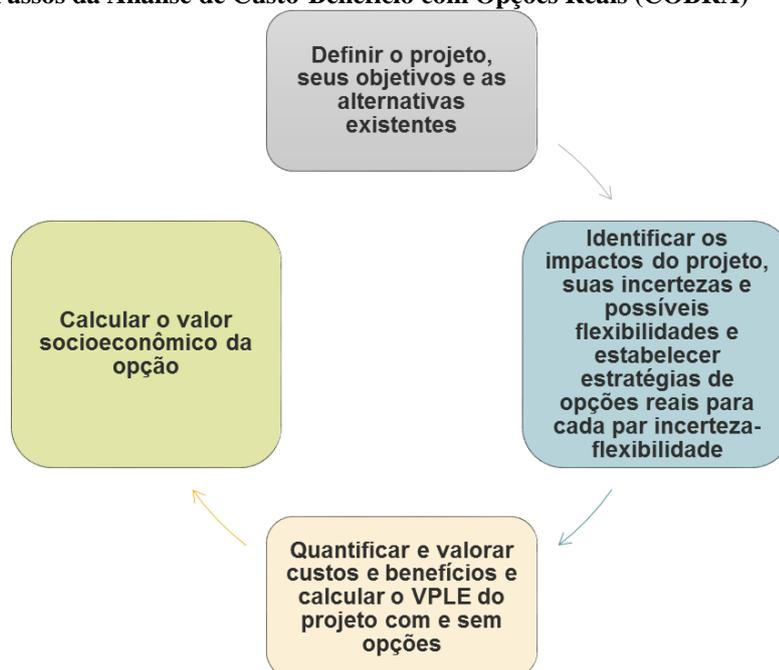
Fonte: Elaborado pelo autor

5.2

Passos da Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA)

Com base nos princípios complementares apresentados acima, podemos propor os passos que compõem a abordagem COBRA, resumidos na Figura 3.

Figura 3 - Passos da Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA)



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.1.

Passo um: Definir o projeto, seus objetivos e as alternativas existentes

O primeiro passo contempla a definição dos objetivos a serem alcançados pelo projeto ou política e o exame das alternativas relevantes. A partir da análise dos elementos contextuais, devem ser avaliadas as necessidades da sociedade que podem ser abordadas pelo projeto. Os objetivos do projeto devem, então, ser definidos em relação explícita com essas necessidades. Após a definição dos objetivos, devem ser identificadas as alternativas de investimento.

Em seguida, deve-se identificar o projeto em questão. Pode-se afirmar que um projeto está claramente identificado quanto os elementos físicos e atividades que serão implementadas de forma a prover um bem ou serviço visando atender os objetivos previamente definidos perfazem uma unidade de análise autossuficiente.

5.2.2.

Passo dois: Identificar os impactos do projeto, suas incertezas e possíveis flexibilidades e estabelecer estratégias de opções reais para cada par incerteza-flexibilidade

O segundo passo consiste na identificação dos impactos positivos (benefícios) e negativos (custos) do projeto. Assim como na CBA, deve ser elaborada uma lista dos benefícios e custos esperados do projeto, cujos valores podem ser incertos ao longo do tempo. Tais incertezas, que são inerentes a previsão, devem ser identificadas por impacto. Também devem ser identificadas flexibilidades embutidas que podem compensar a incerteza da previsão. Essa flexibilidade será um aspecto técnico do sistema que, com uma opção incorporada, pode ser acionada no futuro. Temos como resultado, um ou mais pares incerteza-flexibilidade.

Depois de identificação de ao menos um par incerteza-flexibilidade, o próximo passo é selecionar uma ou mais opções que sejam adequadas. Essa seleção é importante, pois as opções implicitamente definidas pelos pareamentos só serão validas se estiverem alinhadas aos objetivos dos decisores e forem compatíveis com os aspectos técnicos do projeto.

Percebe-se que a diferença básica entre a etapa 2 da CBA e da COBRA é que, enquanto a CBA identifica somente incertezas, a COBRA identifica pares

incerteza-flexibilidade de moda a permitir a aplicação dos conceitos da ROA na avaliação socioeconômica de projetos.

5.2.3.

Passo três: Quantificar e valorar custos e benefícios e calcular o VPLE do projeto com e sem opções;

A CBA trata a quantificação e a valoração dos custos e benefícios como etapas separadas, mais especificamente as etapas 3 e 4 do método. Já a ROA incorpora todas essas atividades, que também incluem o cálculo do VPL, em sua etapa C e D dependendo se a avaliação em execução contempla o projeto com ou sem opções. De forma a facilitar a integração das duas abordagens a COBRA adota a separação proposta na ROA.

Nesse passo deverão ser determinadas, primeiramente, as quantidades físicas de custos e benefícios e sua distribuição no tempo. Em seguida, deve-se valorar os custos e benefícios utilizando como medida comum o valor equivalente monetário. Se necessário, distribuições de probabilidade ou intervalos de valores esperados podem ser determinados para quantidades e/ou valores de impactos diferentes. Todas as atividades listadas previamente deverão ser realizadas para o projeto com e sem opções.

É importante perceber que no caso flexível existe um gerenciamento empresarial dinâmico, com revisões constantes das estratégias e dos planos já concebidos. Nesse contexto, é importante perceber que as decisões gerenciais tomadas ao longo da vida útil do projeto alteraram os fluxos de custos e benefícios estimados inicialmente. O cálculo do valor presente dos fluxos de custos e benefícios deve, obrigatoriamente, incorporar a natureza dinâmica de cada fluxo.

Por fim, desconta-se os fluxos de custos e de benefícios a uma determinada taxa de forma a se permitir o cálculo do VPLE do projeto com e sem opções.

5.2.4.

Passo quatro: Calcular o valor socioeconômico da opção

Na etapa final da COBRA iremos identificar o valor socioeconômico da opção por meio do cálculo da diferença entre os valores presentes líquidos da alternativa com flexibilidade ($VPLE_{FLEXÍVEL}$) e da alternativa tradicional ($VPLE_{BASE}$).

6. Aplicação

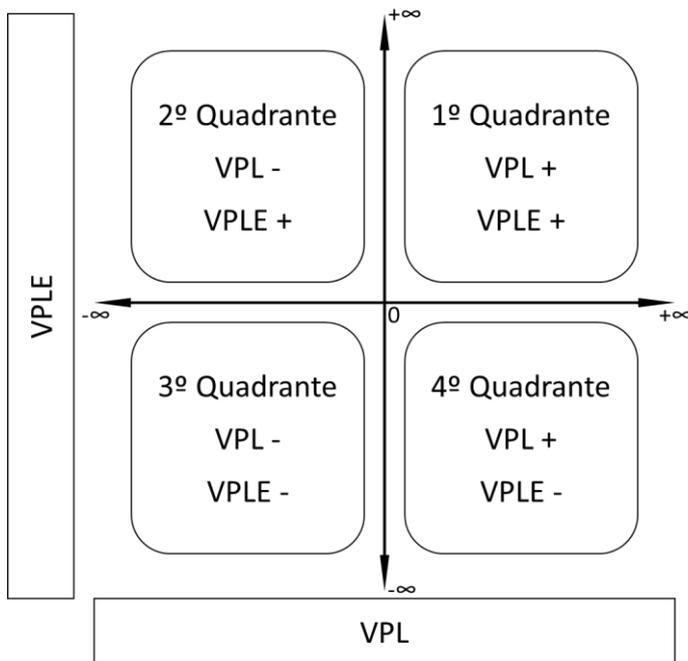
De forma a avaliar em que nível a adoção do teórico proposto no capítulo 5 auxilia no processo de tomada de decisão, a metodologia COBRA será aplicada em um projeto de investimento em uma termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol que possui flexibilidade de escolha quanto ao *output* a ser gerado (energia elétrica ou etanol). Devido ao fato da União Europeia ser um dos principais defensores da utilização da CBA e pela disponibilidade dos dados necessários à aplicação, foi definido pelo estudo que a planta será construída na Alemanha.

É importante ressaltar que todas as análises envolvem variáveis cujo valor é ao menos parcialmente aleatório e demandam a adoção de um método de simulação que permita a obtenção do VPL e VPLE e suas distribuições de probabilidade. O método adotado neste estudo foi o de simulação de Monte Carlo, sendo a simulação em si realizada por meio da utilização do software @Risk, desenvolvido pela empresa Palisade Corporation. Foi realizada uma simulação com um total de 10.000 iterações de forma a obter a distribuição probabilística do VPL e do VPLE de cada caso. Para tal, foi elaborada uma planilha eletrônica com todas as variáveis envolvidas nos casos e suas respectivas distribuições probabilísticas.

6.1 Aplicação da COBRA na avaliação da Termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol

A avaliação do projeto em questão pode ser realizada sob dois aspectos distintos, ou seja, pode-se realizar tanto a análise financeira (VPL) quanto a análise socioeconômica (VPLE) do projeto. O resultado dessas análises permite situá-lo em um dos quadrantes possíveis apresentados na Figura 4, resultantes da combinação de resultados positivos ou negativos para cada uma das análises.

Figura 4 – Comparação análise financeira e análise socioeconômica



Fonte: Elaborado pelo autor

No 1º quadrante o projeto deve ser aceito, pois é atrativo tanto para a empresa quanto o país. No 3º quadrante o projeto deve ser rejeitado, pois é prejudicial tanto para a empresa quanto para o país. Já no 4º quadrante, o projeto é atrativo para a empresa, mas não para o país. Neste caso, o governo deve adotar políticas (taxação, por exemplo) para desestimular o projeto, fazendo com que ele se enquadre no 3º quadrante. Por último, no 2º quadrante o governo deve oferecer algum tipo de incentivo, de forma a tornar o projeto empresarialmente atrativo, uma vez que ele é benéfico para a sociedade, fazendo com que o projeto se situe no 1º quadrante.

É possível observar que os interesses privados e sociais não necessariamente estão alinhados e um importante papel dos órgãos governamentais é o de promover a coincidência entre esses interesses, fazendo com que, idealmente, só existam projetos situados no 1º e 3º quadrantes.

De forma a situar o projeto em análise nos quadrantes apresentados acima, primeiramente deve-se realizar a análise financeira tradicional do projeto sem opções (caso base) e a CBA do mesmo projeto de forma a verificar se este agrega valor à sociedade possibilitando a obtenção de financiamento governamental para o projeto. Com o resultado dessas duas análises é possível definir em qual quadrante o caso base está situado. Em seguida deve-se realizar a análise do projeto com opções (caso flexível) por meio da ROA e a COBRA deste mesmo projeto possível

definindo em qual quadrante o caso flexível está situado. Como as etapas tanto da ROA quanto da COBRA já englobam a realização da valoração do projeto pelas análises financeira e socioeconômica tradicionais, de forma a facilitar a compreensão o estudo optou por realizar primeiramente a ROA, para em seguida realizar a COBRA.

O objetivo final é comparar o valor socioeconômico da opção obtido por meio da aplicação da COBRA, de forma a verificar se a adoção de um quadro teórico que combine as análises de custo-benefício e por opções reais para avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza agrega valor socioeconômico ao projeto.

Vale ressaltar que os valores dos parâmetros em todas as tabelas de parâmetros estão em valores com a mesma periodicidade da série utilizada para calculá-los. Ou seja, parâmetros de séries mensais possuem valores mensais e assim por diante.

6.1.1. Análise financeira pela Teoria de Opções Reais

Para realização da análise financeira pela Teoria de Opções Reais serão adotadas as etapas descritas no item 2.5.

6.1.1.1. Identificar e associar fontes de incerteza e flexibilidade e definir estratégias de opções reais

A primeira etapa é a identificação dos impactos do projeto para então definir suas incertezas inerentes e as possíveis flexibilidades. No mercado de energia elétrica de longo prazo, existe um nível considerável de incerteza e embora perceba-se que o preço da energia elétrica no curto prazo em alguns momentos alcance valores substancialmente altos, o oposto também pode ocorrer e existirem longas séries de valores mais baixos. Desta forma, tal estratégia de comercialização baseada somente na comercialização de um produto pode resultar em projetos de alto risco com grande probabilidade de VPL negativo.

Entretanto, o investidor, ciente das flexibilidades que a utilização de biomassa como matéria prima agrega ao projeto, busca um modelo de usina que permita mitigar o risco exposto anteriormente. Observando o mercado, percebe-se uma

crecente demanda por etanol que pode ser produzido a partir da biomassa hoje utilizada na geração de eletricidade. Opta-se, então, pela instalação de uma unidade de produção de etanol de segunda geração de forma a criar uma flexibilidade de troca de *output*. Tem-se aqui um exemplo de par incerteza-flexibilidade.

De forma a simplificar este exemplo de aplicação do método de avaliação socioeconômica COBRA, será adotado como premissa que este é o único par incerteza-flexibilidade presente no projeto.

De forma a estabelecer uma opção real para esse par, percebe-se que a usina possui a opção real, numa base mensal, entre vender eletricidade ou etanol no mercado de curto prazo dependendo do que for mais interessante economicamente (opção de *switch output*). Essa opção está de acordo com os objetivos do investidor e do governo, pois a produção de etanol possivelmente mitiga o risco associado a um *output* único e também contribui para a redução das emissões de CO₂ da União Europeia. Adicionalmente ela também é viável tecnicamente e pode ser considerada uma opção real válida.

6.1.1.2. Calcular o VPL do projeto sem opções (Caso Base)

O caso base considera os fluxos de caixa anuais decorrentes da produção exclusiva de energia elétrica e sua venda no mercado de curto prazo por um período de 20 anos. A receita líquida gerada pela venda de energia no mercado de curto prazo é incerta e, para que seja possível calculá-la, será necessário simular os valores da energia elétrica para os próximos 20 anos (tempo de vida do projeto). O VPL do caso base pode ser calculado por meio das eq. (6.1), (6.2) e (6.3).

$$VPL_{BASE} = \sum_{t=0}^n \frac{FC_{BASE}(t)}{(1+r)^t} \quad (6.1)$$

$$FC_{BASE}(t) = LAJIR(t) \times (1 - Impostos) + Depreciação(t) - CAPEX_{el}(t) - \Delta CGOL(t) \quad (6.2)$$

$$LAJIR(t) = \sum_1^{365} RL_{ecp}(d) - CF_{el} \times CAPEX_{el} - C_{bio} \times Vol_{bio} - Depreciação(t) \quad (6.3)$$

onde:

n é o número de anos do projeto;

r é a taxa de desconto;

$FC_{BASE}(t)$ é o fluxo de caixa do caso base no ano t .

Impostos são os impostos incidentes sobre o LAJIR;

Depreciação(t) é a parcela da depreciação no ano t ;

$CAPEX_{el}(t)$ é o investimento bruto na usina termelétrica no ano t ;

$\Delta CGOL(t)$ é a variação no capital de giro operacional líquido no ano t ;

$\sum_1^{365} RL_{ep}(d)$ é a receita líquida decorrente da venda de energia elétrica no mercado de curto prazo no ano t resultante do somatório do fluxo de caixa de cada dia do ano;

CF_{el} é o custo fixo da usina termelétrica;

$CAPEX_{el}$ é o investimento bruto total na usina termelétrica;

C_{bio} é o custo de aquisição da biomassa;

Vol_{bio} é o volume anual de biomassa utilizado para geração de energia elétrica.

O projeto necessita de dois anos para entrar em operação e o estudo adotou como premissa que os gastos com CAPEX ocorrem de forma uniforme durante esse período. Além disso, vale ressaltar que foi adotada como premissa uma depreciação linear em dez anos. Por fim, como a receita líquida proveniente da venda de energia no mercado de curto prazo é diária, os resultados obtidos foram consolidados em base anual de forma a facilitar o cálculo do VPL.

Uma vez que foi definida a forma de cálculo do fluxo de caixa do projeto, o próximo passo é identificar todos os seus custos e receitas, bem como a melhor forma de modelar as incertezas inerentes a eles

Para que seja possível realizar a simulação dos fluxos de caixa gerados pelo caso base, é necessário definir as receitas líquidas provenientes da comercialização da venda de energia no mercado de curto prazo (RL_{ep}) sendo estas receitas combinadas de forma a resultar no fluxo de caixa de cada caso (FC_{base}).

Visando simplificar o cálculo do fluxo de caixa do projeto, o estudo optou por inserir em (FC_{base}) todos os custos da usina que independem da escolha de *output* a ser gerado, de forma que fossem computados nas receitas líquidas dos *outputs* somente os impostos diretos e os custos variáveis.

A receita líquida proveniente da venda de energia no mercado de curto prazo está presente tanto no caso base quanto no flexível e pode ser calculada por meio da eq. (6.4).

$$RL_{ecp}(d) = V_{ecp}(d) \times [P_{ecp}(d) + \text{Prêmio} - CV_e] \quad (6.4)$$

onde:

$V_{ecp}(d)$ é o volume de energia elétrica negociada no curto prazo no dia d ;

$P_{ecp}(d)$ é o preço *spot* da energia elétrica no dia d ;

Prêmio é o ágio pago pelo governo para energia renovável;

CV_e é o custo variável da geração de energia elétrica.

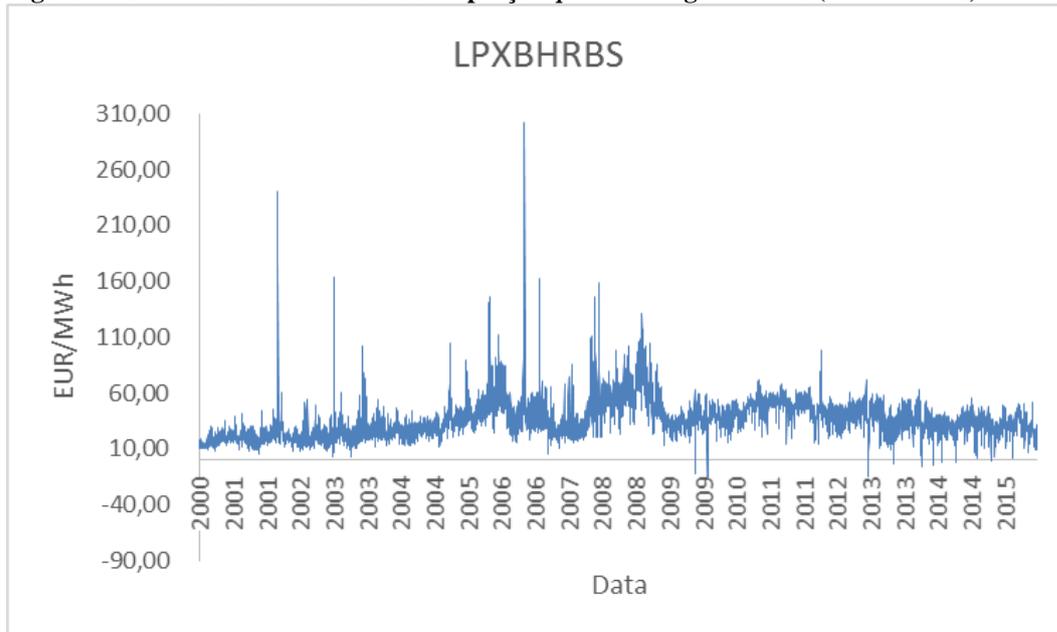
A componente V_{ecp} pode ser facilmente obtida a partir da capacidade instalada da planta. A capacidade de 20MWmed corresponde a uma geração de 175.200 MWh/ano que pode ser convertida em dias, semanas ou meses de acordo com a necessidade. O Prêmio, ou ágio pago pelo governo para energia renovável proveniente de biomassa é definido pelo governo alemão e depende da capacidade instalada da planta. Para plantas com capacidade até 20MWmed o ágio definido é de 0,0585 euros por kWh (Bmwi, 2014). Já o valor de custo variável da geração de energia elétrica é de 5 USD/MWh (IRENA, 2012). Considerando uma taxa de 1,1222 dólares por euro obtida na base de dados da Bloomberg em 22 de abril de 2016, o custo variável é de 4,46 EUR/MWh. Esta mesma taxa será utilizada na conversão de todos os valores que foram obtidos originalmente em dólares.

A definição do valor do preço *spot* da energia elétrica é um pouco mais trabalhosa, pois ele pode ser considerado uma variável estocástica, visto que seu valor futuro é pelo menos parcialmente aleatório. A energia elétrica gerada pela planta será comercializada de forma diária na European Power Exchange (EPEXSPOT). A série histórica foi obtida na base de dados da Bloomberg sob o código LPXBHRBS e compreende o período de 30 de junho de 2000 a 22 de fevereiro de 2016 em base diária, perfazendo 5.716 observações. Além disso, ela foi inflacionada pelo índice de inflação alemã de forma que todos os valores estejam corrigidos considerando 2016 como ano base. A série está exposta na Figura 5.

Percebe-se pela Figura 5 que a série possui o comportamento esperado para o preço de uma *commodity* que tende a reverter à uma média de longo prazo, pois

quando o preço está alto, a oferta tende a crescer impondo um viés de baixa no preço e vice-versa. Apesar de ser comum na bibliografia existente a modelagem do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo por um processo de reversão à uma média (MRM), primeiramente deve ser realizado o teste da raiz unitária de Dickey-Fuller como forma de reforçar essa escolha, em detrimento de um possível processo de movimento geométrico browniano (MGB).

Figura 5 - Série diária e inflacionada de preços *spot* de energia elétrica (LPXBHRBS)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicando o teste de Dickey-Fuller Aumentado (DFA) na série, obtém-se uma estatística de teste de -19,02. Como o valor crítico de teste é -3,43, a hipótese nula pode ser rejeitada. Logo, há indícios que a série não segue um MGB, o que indica a existência de um movimento auto-regressivo. Demonstra-se assim que a escolha de um MRM para modelagem é coerente com a série histórica obtida.

Após verificarmos que a modelagem utilizando o MRM é coerente, é preciso definir como simular os preços da energia elétrica no mercado de curto prazo. Para tal será utilizado o modelo em tempo discreto proposto por Bastian-Pinto (2009) já transformado em processo neutro ao risco pela subtração do prêmio de risco normalizado.

$$S_{el_d} = \exp \left\{ \begin{array}{l} \ln(S_{el_{d-1}}) e^{-\eta_{el} \Delta d} + \left[\ln(\overline{S_{el}}) - \frac{\sigma_{el}^2}{2\eta_{el}} - \frac{\pi}{\eta} \right] (1 - e^{-\eta_{el} \Delta d}) \\ + \sigma_{el} \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_{el} \Delta d}}{2\eta_{el}}} N(0,1) \end{array} \right\} \quad (6.5)$$

Onde:

$S_{el,t}$ é a variável estocástica, ou seja, o preço da energia elétrica;

$\overline{S_{el}}$ é a média de longo prazo da variável estocástica;

η_{el} é a velocidade de reversão a média, ou seja, a velocidade com a qual a variável estocástica reverte ao valor da média de longo prazo;

σ_{el} é a volatilidade do processo;

π é o prêmio de risco;

Δd é o incremento de tempo do processo.

O prêmio de risco (π) pode ser obtido pela equação $\beta \times (R_M - r_f)$ do Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM do original em inglês Capital Asset Pricing Model). Segundo Damodaran (2016), o valor médio do beta (β) do setor elétrico europeu é 0,95 e o prêmio de risco do mercado alemão ($R_M - r_f$) é 6,25% ao ano. Considerando os valores estipulados, o prêmio de risco a ser utilizado nessa série é de 5,9375% ao ano, ou 0,0158% ao dia. Aplicando a metodologia proposta em Bastian-Pinto (2009) para cálculo dos parâmetros, obtém-se os valores dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros da simulação do preço *spot* da energia elétrica (base diária)

Parâmetro	Valor
Δd	1,0000
η_{el}	0,7325
σ_{el}	0,7656
$\overline{S_{el}}$	50,8318
π	0,000158

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando os valores apresentados na Tabela 6, na eq. (6.5), é possível simular o valor diário da energia elétrica para todo o tempo de vida do projeto e calcular o fluxo de receitas líquidas provenientes da venda de energia elétrica

Devido ao fato do projeto estar situado dentro da União Europeia e que será realizada uma CBA, a definição do número de anos do projeto (n) deve atender às diretrizes impostas pela Comissão Europeia que em sua regulação nº 480/2014

determina um período de 15 a 25 anos para projetos do setor de energia (o estudo optou por utilizar um período de 20 anos) (European Commission, 2016). Já a taxa de desconto (r) será calculada com base no CAPM. O valor médio do beta (β) do setor elétrico europeu e o prêmio de risco do mercado alemão ($R_M - r_f$) já foram identificados, anteriormente. Resta definir a taxa livre de risco (r_f) que será obtida por meio da soma da média geométrica dos retornos do título do tesouro americano com vencimento em 10 anos no período de 2006 à 2015 e do prêmio de risco da Alemanha que são 4,71% e 0,06% respectivamente (Damodaran, 2016). Com base nesses valores é possível calcular o valor da taxa de desconto (r) como sendo igual a 10,7075%.

Quanto ao investimento ($CAPEX_{el}$), ele depende da rota tecnológica adotada. O estudo irá considerar que a planta utiliza o processo de gaseificação da biomassa cujo custo varia entre 2.140 e 5.700 USD/kWmed ou, aproximadamente, entre 1.907 e 5.079 EUR/kWmed. Para a simulação será definida uma distribuição triangular com mínimo de 1.907 EUR/kWmed, máximo de 5.079 EUR/kWmed e valor médio de 3.493 EUR/kWmed. Já os custos fixos decorrentes da geração de energia elétrica, CF_{el} , variam entre 2% e 7% do CAPEX. Para a simulação será definida uma distribuição triangular com mínimo de 2%, máximo de 7% e valor médio de 4,5% (IRENA, 2012).

O custo de aquisição da biomassa (C_{bio}) demanda algumas conversões para obtenção da informação desejada. Os custos típicos para biomassa comercializada internacionalmente variam entre 8 e 12 USD/Gj. O formato mais comum são os pellets de madeira que possuem uma densidade de 660 kg/m³ e uma densidade energética de 11 Gj/m³ (IEA, 2012). Por meio dessas informações é possível calcular que cada tonelada de pellets de madeira fornece 16,67 GJ. Infere-se, então, que o custo da biomassa varia entre 133 e 200 USD/t. Considerando a mesma taxa informada anteriormente, o custo varia entre 119 e 178 EUR/t. Para a simulação será definida uma distribuição triangular com mínimo de 119 EUR/t, máximo de 178 EUR/t e valor médio de 148,2 EUR/t.

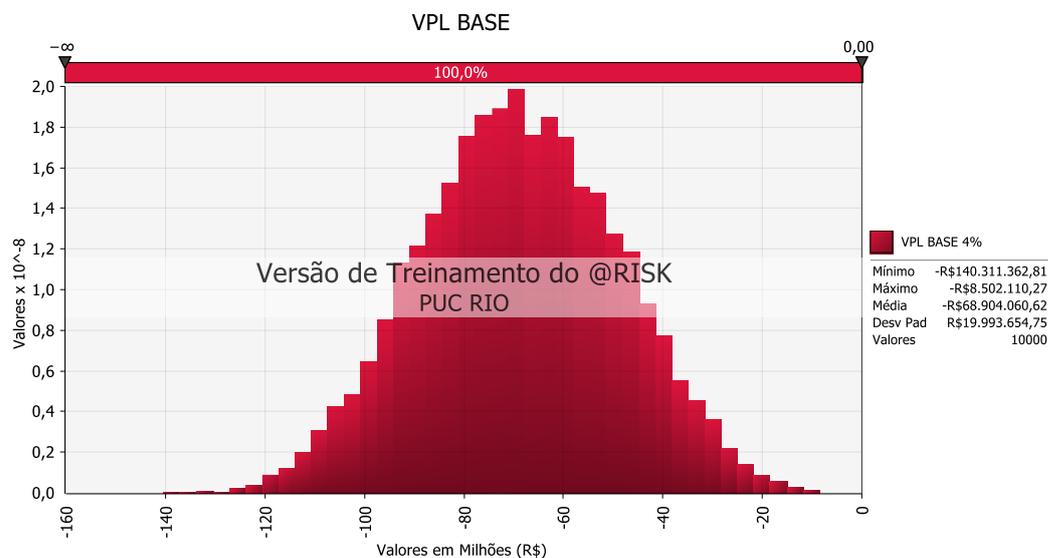
Já o volume de biomassa utilizado para geração de energia elétrica (Vol_{bio}) depende do conteúdo energético da biomassa utilizada. Adotando os mesmos

pellets de madeira, estes possuem um conteúdo energético de 7.750 Btu/lb (BERC, 2007). Considerando que temos 2.204,62 libras por tonelada e que 1000 Btu equivale a 0,29 KWh, obtemos um conteúdo energético de 5.007,36 kWh/t. A planta proposta gera 175.200 MWh/ano e possui uma eficiência de 33% (IEA, 2012). Logo, o volume anual de biomassa necessário é de 106.026t.

Quanto aos impostos incidentes sobre os resultados da planta, segundo Deloitte (2015) as empresas alemãs estão sujeitas a imposto de renda, imposto comercial e sobretaxa de solidariedade que somadas perfazem um valor entre 30% e 33%. Este estudo optou por definir um valor de 33%.

Utilizando as informações apresentadas e adotando o valor de 24,52 EUR/MWh do dia 22 de fevereiro de 2016 como preço *spot* da energia elétrica em $t = 0$, obtemos um VPL médio aproximado de -68,9 milhões de euros com 0% de probabilidade de VPL positivo como pode ser observado na distribuição probabilística apresentada na Figura 6. Conforme apresentado anteriormente, o próximo passo é realizar a CBA do caso base.

Figura 6 - VPL caso base



Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.1.3.

Calcular o VPL do projeto com opções (Caso Flexível)

Para que seja possível a análise financeira do caso flexível, é preciso definir como calcular o fluxo de caixa do projeto para em seguida identificar todos os seus custos e receitas, bem como a melhor forma de modelar as incertezas inerentes a eles.

O caso flexível considera os fluxos de caixa anuais decorrentes da comercialização de energia elétrica e etanol nos respectivos mercados de curto prazo por um período de 20 anos. A escolha de qual produto será comercializado é feita mensalmente com base na comparação entre as receitas líquidas esperadas para cada situação de venda. As receitas líquidas geradas pela comercialização de energia elétrica e etanol nos mercados de curto prazo são incertas e, para que seja possível calculá-las, será necessário simular os valores da energia elétrica e do etanol para os próximos 20 anos (tempo de vida do projeto).

Como este estudo adotou como premissa que o custo de troca entre um *output* e outro é igual a zero, a opção de alternância pode ser modelada como uma sequência de opções europeias, visto que a opção de vender um dos subprodutos (energia elétrica ou etanol) em um determinado mês é totalmente independente da decisão tomada em qualquer outro mês. A otimização do processo de escolha entre subprodutos é dada por:

$$RL_{op}(m) = \max(RL_{ecp}(m), RL_{et}(m)) \quad (6.6)$$

$$RL_{ecp}(m) = \sum_1^y RL_{ecp}(d) \quad (6.7)$$

$$RL_{et}(m) = \sum_1^x RL_{et}(s) \quad (6.8)$$

onde:

$RL_{op}(m)$ é a receita líquida no mês m ;

$RL_{ecp}(m)$ é a receita líquida decorrente da venda de energia elétrica no mercado de curto prazo no mês m resultante do somatório da receita líquida de cada dia do mês, sendo y o número de dias do respectivo mês;

$RL_{et}(m)$ é a receita líquida decorrente da venda de etanol no mercado de curto prazo no mês m resultante do somatório da receita líquida de cada dia do mês, sendo x o número de semanas do respectivo mês.

O VPL do caso flexível pode ser calculado por meio das eq. (6.6), (6.9), (6.10) e (6.11).

$$VPL_{FLEX} = \sum_{t=0}^n \frac{FC_{FLEX}(t)}{(1+r)^t} \quad (6.9)$$

$$FC_{FLEX}(t) = LAJIR(t) \times (1 - Impostos) + Depreciação(t) - CAPEX_{ee}(t) - \Delta CGOL \quad (6.10)$$

$$LAJIR(t) = \sum_1^{12} RL_{op}(m) - CF_{el} \times CAPEX_{el} - CF_{et} \times CAPEX_{et} - C_{bio} \times Vol_{bio} - Depreciação(t) \quad (6.11)$$

onde:

i , n , r , CF_{el} , $CAPEX_{el}$, CF_{bio} , Vol_{bio} , $Impostos$, $Depreciação$, $\Delta CGOL$ já foram definidas;

$FC_{FLEX}(t)$ é o fluxo de caixa do caso flexível no ano t .

$\sum_1^{12} RL_{op}(m)$ é a receita líquida da venda de energia elétrica ou de etanol no mercado *spot* no ano t resultante do somatório da receita líquida de cada mês do ano;

CF_{et} é o custo fixo da unidade de produção de etanol;

$CAPEX_{et}$ é o investimento bruto em ativos fixos da unidade de etanol;

$CAPEX_{ee}(t)$ é a soma de $CAPEX_{el}$ e $CAPEX_{et}$ no ano t ;

Assim como no caso base, o projeto necessita de dois anos para entrar em operação e o estudo adotou como premissa que os custos de investimento ocorrem de forma uniforme durante esse período. Uma vez que foi definida a forma de cálculo do fluxo de caixa do projeto, o próximo passo é identificar todos os seus custos e receitas, bem como a melhor forma de modelar as incertezas inerentes a eles.

O próximo passo é definir as receitas líquidas provenientes da comercialização de energia elétrica e de etanol no mercado de curto prazo (RL_{ecp} e RL_{et} respectivamente). O cálculo de RL_{ecp} já foi abordado no item 6.1.1.2, restando apenas definir a forma de cálculo de RL_{et} . Assim como foi feito no caso base, visando simplificar o cálculo do fluxo de caixa do projeto, o estudo optou por inserir todos os custos fixos da unidade de etanol em (FC_{FLEX}), de forma que fossem computados nas receitas líquidas dos subprodutos somente os impostos diretos e os custos variáveis.

A receita líquida proveniente da venda de etanol no mercado de curto prazo pode ser calculada por meio da eq. (6.12).

$$RL_{et}(s) = V_{et}(s) \times P_{et}(s) \times CV_{et} \quad (6.12)$$

onde:

$V_{et}(s)$ é o volume de etanol negociado em contratos de curto prazo na semana s ;

P_{et} é o preço *spot* do etanol na semana s ;

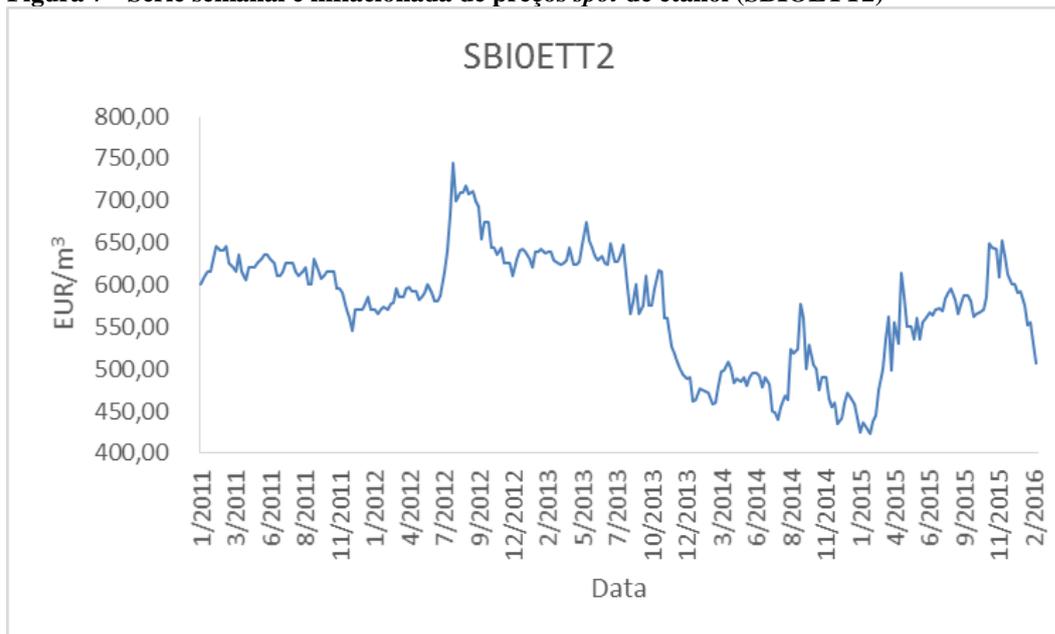
CV_{et} é o custo variável da produção de etanol.

A componente V_{et} pode ser obtida a partir da capacidade instalada da planta e do fator de produção de etanol. A capacidade de 20MWmed corresponde a uma geração de 175.200 Mwh/ano, equivalendo a 106.026t de biomassa que podem ser transformadas em etanol a um fator de produção de 373 l/t. Já o valor de custo variável da geração de etanol é de 6% da receita, ou seja, CV_{et} representa um fator de 0,94 que multiplica a receita obtida no período (Gonzalez, Daystar, Jett, Treasure, Jameel, Venditti e Phillips, 2012).

A definição do valor do preço *spot* do etanol é um pouco mais trabalhosa, pois ele pode ser considerado uma variável estocástica, visto que seu valor futuro é pelo menos parcialmente aleatório. O etanol produzido pela planta é comercializado de forma mensal no mercado europeu. A série histórica foi obtida na base de dados da Bloomberg sob o código SBIOETT2 e compreende o período de 10 de janeiro de 2011 a 15 de fevereiro de 2016 em base semanal, perfazendo 266 observações. Além disso, ela foi inflacionada pelo índice de inflação alemã de forma que todos os valores estejam corrigidos considerando 2016 como ano base. A série está exposta na Figura 7.

Conceitualmente, é plausível esperar que valor do preço *spot* do etanol possua comportamento semelhante ao esperado para o preço de uma *commodity* que tende a reverter à uma média de longo prazo. De forma a verificar se essa escolha é robusta, aplicou-se o teste DFA na série obtendo uma estatística de teste de -2,65. Como o valor crítico de teste para essa série é de -3,97 para o intervalo de confiança de 1%, a hipótese nula não pode ser rejeitada e a modelagem utilizando o MRM não deve ser adotada.

Figura 7 - Série semanal e inflacionada de preços *spot* de etanol (SBIOETT2)



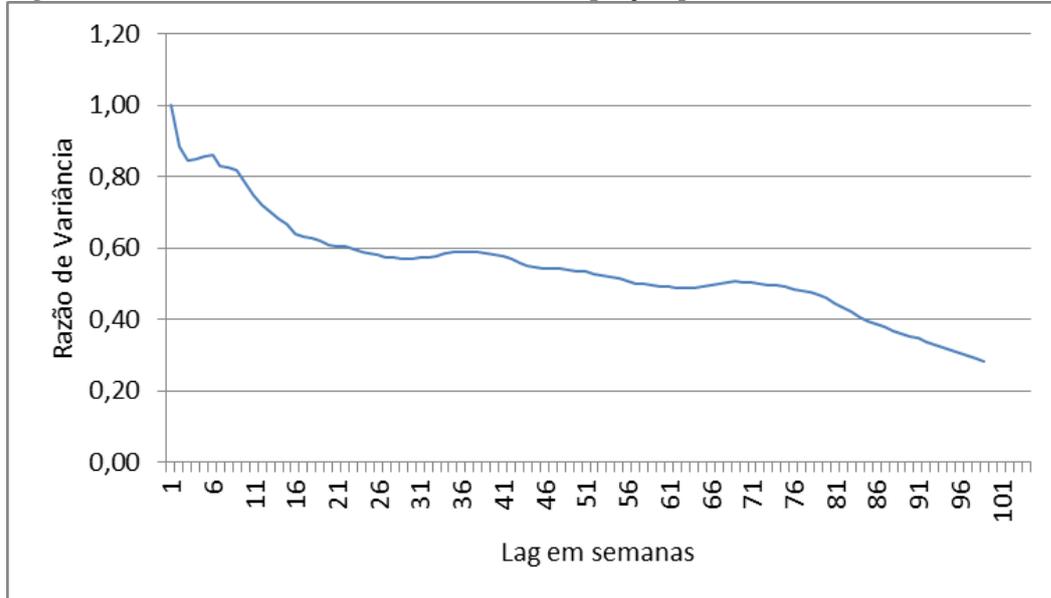
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda que não rejeitando a hipótese nula, quando o parâmetro b obtido por meio da regressão linear da série histórica, possui valor menor do que 1, pode-se afirmar que existem indícios de reversão à média. A série de preços *spot* de etanol possui $b = 0,964$, logo, conforme proposto por Pindyck (1999), será utilizado o teste de razão da variância que mensura o grau em que a variância da série cresce à medida que o número de defasagens aumenta. Espera-se dois possíveis comportamentos para variância. Os casos onde ela cresce linearmente com k e a razão se aproxima de 1 (um) são indicativos de um MGB. Já os casos onde a razão inicialmente aumenta, e posteriormente se estabiliza em patamar abaixo de 1 (um) são indicativos de um MRM. Aplicando o teste de razão de variância na série de preços *spot* de etanol obtêm-se o resultado apresentado na Figura 8 que é coerente com a adoção de um MRM para modelagem da série.

Logo, será adotado o modelo proposto por Bastian-Pinto (2009) apresentado anteriormente, sendo a variável estocástica é o preço *spot* do etanol. Um novo prêmio de risco deve ser calculado, pois esta série não está associada diretamente ao setor elétrico utilizado anteriormente. Como não há um setor específico associado biocombustíveis, será utilizado como *proxy* o setor de energia renovável que segundo Damodaran (2016) possui um valor médio de beta (β) de 1,24. Considerando o beta estipulado e o prêmio de risco do mercado alemão informado

anteriormente, o prêmio de risco a ser utilizado nessa série é de 7,75% ao ano, ou 0,1436% por semana. Aplicando a metodologia proposta em Bastian-Pinto (2009) para cálculo dos parâmetros, obtém-se os valores dispostos na Tabela 7.

Figura 8 - Teste de Razão de Variância da série de preços *spot* de etanol



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Parâmetros da simulação do preço *spot* do etanol (base semanal)

Parâmetro	Valor
Δd	1
η_{et}	0,037
σ_{et}	0,034
\bar{S}_{et}	570,7
π	0,001436

Fonte: Elaborado pelo autor

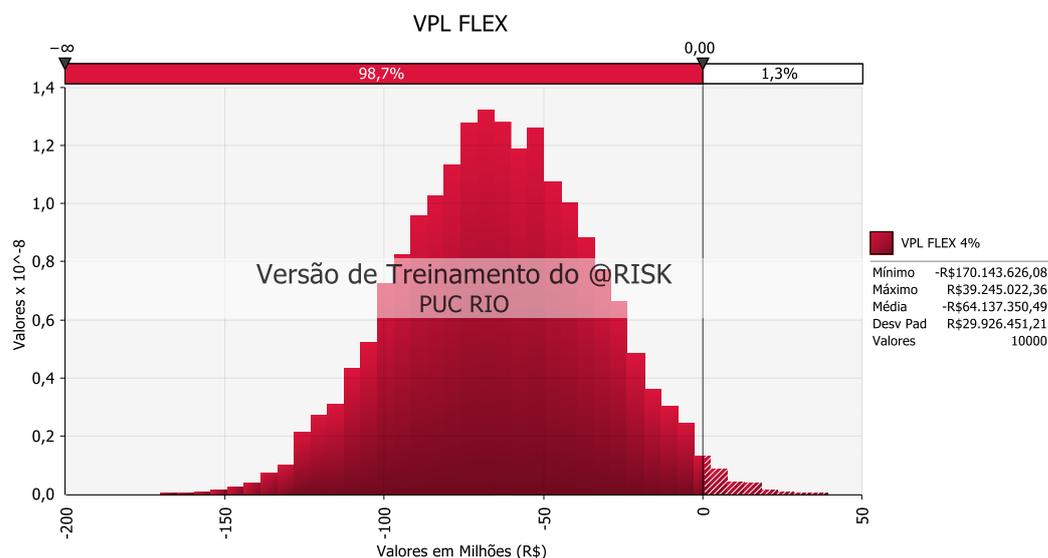
Utilizando os valores apresentados na Tabela 7 na eq. (6.5), é possível simular o valor semanal do etanol para todo o tempo de vida do projeto e calcular o fluxo de receitas líquidas provenientes da venda de etanol.

As variáveis n , C_{bio} , Vol_{bio} e $Impostos$ já foram definidas no item 6.1.1.2. Quanto ao investimento total ($CAPEX_{ee}$), ele depende do valor de $CAPEX_{et}$ que varia com a rota tecnológica adotada para a unidade de produção de etanol. O estudo irá considerar que a unidade utiliza o processo de gaseificação da biomassa proposto em Gonzalez *et al.* (2012). Após retirar os componentes já existentes na usina termelétrica e ajustar a escala ao projeto proposto, encontramos o valor aproximado

de 25,6 milhões de euros para $CAPEX_{et}$. Já os custos fixos decorrentes da produção de etanol, CF_{et} , são de 2% do $CAPEX_{et}$. Por fim, entende-se que a inclusão de uma opção real reduz o risco do projeto e para o cálculo do VPL do projeto com opções será utilizada como taxa de desconto a taxa livre de risco definida anteriormente (4,76%).

Utilizando as informações apresentadas e adotando o valor de 24,52 EUR/MWh e 531 EUR/m³ do dia 22 de fevereiro de 2016 como preços *spot* da energia elétrica e do etanol em $t = 0$, obtemos um VPL médio aproximado de -64,1 milhões de euros com 1,3% de probabilidade de VPL positivo como pode ser observado na distribuição probabilística apresentada na Figura 9.

Figura 9 - VPL caso flexível



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.1.4. Calcular o valor da opção

Como pode ser observado, o valor do projeto com a opção de *switch output* (EUR -64,1M) é maior do que o valor do projeto sem a opção (EUR -68,9M). Apesar da opção apresentar um valor aproximado de 4,8 milhões de euros, este não é suficiente para que o projeto se torne interessante sob o ponto de vista privado.

6.1.2.

Análise socioeconômica por meio da abordagem COBRA

Após a realização da análise financeira pela Teoria de Opções Reais, é preciso realizar sua análise econômica por meio da CBA. Entretanto, a CBA estima os fluxos de custos e benefícios futuros baseando-se somente em informações e premissas disponíveis no momento da decisão de investimento. No caso flexível, a tomada de decisão sobre qual *output* deve ser comercializado em um determinado momento t é feita de forma dinâmica, não sendo possível a aplicação da CBA devido às decisões gerenciais tomadas ao longo da vida útil do projeto alterarem os fluxos de custos e benefícios estimados inicialmente. Será, então, aplicada a metodologia COBRA de forma a verificar o impacto das flexibilidades adicionadas ao projeto no seu valor social e se o resultado final é positivo para a sociedade permitindo a requisição de apoio financeiro ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (ERDF). Os passos da metodologia COBRA foram apresentados no capítulo 5.

6.1.2.1.

Passo um: Definir o projeto, seus objetivos e as alternativas existentes

Conforme informado anteriormente, o projeto consiste em uma usina termelétrica a biomassa com capacidade instalada de 20 megawatts médios (MWmed). Toda a geração de energia elétrica será comercializada no mercado de curto prazo. O investidor sabe que a União Europeia (EU) definiu como metas a redução de 20% nas emissões de CO₂ utilizando como base os níveis de 1990 e uma participação de 20% na matriz elétrica das chamadas fontes renováveis. De forma a garantir o atingimento das metas, o ERDF e o Fundo de Coesão irão investir em projetos que visem a migração para uma economia de baixo carbono, incluindo projetos de energia renovável. O investidor entende que a planta proposta atende aos objetivos da EU e que se necessário pode solicitar apoio a fundo de forma a deixar o projeto rentável. Entretanto, para que tal solicitação seja possível, ele deve apresentar uma CBA do projeto de forma a garantir que os benefícios serão maiores que os custos.

A alternativa existente ao projeto é a manutenção da utilização de usinas termelétricas a gás natural para geração de energia elétrica e da gasolina pura como combustível automotivo. Ou seja, o cenário contrafactual é o “não fazer nada”.

6.1.2.2.

Passo dois: Identificar os impactos do projeto, suas incertezas e possíveis flexibilidades e estabelecer estratégias de opções reais para cada par incerteza-flexibilidade

A identificação de pares incerteza-flexibilidade e o estabelecimento de uma opção real que tire proveito desse par já foi realizada nos itens 6.1.1.1. Faz-se necessário, agora, identificar os novos custos e benefícios decorrentes da inserção dessa opção.

No caso flexível, os custos e benefícios também serão separados naqueles que afetam os setores comercial e residencial. A primeira componente do custo socioeconômico total do projeto é o investimento necessário para construção da usina termelétrica e da unidade de produção de etanol somado ao custo fixo de sua operação. A segunda componente é o custo do etanol que difere para o setor comercial e para o setor residencial. O setor comercial pode vender gasolina com até 5% de etanol, sendo que o preço de venda para o consumidor será o mesmo independente do volume de etanol. Logo, ao optar por adquirir etanol ao invés de gasolina o setor comercial incorre no custo do etanol. Por outro lado, ele também incorre em um benefício representado pelos custos evitados com a gasolina no atacado. Para o setor residencial a análise é um pouco mais complexa. Como informado, a gasolina pode ter até 5% de etanol e seu preço no varejo será o mesmo. Ocorre que o etanol possui um rendimento inferior ao da gasolina. Com isso, um consumidor ao adquirir uma gasolina com 5% de etanol pelo mesmo preço de uma gasolina sem etanol incorre em um custo que é o menor rendimento da primeira gasolina.

Quanto aos benefícios decorrentes dos projetos, a primeira componente está relacionada à redução de emissão de CO₂ em ambos os setores. A geração de energia elétrica por meio de biomassa e a produção de etanol são consideradas como neutras de emissões, uma vez que o CO₂ emitido na queima da biomassa representa apenas o retorno à atmosfera do CO₂ absorvido pela matéria vegetal que a compõe, durante seu período de crescimento. Considerando o cenário contrafactual de

manutenção da utilização de energia elétrica proveniente de termelétricas a gás e manutenção da utilização de gasolina, a redução de emissões resultante da geração de energia elétrica e produção de etanol é igual a emissão da termelétrica a gás e da queima de gasolina respectivamente. A segunda parcela dos benefícios são os custos evitados com a gasolina citados no parágrafo anterior.

As principais incertezas inerentes aos impactos identificados se referem aos preços do etanol, CO₂ e gasolina no varejo e no atacado que possuem comportamento estocástico.

6.1.2.3.

Passo três: Quantificar e valorar custos e benefícios e calcular o VPLE do projeto com e sem opções

De forma a facilitar a compreensão, o cálculo do VPLE do projeto com e sem opções será realizado separadamente.

6.1.2.3.1.

Cálculo do VPLE do projeto sem opções

Conforme informado anteriormente, o projeto em análise no caso base corresponde a construção de uma usina termelétrica à biomassa com capacidade instalada de 20 MWmed. O objetivo do projeto é contribuir com que a União Europeia (EU) atinja as metas definidas de redução de 20% nas emissões de CO₂ utilizando como base os níveis de 1990, e de participação de 20% na matriz elétrica das chamadas fontes renováveis. Com isso, a alternativa relevante seria manter a utilização de energia elétrica proveniente de termelétricas a gás, ou seja, o cenário contrafactual é o “não fazer nada”.

Na identificação dos custos e benefícios iremos separá-los naqueles que afetam os setores comercial e residencial. O custo da energia elétrica para ambos os setores indifere da fonte utilizada na geração. Logo, o custo socioeconômico total do projeto se limita ao investimento necessário para construção da planta somado ao custo fixo de sua operação.

Quanto aos benefícios decorrentes do projeto, infere-se pelo próprio objetivo do projeto que estes são relacionados à redução de emissão de CO₂ em ambos os setores. A geração de energia elétrica por meio de biomassa é considerada como neutra de emissões, uma vez que o CO₂ emitido na queima da biomassa representa

apenas o retorno à atmosfera do CO₂ absorvido pela matéria vegetal que a compõe, durante seu período de crescimento. Considerando o cenário contrafactual de manutenção da utilização de energia elétrica proveniente de termelétricas a gás, a redução de emissões resultante do uso da termelétrica a biomassa é igual a emissão da termelétrica a gás.

Uma vez que os impactos relevantes foram identificados é necessário quantificá-los, ou seja, é necessário determinar as quantidades físicas de custos e benefícios e sua distribuição no tempo. Com relação ao custo de investimento, são necessários alguns ajustes no valor definido no item 6.1.1. Na CBA, todo o investimento feito na aquisição de equipamentos deve ser ajustado para valores sem impostos diretos e os custos incorridos com os serviços de implantação desses equipamentos devem ser ajustados pelo salário sombra.

Para viabilizar os ajustes necessários, primeiramente é necessário identificar as parcelas do CAPEX que correspondem a equipamentos e serviços. Esse estudo adotará o fator de instalação de 2,47 proposto por Dutta, Talmadge, Hensley, Worley, Dudgeon, Barton e Wright (2011), obtendo parcelas de aproximadamente 40,5% e 59,5% do CAPEX para equipamentos (Iel_{equip}) e serviços (Iel_{serv}) respectivamente. Em seguida, podemos facilmente ajustar a parcela de equipamentos multiplicando-a por um fator de 0,81 de forma a subtrair os impostos diretos que via de regra são de 19% na Alemanha.

O cálculo do fator de ajuste da parcela de serviços demanda um cálculo mais rebuscado e o entendimento do conceito de salário sombra. Devido às características estruturais dos mercados de trabalho locais, incluindo a existência de um salário mínimo legal, a presença de rigidez dos salários reais, a existência de impostos e contribuições sociais e subsídios, o custo de oportunidade do trabalho pode diferir do preço que é pago pela sua utilização, representado pelo salário de mercado. Em uma CBA, isso implica que, enquanto na análise financeira o custo de mão de obra é calculado por meio do salário de mercado, para a análise econômica é necessário o cálculo de um salário sombra (SS), que reflete o custo de oportunidade social do trabalho. A diferença entre o salário de mercado e o sombra está relacionada com as peculiaridades do mercado de trabalho que podem resultar em superavaliação (ou, menos frequentemente, subestimação) do custo de oportunidade de trabalho. Os fatores de conversão (FC) são coeficientes que

traduzem os salários de mercado em salários sombra e são uma das principais entradas para análises econômicas.

Para obter um valor empírico para o salário sombra, geralmente são considerados o produto marginal do trabalho ou a desutilidade de esforço. O produto marginal do trabalho pode ser obtido por meio da definição de uma função de produção específica do projeto e estimação da oferta de trabalhadores empregados pelo projeto. Existem algumas aplicações empíricas dessa metodologia na literatura. Jacoby (1993), Skoufias (1994) e Abdulai e Regmi (2000) aplicam no setor agrícola do Peru, Índia e Nepal, respectivamente. Picazo-Tadeo e Reig-Martínez (2005) calcularam os salários sombra para o trabalho familiar no setor agrícola espanhol e Honohan (1998) estimou o fator de conversão do salário sombra para a economia irlandesa, caracterizada pelo elevado desemprego e altas taxas de migração inter-regionais. Guillermo-Peon e Harberger (2012) apresentam uma metodologia baseada no dualismo e migração aplicando-a no México derivando estimativas do custo de oportunidade social do trabalho para 21 ocupações diferentes em 32 áreas do mercado de trabalho.

As principais deficiências das metodologias citadas anteriormente estão relacionadas com a necessidade de dados específicos do projeto com grande grau de detalhamento, que podem ser difíceis de serem obtidos e podem gerar resultados sem validade externa.

Buscando superar essas limitações, Del Bo, Florio e Florio (2011) propõe uma nova metodologia para determinação do valor do salário sombra e seu fator de conversão correspondente e a aplica na União Europeia. Esta metodologia, fundamentada na teoria CBA, baseia-se na identificação de quatro condições do mercado de trabalho a nível regional com base em características estruturais e que podem ter impacto no valor econômico ou no custo de oportunidade social do trabalho. Para cada condição de mercado de trabalho é sugerida uma fórmula empírica para o cálculo do SS, derivada de um quadro teórico comum. As condições de mercado diferem em termos de PIB per capita, desemprego de curto e médio prazo, movimentos migratórios e no papel da agricultura na economia regional.

Nessa metodologia, para cada região (a análise pode ser realizada a nível de blocos regionais ou em um único país) é atribuída uma das quatro condições de mercado de trabalho por meio de uma análise de *cluster*, e o SS e FC correspondentes a região são calculados. As quatro condições do mercado de

trabalho são: razoavelmente socialmente eficiente (*fairly socially efficient - FSE*); desemprego quasi-Keynesiano (*quasi-Keynesian unemployment - QKU*), dualismo de trabalho urbano (*urban labour dualism - ULD*) e dualismo de trabalho rural (*rural labour dualism - RLD*).

As fórmulas a serem utilizadas para estimar a taxa de salário sombra regionais (SSR) serão demonstradas a seguir. O conceito subjacente à fórmula é que o custo social líquido do trabalho na economia regional é uma combinação linear do valor social da nova oportunidade de emprego antes e depois do projeto. Isto traduz-se na seguinte equação base:

$$SSR_R = \beta_R m_{1,R} + b w_{2,R} \quad (6.13)$$

onde

R é o índice que indica as regiões;

m_1 é a produtividade marginal do trabalhador deslocado pelo projeto de seu setor de atuação anterior;

w_2 é um proxy de salários em um mercado de trabalho competitivo, onde o trabalhador pode ser empregado devido ao projeto;

β é o peso regional do bem-estar social

b o valor social marginal de uma transferência de montante fixo para os consumidores. O proxy sugerido para b é representado por $b = (1 - \beta)$ visto que a premissa simplificadora subjacente é que toda a renda dos trabalhadores é gasta em bens de consumo.

Em mercados de trabalho FSE, o custo de oportunidade social do trabalho é definido por:

$$SSR_{FSE} = \frac{w_2}{FPN} \quad (6.14)$$

$$FPN = FPN_{UE} \cdot \frac{VTA_1}{VTA} + \frac{VTA - VTA_1}{VTA} \quad (6.15)$$

onde:

w_2 representa o salário de mercado no setor fabril;

FPN é um fator de proteção nominal para explicar as distorções de preços em todo o país;

VTA e VTA_1 representam o valor adicionado à toda economia e à agricultura respectivamente. O fator $1/FPN$ é uma forma simplificada de expressar os salários em termos de preços sombra.

Já em regiões caracterizadas por um Mercado de trabalho QKU, a SSR pode ser calculada da seguinte forma:

$$SSR_{QKU} = \beta r_w + (1 - \beta) \frac{w_2}{FPN} \quad (6.16)$$

onde:

r_w é o salário de reserva, ou seja, o salário mais baixo que um trabalhador estaria disposto a aceitar por um determinado tipo de trabalho.

Em mercados de trabalho duais, se a região é predominantemente urbana (ULD), a SSR pode ser calculada pela eq. (6.17), enquanto se for rural se aplicam as eq. (6.18) e (6.19).

$$SSR_{ULD} = \beta \frac{w_2(1-t)}{FPN} + (1 - \beta) \frac{w_2}{FPN} \quad (6.17)$$

$$SSR_{RLD} = \beta \frac{w_1(1-t)}{FPN_1} + (1 - \beta) \frac{w_2}{FPN} \quad (6.18)$$

$$FPN_1 = FPN_{UE} \cdot \frac{VTA_1}{VTA} \quad (6.19)$$

onde:

w_1 é o salário médio regional agrícola;

$(1-t)$ representa a parcela de taxas/benefícios sobre os salários do setor.

Segundo Del Bo *et al.* (2011), a maior parte das regiões da Alemanha podem ser classificadas como tendo mercados de trabalho duais predominantemente urbanos (ULD), possuindo um fator de conversão de 0,8.

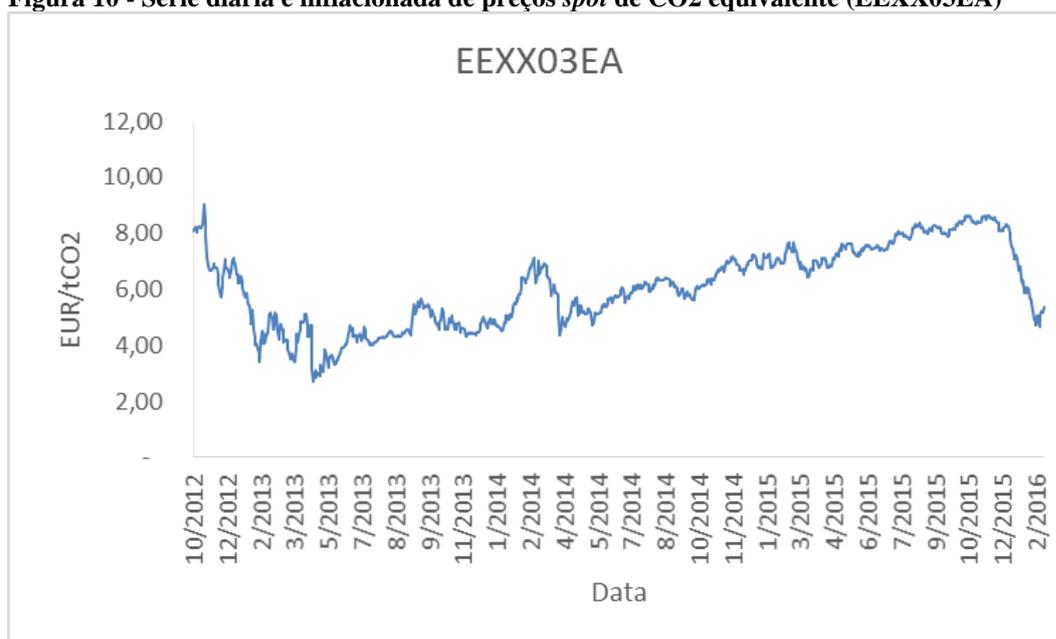
Quanto aos benefícios decorrentes do projeto, segundo Sumabat, Lopez, Yu, Hao, Li, Geng, e Chiu (2016) as emissões resultantes da geração de energia elétrica por meio de uma termelétrica a gás são em média de 0,4 tCO₂/MWh.

Após a quantificação dos custos e benefícios, é necessário valorá-los. Os valores do custo de investimento ($CAPEX_{el}$) e do custo fixo da planta (CF_{el}) estão

definidos no item 6.1.1.3. O custo de investimento deve ser dividido nas parcelas de equipamentos e serviços e a elas devem ser aplicados os fatores de correção de 0,81 e 0,8 respectivamente.

Para valoração dos benefícios, primeiramente será necessário definir o valor da redução de emissões para a sociedade como um todo. Como permissões para emissão de CO₂ são comercializadas de forma diária na European Energy Exchange (EEX) no formato de *European Emission Allowances* (EUA), podemos dizer que a disposição a pagar da sociedade pela redução de emissões equivale ao preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente que possui natureza estocástica. A série histórica foi obtida na base de dados da Bloomberg sob o código EEXX03EA e compreende o período de 29 de outubro de 2012 a 22 de fevereiro de 2016 em base diária, perfazendo 808 observações. Além disso, ela foi inflacionada pelo índice de inflação alemã de forma que todos os valores estejam corrigidos considerando 2016 como ano base. A série está exposta na Figura 10.

Figura 10 - Série diária e inflacionada de preços *spot* de CO₂ equivalente (EEXX03EA)



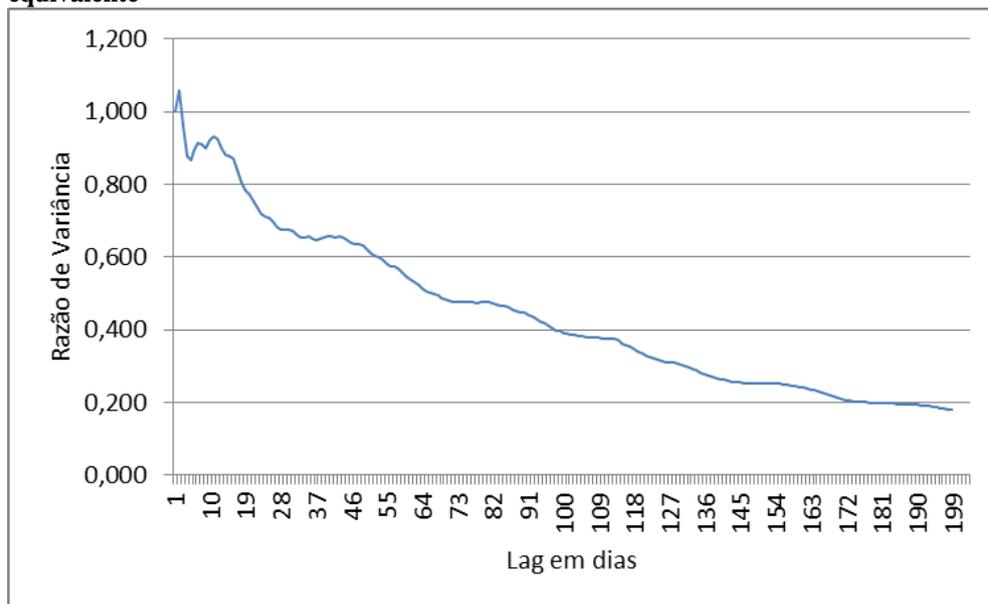
Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como na modelagem dos preços do etanol, também é plausível esperar que valor do preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente possua comportamento que tende a reverter à uma média de longo prazo. De forma a verificar se essa escolha é robusta, aplicou-se o teste DFA obtendo uma estatística de teste de -3,49. Como o valor crítico de teste para essa série é de -3,97 para o intervalo de confiança de

1%, a hipótese nula não pode ser rejeitada e são necessárias análises adicionais para verificação da adequação da modelagem utilizando o MRM.

A série de preços *spot* da tonelada de CO₂ equivalente possui $b = 0,987$ e aplicando-se o teste de razão de variância na série obtêm-se o resultado apresentado na Figura 11 que é coerente com a adoção de um MRM para modelagem da série.

Figura 11 - Teste de Razão de Variância da série de preços *spot* da tonelada de CO₂ equivalente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, será adotado o modelo proposto por Bastian-Pinto (2009) apresentado anteriormente, sendo a variável estocástica o preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente. Um novo prêmio de risco deve ser calculado, pois esta série não está associada diretamente ao setor elétrico utilizado anteriormente. Como não há um setor específico associado à créditos de carbono, será utilizado como *proxy* o setor de serviços ambientais que segundo Damodaran (2016) possui um valor médio de beta (β) de 1,02. Considerando o beta estipulado e o prêmio de risco do mercado alemão informado anteriormente, o prêmio de risco a ser utilizado nessa série é de 6,375% ao ano, ou 0,0169% ao dia. Aplicando a metodologia proposta em Bastian-Pinto (2009) para cálculo dos parâmetros, obtêm-se os valores dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros da simulação do preço *spot* da tonelada de CO2 equivalente (base diária)

Parâmetro	Valor
Δd	1
η_{CO_2}	0,013
σ_{CO_2}	0,038
$\overline{S_{CO_2}}$	6,015
π	0,000169

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando os valores apresentados na Tabela 8, na eq. (6.5), é possível simular o valor diário da tonelada de CO₂ equivalente para todo o tempo de vida do projeto e calcular o fluxo de benefícios provenientes da redução de emissões.

Uma vez que os custos e benefícios foram valorados, eles podem ser considerados como produzindo um fluxo anual de benefícios líquidos do projeto. Esse fluxo de benefícios líquidos, que será denominado fluxo de caixa econômico (*FCE*), deve ser descontado a uma determinada taxa de forma que o analista obtenha o valor presente líquido econômico (*VPLE*) do projeto ou programa por meio das eq. (6.20), (6.21) e (6.22).

$$VPLE_{BASE} = \sum_{t=0}^n \frac{Vbenefícios_{BASE}(t)}{(1+r_s)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Vcustos_{BASE}(t)}{(1+r_s)^t} \quad (6.20)$$

e

$$Vbenefícios_{BASE}(t) = \sum_1^{365} (P_{CO_2}(d) \times ECO2_{gn}) \quad (6.21)$$

$$Vcustos_{BASE}(t) = Iel_{equip}(n) \times 0,81 - Iel_{serv}(n) \times 0,8 - CF_{el} \times CAPEX \quad (6.22)$$

onde:

r_s é a taxa de desconto social;

$Vbenefícios(t)$ é o valor dos benefícios no ano t ;

$Vcustos(t)$ é o valor dos custos no ano t ;

Iel_{equip} é a parcela do Investimento relacionada a aquisição de equipamentos no ano t ;

Iel_{serv} é a parcela do Investimento relacionada a contratação de serviços no ano t ;

$\sum_1^{365} (P_{CO_2}(d) \times ECO2_{gn})$ é o benefício decorrente da redução de emissões de CO₂ provenientes do uso de gás natural no ano t resultante do somatório dos benefícios de cada dia do ano;

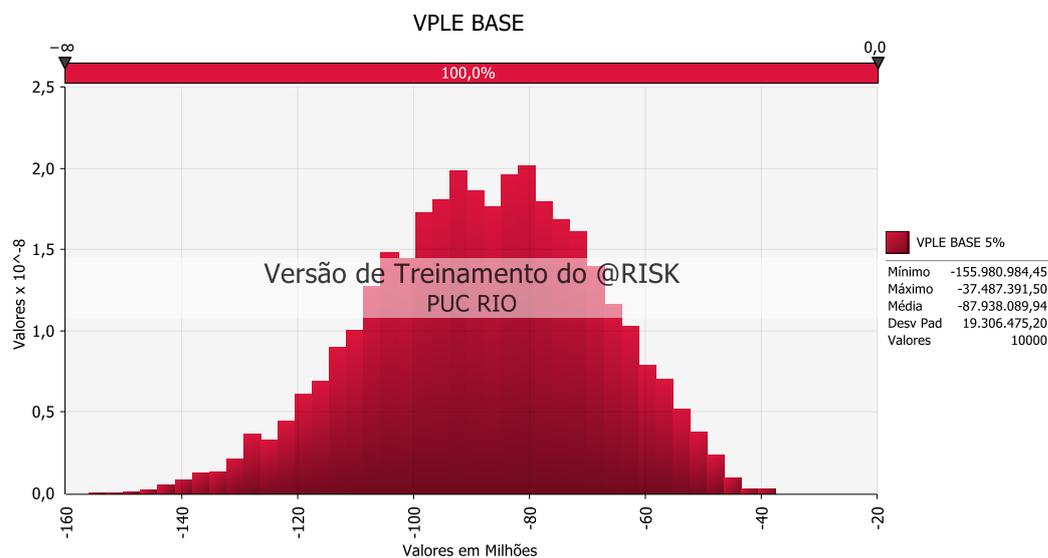
$P_{CO_2}(d)$ é o preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente simulado para o dia d ;

$ECO2_{gn}$ representa as emissões de CO₂ evitadas pelo não uso de gás natural para geração de energia elétrica.

Conforme informado anteriormente, o projeto possui vida útil de 20 anos. Quanto a taxa de desconto social (r_s), a regulação nº 480/2014 determina o valor de 5% (European Commission, 2016). Os valores das demais variáveis foram definidos anteriormente.

Utilizando as informações apresentadas, e adotando o valor de 5,39 euros de 22 de fevereiro de 2016 como preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente, obtemos um VPLE médio aproximado de -87,94 milhões de euros com 0% de probabilidade de VPLE positivo como pode ser observado na distribuição probabilística apresentada na Figura 12.

Figura 12 - VPLE caso base



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.2.3.2. Cálculo do VPLE do projeto com opções

No caso flexível, a tomada de decisão sobre qual subproduto deve ser comercializado em um determinado momento t é feita de forma dinâmica, logo, às decisões gerenciais tomadas ao longo da vida útil do projeto alteram os fluxos de custos e benefícios estimados inicialmente.

Percebe-se, então, que os fluxos de custos e benefícios associados a produção de etanol só existem quando o gerente da usina optar por produzir esse *output*, sendo igual a zero quando a opção for geração de energia elétrica. O inverso ocorre quando a decisão for pela geração de energia elétrica. Ou seja, os fluxos de custos e benefícios variam mensalmente entre os valores simulados e zero, dependendo do *output* que for produzido pela usina.

Vale ressaltar que a escolha do *output* a ser produzido depende exclusivamente do resultado financeiro de cada subproduto em t . A escolha não é realizada de forma a maximizar o retorno social e sim o financeiro. A análise COBRA visa verificar os impactos que a maximização financeira traz para o valor socioeconômico do projeto.

Os valores do custo de investimento ($CAPEX_{ee}$) e dos custos fixos da planta (CF_{el} e CF_{et}) estão definidos no item 6.1.1. Assim como no caso base, o custo de investimento deve ser dividido nas parcelas de equipamentos e serviços e a elas devem ser aplicados os fatores de correção de 0,81 e 0,8 respectivamente, pois adotaremos o mesmo fator de instalação para o CAPEX da unidade de produção de etanol.

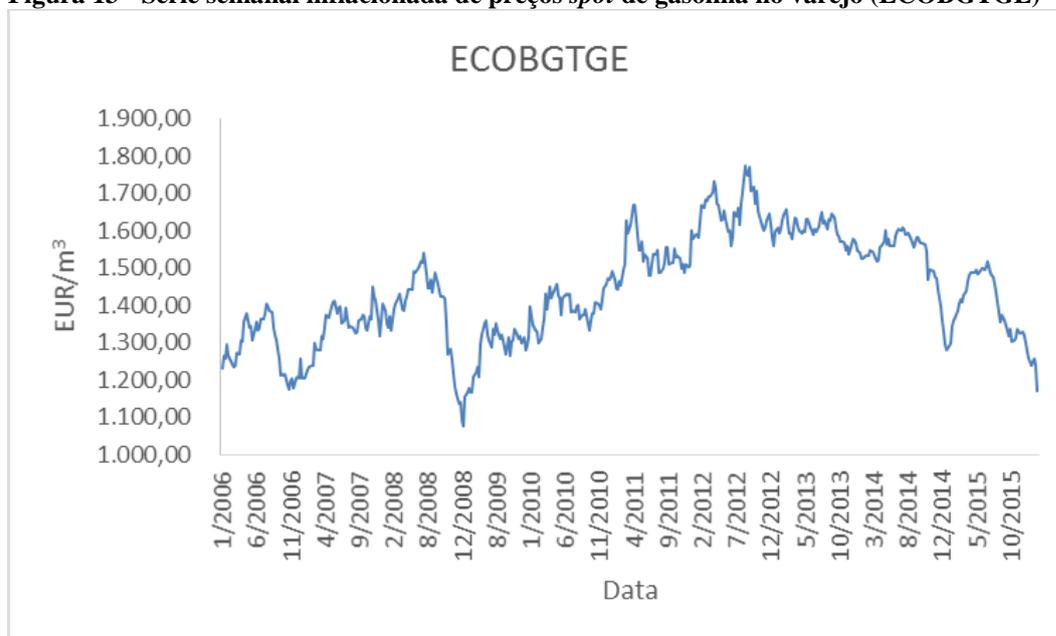
A capacidade da usina termelétrica de 20MWmed corresponde a uma geração de 175.200 MWh/ano, equivalendo a 106.026t de biomassa que podem ser transformadas em etanol a um fator de produção de 322 l/t. Logo, o volume de etanol e de gasolina que compõe as componentes de custos e de benefícios para o setor comercial é de aproximadamente 33,1 Ml/ano. Adicionalmente, a valoração do custo do etanol para o setor comercial será feita conforme apresentado no item 6.1.1.3.

Quanto a componente de custos para o setor residencial, assumindo o rendimento do etanol como 70% do da gasolina, a gasolina com 5% de etanol possui

um rendimento 1,5% menor do que o da gasolina pura. Considerando o rendimento 1,5% menor da gasolina com etanol, podemos adotar como premissa que o custo para o setor residencial equivale a 1,5% dos custos incorridos com a gasolina no varejo. Para valoração desse custo, será necessário definir como simular o valor da gasolina no varejo

A série histórica foi obtida na base de dados da Bloomberg sob o código ECOBGTGE e compreende o período de 13 de janeiro de 2006 a 19 de fevereiro de 2016 em base semanal, perfazendo 477 observações. Além disso, ela foi inflacionada pelo índice de inflação alemã de forma que todos os valores estejam corrigidos considerando 2016 como ano base. A série está exposta na Figura 13.

Figura 13 - Série semanal inflacionada de preços *spot* de gasolina no varejo (ECOBGTGE)

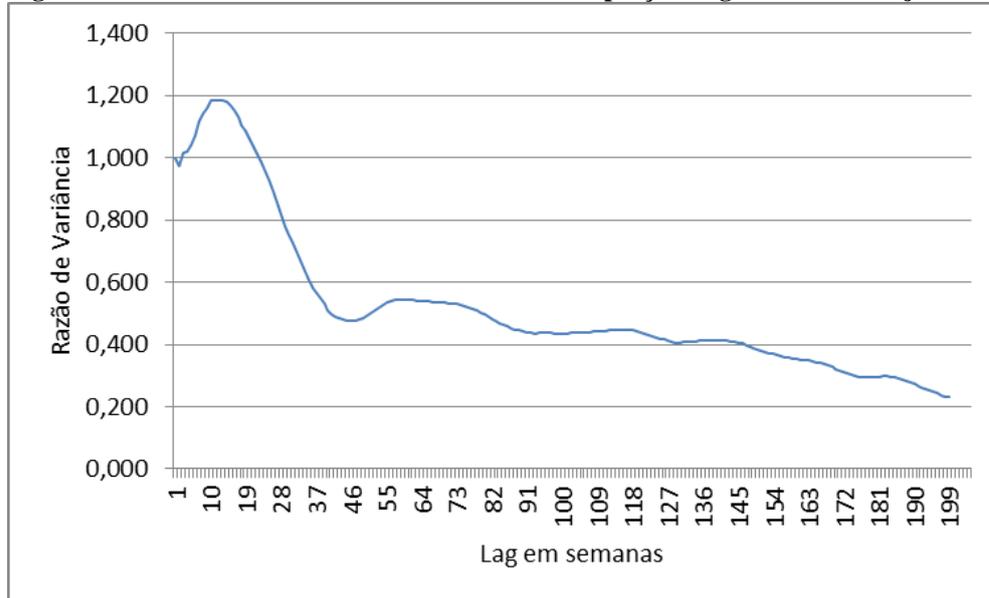


Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como na modelagem dos preços do CO₂ e do etanol, também é plausível esperar que valor do preço *spot* da gasolina no varejo possua comportamento que tende a reverter à uma média de longo prazo. De forma a verificar se essa escolha é robusta, aplicou-se o teste DFA obtendo uma estatística de teste de -1,33. Como o valor crítico de teste para essa série é de -3,98 para o intervalo de confiança de 1%, a hipótese nula não pode ser rejeitada e são necessárias análises adicionais para verificação da adequação da modelagem utilizando o MRM.

A série de preços *spot* de gasolina no varejo possui $b = 0,983$, logo, aplicando-se o teste de razão de variância na série obtêm-se o resultado apresentado na Figura 14 que é coerente com a adoção de um MRM para modelagem da série.

Figura 14 - Teste de Razão de Variância da série de preços de gasolina no varejo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, será adotado o modelo proposto por Bastian-Pinto (2009) apresentado anteriormente, sendo a variável estocástica é o preço *spot* da gasolina no varejo. Um novo prêmio de risco deve ser calculado, pois esta série não está associada diretamente ao setor elétrico utilizado anteriormente. Para essa série será considerado o setor de distribuição de óleo de gás que segundo Damodaran (2016) possui um valor médio de beta (β) de 1,72. Considerando o beta estipulado e o prêmio de risco do mercado alemão informado anteriormente, o prêmio de risco a ser utilizado nessa série é de 10,75% ao ano, ou 0,1965% por semana.

Calculando os parâmetros, obtêm-se os valores dispostos na Tabela 9. Utilizando os valores apresentados na Tabela 9 na eq. (6.5), é possível simular o valor semanal da gasolina no varejo para todo o tempo de vida do projeto e calcular o fluxo de custos incorridos.

Tabela 9 - Parâmetros da simulação do preço *spot* da gasolina no varejo (base semanal)

Parâmetro	Valor
Δd	1
η_{gv}	0,017
σ_{gv}	0,019
\overline{S}_{gv}	1442,5
π	0,001965

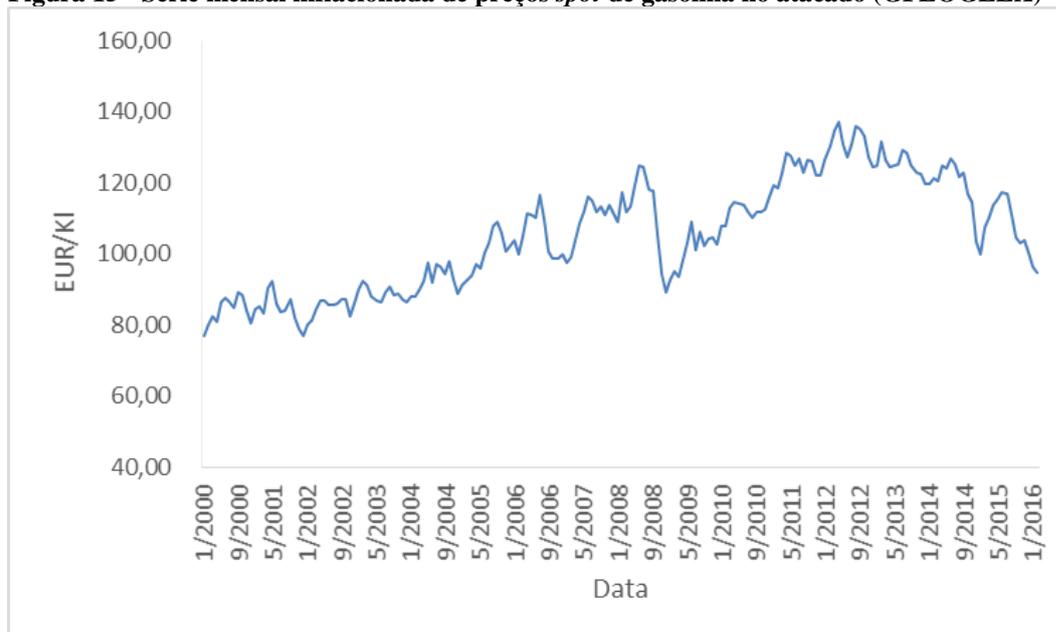
Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto aos benefícios decorrentes do projeto, as emissões resultantes da geração de energia elétrica por meio de uma termelétrica a gás já foram informadas no item 6.1.2.3. Já as emissões resultantes da queima de gasolina são de 2,3514 kgCO₂/l. O valor da redução de emissões para a sociedade como um todo será parcialmente obtido como apresentado no item 6.1.2.4, pois apesar do valor da tonelada de CO₂ equivalente ser o mesmo, o volume da redução varia com o *output* produzido pela usina. Percebe-se, nesse caso, que o fluxo de benefícios varia mensalmente entre o preço simulado multiplicado por $0,4 \times V_{ep}$ ou $0,0023514 \times V_{et}$, dependendo do *output* que for produzido pela usina.

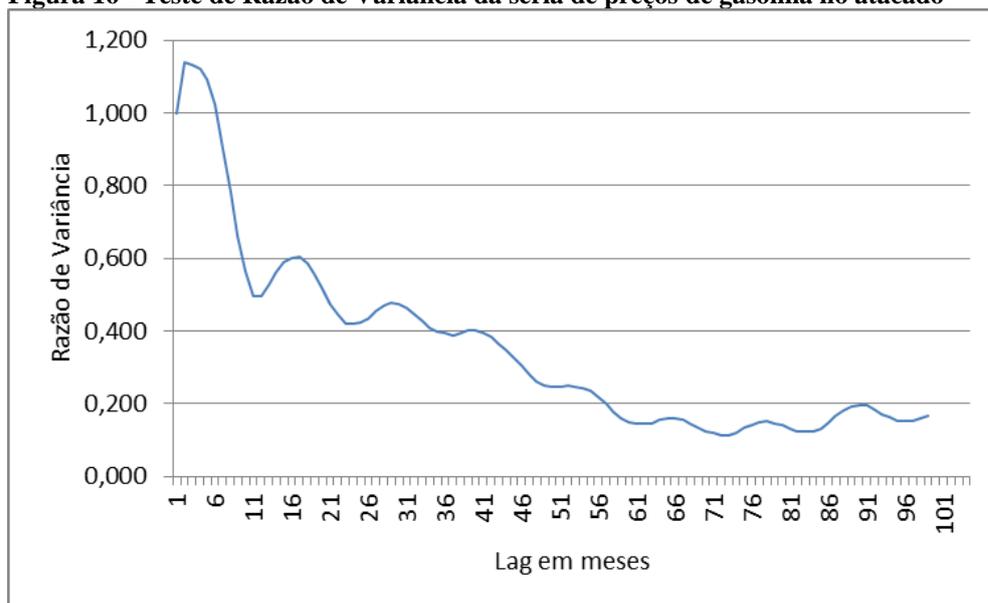
Para valorar os benefícios decorrentes dos custos evitados com a gasolina para o setor comercial, primeiramente será necessário definir como simular o valor da gasolina no atacado. A série histórica foi obtida em Destatis (2016) e compreende o período de 15 de janeiro de 2000 a 15 de fevereiro de 2016 em base mensal, perfazendo 194 observações. Além disso, ela foi inflacionada pelo índice de inflação alemã de forma que todos os valores estejam corrigidos considerando 2016 como ano base. Essa série está exposta na Figura 15.

Conceitualmente, é plausível esperar que o comportamento dos preços da gasolina no atacado seja semelhante ao da gasolina no varejo. De forma a verificar se essa escolha é robusta, aplicou-se o teste DFA obtendo uma estatística de teste de -0,15. Como o valor crítico de teste para essa série é de -4,07 para o intervalo de confiança de 1%, a hipótese nula não pode ser rejeitada e são necessárias análises adicionais para verificação da adequação da modelagem utilizando o MRM.

A série de preços *spot* de gasolina no varejo possui $b = 0,963$, logo, aplicando-se o teste de razão de variância na série obtêm-se o resultado apresentado na Figura 16 que é coerente com a adoção de um MRM para modelagem da série.

Figura 15 - Série mensal inflacionada de preços *spot* de gasolina no atacado (GFLOGEEX)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Teste de Razão de Variância da série de preços de gasolina no atacado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, será adotado o modelo proposto por Bastian-Pinto (2009) apresentado anteriormente, sendo a variável estocástica é o preço *spot* da gasolina no atacado. O prêmio de risco utilizado será o mesmo adotado para a série de preço *spot* da gasolina no varejo, porém em base mensal, perfazendo um valor de 0,8545% ao mês.

Calculando os parâmetros, obtêm-se os valores dispostos na Tabela 10. Utilizando os valores apresentados na Tabela 10 na eq. (6.5), é possível simular o valor mensal da gasolina no atacado para todo o tempo de vida do projeto e calcular o fluxo de custos incorridos.

Tabela 10 - Parâmetros da simulação do preço *spot* da gasolina no atacado (base mensal)

Parâmetro	Valor
Δd	1
η_{gv}	0,038
σ_{gv}	0,036
\overline{S}_{gv}	109
π	0,008545

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que os custos e benefícios foram valorados, o próximo passo é descontá-los a valor presente de forma a obter o valor presente líquido econômico (VPLE) do projeto. A equação geral do VPLE flexível é a mesma do caso base, mudando a forma de cálculo dos fluxos de custos e benefícios, pois estes variam mensalmente dependendo do *output* produzido pela usina. Em outras palavras, os custos e benefícios decorrentes da produção de etanol para os setores comercial e residencial só ocorrem, se e somente se, o *output* for etanol. Já os custos e benefícios decorrentes da geração de energia elétrica só ocorrem, se e somente se, o *output* for energia elétrica.

$$VPLE_{FLEX} = \sum_{t=0}^n \frac{Vbenefícios_{FLEX}(t)}{(1+r_s)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Vcustos_{FLEX}(t)}{(1+r_s)^t} \quad (6.23)$$

$$Vbenefícios_{FLEX}(t) = \sum_1^{12} \left[\begin{array}{l} B_{etsc}(m) + B_{etsr}(m) \therefore output = etanol; \\ B_e(m) \therefore output = energia \end{array} \right] \quad (6.24)$$

$$Vcustos_{FLEX}(t) = Iee_{equip}(n) \times 0,81 + Iee_{serv}(n) \times 0,8 + CF_{el} \times CAPEX_{el} + CF_{et} \times CAPEX_{et} + \sum_1^{12} \left[\begin{array}{l} (C_{etsc}(m) + C_{etsr}(m)) \therefore output = etanol; \\ 0 \therefore output = energia \end{array} \right] \quad (6.25)$$

$$B_{etsc}(m) = V_{et}(m) \times P_{ga}(m) \quad (6.26)$$

$$B_{etsr}(m) = \sum_1^y (P_{CO_2}(d) \times ECO2_g) \quad (6.27)$$

$$B_e(m) = \sum_1^y (P_{CO_2}(d) \times ECO2_{gn}) \quad (6.28)$$

$$C_{etsc}(m) = \sum_1^x (V_{et}(s) \times P_{et}(s)) \quad (6.29)$$

$$C_{etsr}(m) = \sum_1^x (0,015 \times V_{et}(s) \times P_{gv}(s)) \quad (6.30)$$

onde

$V_{benefícios_{FLEX}}(t)$ é o valor dos benefícios do caso flexível no ano t ;

$V_{custos_{FLEX}}(t)$ é o valor dos custos do caso flexível no ano t ;

$I_{ee_{equip}}(n)$ é a parcela do investimento total relacionada a aquisição de equipamentos no ano t ;

$I_{ee_{serv}}(n)$ é a parcela do investimento total relacionada a contratação de serviços no ano t ;

$B_{etsc}(m)$ é o benefício do etanol para o setor comercial no mês m ;

$B_{etsr}(m)$ é o benefício do etanol para o setor residencial no mês m ;

$B_e(m)$ é o benefício da energia elétrica para ambos os setores no mês m ;

$C_{etsc}(m)$ é o custo do etanol para o setor comercial no mês m resultante do somatório dos benefícios de cada semana do mês, sendo x o número de semanas do mês;

$C_{etsr}(m)$ é o custo do etanol para o setor residencial no mês m resultante do somatório dos benefícios de cada semana do mês, sendo x o número de semanas do mês;;

$P_{ga}(m)$ é o preço da gasolina no atacado no mês m ;

$P_{gv}(s)$ Preço da gasolina no varejo na semana s .

$\sum_1^y (P_{CO_2}(d) \times ECO2_g)$ é o benefício decorrente da redução de emissões de CO₂ provenientes do não uso de gasolina no mês m resultante do somatório dos benefícios de cada dia do mês, sendo y o número de dias do mês;

$\sum_1^y (P_{CO_2}(d) \times ECO2_{gn})$ é o benefício decorrente da redução de emissões de CO₂ provenientes do uso de gás natural no mês m resultante do somatório dos benefícios de cada dia do mês, sendo y o número de dias do mês;

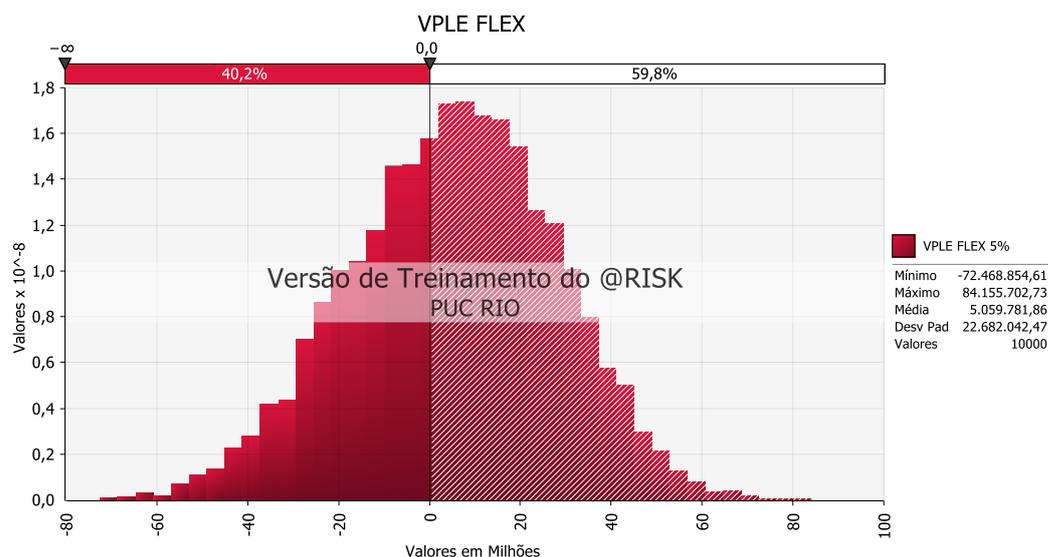
$P_{CO_2}(d)$ é o preço *spot* da tonelada de CO₂ equivalente simulado para o dia d ;

$ECO2_g$ representa as emissões de CO₂ evitadas pelo não uso de gasolina.

$ECO2_{gn}$ representa as emissões de CO₂ evitadas pelo não uso de gás natural para geração de energia elétrica.

Realizando a COBRA com base nas informações e adotando o valor de 24,52 EUR/MWh, 531 EUR/m³, 5,39 EUR, 1.170 EUR/m³ e 94,64 EUR/hl do dia 22 de fevereiro de 2016 como preços *spot* da energia elétrica, etanol, tonelada de CO₂ equivalente, gasolina no varejo e gasolina no atacado, em $t = 0$, o resultado obtido é um VPLE médio aproximado de 5,06 milhões de euros com 59,8% de probabilidade de VPLE positivo como pode ser observado na distribuição probabilística apresentada na Figura 17.

Figura 17 - VPLE caso flexível



Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.2.4.

Passo quatro: Calcular o valor socioeconômico da opção

Como pode ser observado, o valor socioeconômico do projeto com a opção de *switch output* (EUR 5,06M) é maior do que o valor do projeto sem a opção (EUR -87,94M), logo é possível afirmar que a opção de *switch output* agregou aproximadamente 93 milhões de euros ao valor socioeconômico do projeto, tornando o resultado final positivo para a sociedade e permitindo a requisição de apoio financeiro ao ERDF.

6.1.3. Síntese dos resultados

Observando os valores apresentados no item 6.1.1 e 6.1.2, obtemos que as análises financeira e socioeconômica do caso base o situam no 3º quadrante e o projeto deve ser rejeitado, pois é prejudicial tanto para a empresa quanto para o país. Após a inclusão da opção de *switch output* e realização de novas análises financeira pela Teoria de Opções Reais (ROA) e socioeconômica pela Análise de Custo-Benefício com Opções Reais (COBRA), é possível verificar que o caso flexível se situa no 2º quadrante onde o governo deve oferecer algum tipo de incentivo, de forma a tornar o projeto empresarialmente atrativo, uma vez que ele é benéfico para a sociedade.

O incentivo adotado para cálculo do VPLE do projeto foi um aporte financeiro por parte do governo equivalente a 100% do CAPEX necessário para implantação do projeto. Esse aporte foi considerado como um custo social dentro da análise COBRA e ainda assim o projeto se apresentou benéfico para a sociedade. Adicionalmente, esse aporte deve ser considerado como um fluxo de caixa positivo na análise financeira do projeto pela ROA resultando em um novo VPL do projeto que permite verificar em que quadrante o caso flexível com apoio governamental se situa.

Refazendo o cálculo do VPL do projeto com opções realizado no item 6.1.1.3, com o novo fluxo de caixa, a obtemos um VPL médio aproximado de 29,1 milhões de euros com 90% de probabilidade de VPL positivo como pode ser observado na distribuição probabilística apresentada na Figura 18.

Percebe-se, então, que adoção de um quadro teórico que combinou as análises de custo-benefício e por opções reais para avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza agregou valor ao projeto, tornando-o interessante sob ponto de vista da sociedade e permitindo que o governo atue de forma a torná-lo interessante também sob ponto de vista privado.

Tal afirmação é corroborada pela Figura 19 onde verifica-se que a utilização de opções reais tanto na análise financeira quanto na socioeconômica permitiu que um projeto considerado negativo tanto pelo ponto de vista privado quanto pelo da sociedade (3º Quadrante) se tornasse positivo para ambos (1º Quadrante).

Figura 18 – VPL caso flexível com apoio governamental

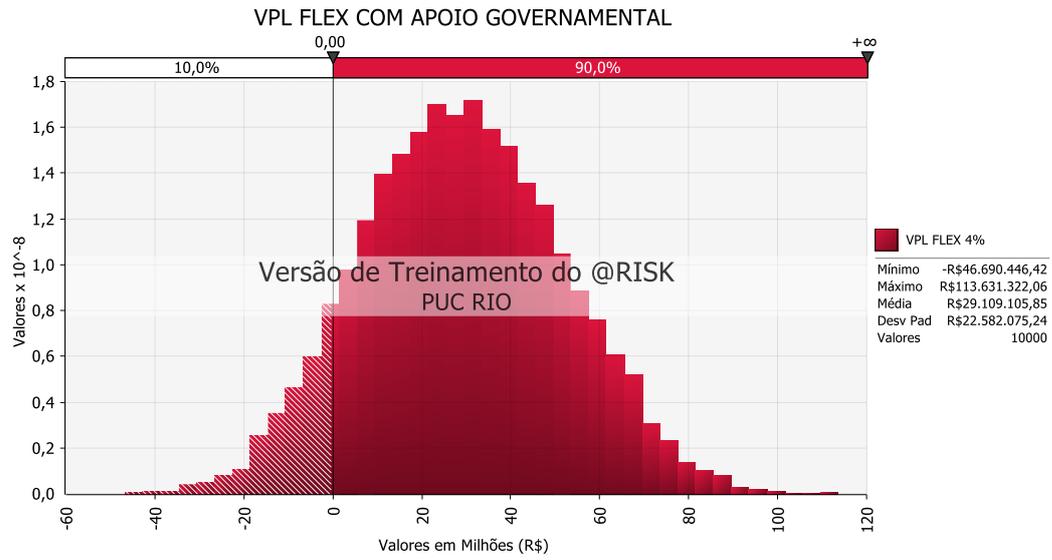
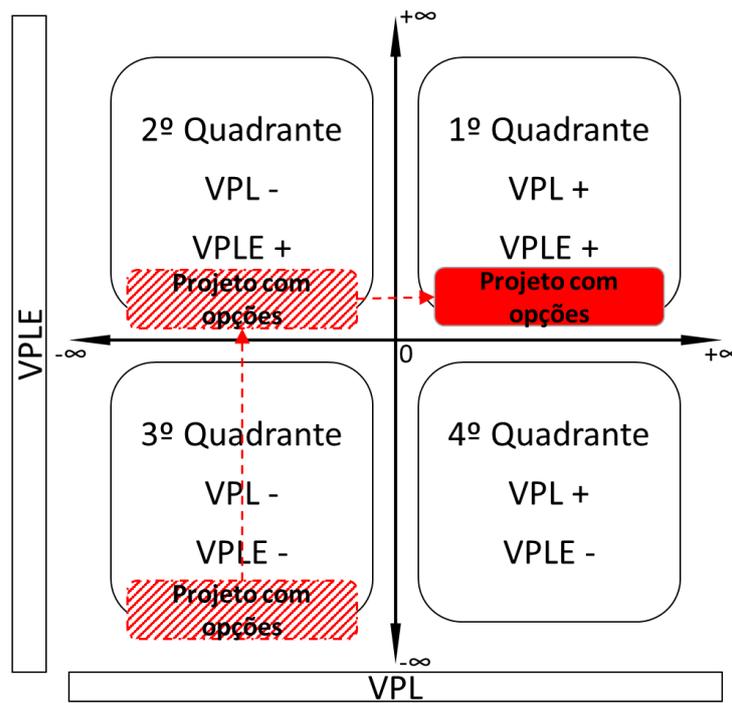


Figura 19 – Comparação análise financeira e análise socioeconômica



Fonte: Elaborado pelo autor

7. Conclusões e Recomendações

Apresentamos a seguir as principais conclusões alcançadas e recomendações para trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos até agora.

7.1 Conclusões

O estudo tinha como objetivo analisar em que nível a adoção de um quadro teórico que combine as análises de custo-benefício e por opções reais para avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza agrega valor ao projeto.

Tal análise buscava contribuir teoricamente para academia brasileira de Administração de Empresas por meio da proposta de um novo quadro teórico, pois a revisão bibliográfica realizada não identificou trabalho na literatura que demonstre de forma detalhada e didática a natureza complementar da CBA e da ROA e a possibilidade de sua integração visando mitigar uma das limitações hoje existente na análise de custo-benefício.

Adicionalmente, observa-se uma contribuição empírica, pois espera-se da aplicação do quadro teórico proposto uma melhoria dos aspectos que norteiam a tomada de decisões privadas e governamentais baseadas em avaliações socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza.

O primeiro passo foi desenvolver o quadro teórico proposto. Partindo de uma ferramenta de avaliação socioeconômica de projetos de investimento (CBA) e de uma ferramenta de avaliação de projetos privados em ambiente de incerteza (ROA), foram identificados seus conceitos complementares e elaborada uma proposta de integração das ferramentas, dando origem a uma nova ferramenta denominada COBRA (COSt Benefit Real options Analysis) que significa Análise de Custo-Benefício com Opções Reais. É importante ressaltar que como o objetivo da integração proposta é propiciar uma melhor análise socioeconômica, a COBRA tem como base uma CBA com os conceitos da ROA inseridos em suas etapas.

A COBRA utiliza um conceito de valor socioeconômico da opção e sua principal diferença de uma simples aplicação da Teoria de Opções Reais em fluxos de custos e benefícios sociais e que ela não busca maximizar o valor socioeconômico da opção. A COBRA realiza a maximização do resultado financeiro do projeto enquanto analisa os impactos dessa maximização em seu valor socioeconômico. Em outras palavras, ela permite avaliar os efeitos da utilização da ROA para valoração de um projeto, em seu valor socioeconômico.

De forma a verificar se esta nova abordagem agrega valor a um projeto, ela foi aplicada na avaliação de uma termelétrica a biomassa com unidade de produção de etanol em um cenário sem flexibilidade (Caso Base) e com flexibilidade (Caso Flexível). Por meio dessa aplicação, foi verificado que a avaliação do projeto por meio da abordagem COBRA aumentou seu valor socioeconômico em aproximadamente 93 milhões de euros, tornando o resultado final positivo para a sociedade. Esse resultado é muito importante, pois permite a requisição de apoio financeiro ao ERDF. Caso o apoio seja efetivamente concedido, o valor financeiro do projeto com apoio governamental é de aproximadamente 29 milhões de euros o que o torna viável tanto pelo aspecto privado como social.

Tal resultado não poderia ser obtido somente pela aplicação da ROA. O valor financeiro do caso flexível é de -87,94 milhões de euros o que o torna inviável pelo aspecto privado e a existência de flexibilidades impossibilitam sua análise pela CBA, logo trata-se de um projeto fadado ao abandono. Somente com a aplicação da COBRA foi possível verificar o valor socioeconômico do caso flexível e, com a adoção de apoios governamentais de visão ao aspecto social positivo, viabilizar o projeto.

Percebe-se, então, que existem fortes indícios que a adoção de um quadro teórico que combinou as análises de custo-benefício e pela teoria de opções reais para avaliação socioeconômica de projetos de investimento em ambiente de incerteza agregou valor ao projeto. Logo, a análise realizada mostra que se aplicada corretamente, esta metodologia pode vir a ser uma alternativa viável para o problema de avaliação socioeconômica de projetos com flexibilidade em ambiente de incerteza.

7.2 Limitações da metodologia

Uma limitação da metodologia proposta está relacionada com as premissas adotadas pelas metodologias que compõem a sua base. Como em qualquer análise que utiliza processo estocásticos, os resultados são bastante sensíveis a modelagem proposta para as incertezas e flexibilidades. Adicionalmente, a escolha das taxas de desconto apropriadas, principalmente no que diz respeito a taxa de desconto social é muito debatida na literatura sem que haja consenso sobre qual a forma de cálculo mais adequada.

Uma premissa da CBA que suscita debates calorosos quanto a sua aplicabilidade ética é a utilização do critério de Kaldor-Hicks, ou da melhoria de Pareto potencial (PPI) que afirma que o projeto ou política pública deve ser adotado se e somente se aqueles que irão obter benefícios poderiam compensar aqueles que irão perder benefícios e ainda sim serem considerados beneficiados. Como nele a compensação real só precisa ser possível, sem ter de ocorrer necessariamente, os autores contrários afirmam não ser ético um governo optar por privilegiar uma parcela da sociedade em detrimento de outra, pois em geral essa compensação nunca ocorreria. A integração à CBA de uma metodologia largamente associada ao aumento do valor de projetos sob uma perspectiva estritamente privada como a ROA pode ampliar as críticas quanto sua aplicabilidade ética.

Por fim, tanto a CBA e a ROA possuem grande complexidade na sua operacionalização. A CBA pela necessidade de identificação, quantificação e valoração de impactos que muitas vezes possuem característica mais qualitativa do que quantitativa. A ROA pela complexa formulação matemática associada aos seus métodos de valoração. Essa complexidade transmite, muitas vezes, a sensação de “caixa-preta”, tornando o seu resultado pouco confiável aos que não possuem familiaridade com as metodologias. A integração das metodologias agrega um nível maior de complexidade que pode amplificar essa sensação.

7.3 Recomendações para trabalhos futuros

Tanto a CBA quanto a ROA são muito utilizadas na avaliação de projetos de investimento com características muito similares, mesmo que sob óticas diferentes.

Exemplos típicos de aplicação da CBA são a avaliação de projetos de infraestrutura de transporte (*e.g.* novas estradas, ferrovias, etc.), de energia (*e.g.* novos gasodutos, termelétricas, etc.), de telecomunicações (*e.g.* ampliação da infraestrutura de internet, novas redes celulares, etc.) e projetos de pesquisa e desenvolvimento. Não por acaso tais projetos são facilmente encontrados na literatura de opções reais.

Brandão, Bastian-Pinto, Gomes e Labes (2012) utilizou opções reais para avaliar o apoio governamental no contrato de parceria público-privada da linha quatro do metro de São Paulo enquanto Tahon, Verbrugge, Willis, Botham, Colle, Pickavet e Demeester (2014) e Angelou e Economides (2014) as utilizaram na avaliação de projetos de infraestrutura de telecomunicações e no negócio de banda larga respectivamente. Já Eckhause, Hughes e Gabriel (2009) e Van Zee e Spinler (2014) aplicaram a ROA na avaliação de investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento e Boomsma, Meade e Fleten (2012) a utilizam na avaliação de projetos de energia renovável.

Uma extensão possível deste trabalho é a aplicação da COBRA em outros tipos de projetos como os listados acima de forma a consolidar a aplicabilidade da abordagem proposta na prática.

8. Referências bibliográficas

ABDULAI, A.; REGMI, P. P. Estimating labor supply of farm households under nonseparability: empirical evidence from Nepal. **Agricultural Economics**, v. 22, n. 3, p. 309-320, 2000.

ADAMOWICZ, W.; LOUVIERE, J.; WILLIAMS, M. Combining revealed and stated preference methods for valuing environmental amenities. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 26, n. 3, p. 271-292, maio 1994.

ADLER, M.; POSNER, E. A. Rethinking cost-benefit analysis. **The Yale law journal**, v. 109, n. 2, p. 165-247, 1999.

AGUIRRE, A.; DE FARIA, D. M. A Utilização de preços hedônicos na avaliação social de projetos. **Revista Brasileira de Economia**, v. 51, n. 3, p. 391-411, 1997.

ALMUNEEF, M.; MEMISH, Z. A. Effective medical waste management: It can be done. **American Journal of Infection Control**, v. 31, n. 3, p. 188-192, maio 2003.

AMRAM, M.; KULATILAKA, N. Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier. **Bank of America – Journal of Applied Corporate Finance**, v. 13, n. 2, p. 15-28, 2000.

ANGELOU, G. N.; ECONOMIDES, A. A. Investment flexibility and competition modeling for broadband business. **Telecommunications Policy**, v. 38, n. 5, p. 438-448, 2014.

ANDERSEN, L. E. A Cost-Benefit Analysis of Deforestation in the Brazilian Amazon. Rio de Janeiro: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997, 50 p.

ARROW, K.; LIND, R. Uncertainty and evaluation of public investment decisions. **American Economic Review**, v. 60, n. 3, p. 364-378, 1970.

BALCOMBE, K.; SMITH, L. Refining the use of Monte Carlo techniques for risk analysis in project planning. **Journal of Development Studies**, v. 36, n. 2, p. 113-135, dezembro 1999.

BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; ALVES, M. L. Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. **Annals of Operations Research**, v. 176, n. 1, p. 333-348, 2010.

BASTIAN-PINTO, C.; BRANDAO, L.; 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. 411-422, maio 2009.

BASTIAN-PINTO, C. **Modelagem de Opções Reais com Processos de Reversão à Média em Tempo Discreto: Uma Aplicação na Indústria Brasileira de Etanol**. Rio de Janeiro, 2009. 164 p. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

BATISTA, F. R. S. **Estimação do Valor Incremental do Mercado de Carbono nos Projetos de Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica no Brasil: Uma Abordagem pela Teoria das Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2007. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

BERC. Wood Pellet Heating: A Reference on Wood Pellet Fuels & Technology for Small Commercial & Institutional Systems. [S.l.]: Biomass Energy Resource Center, 2007, 26 p.

BERGMANN, A.; HANLEY, M.; WRIGHT, R. Valuing the attributes of renewable energy investments. **Energy Policy**, v. 34, n. 9, p. 1004-1014, Jun 2006.

BERNARDO, A. E.; CHOWDHRY, B. Resources, real options, and corporate strategy. **Journal of Financial Economics**, v. 63, n. 2, p. 211-234, 2002.

BLACK, F.; SCHOLES, M. Pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.

BLAUG, M. **Economic theory in retrospect**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

BMW. Unofficial translation of the RES Act in the version in force as of 1 August 2014. [S.l.]: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2014, 74 p.

BOARDMAN A. E., GREENBERG, D., VINING A. e WEIMER, D. **Cost-benefit analysis: concepts and practice**. 3.ed., Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006.

BOOMSMA, T. K.; MEADE, N.; FLETEN, S. E. Renewable energy investments under different support schemes: A real options approach. **European Journal of Operational Research**, v. 220, n. 1, p. 225-237, 2012.

BOYLE, P.P. Options: A Monte Carlo Approach. **Journal of Financial Economics**, v. 4, n. 3, p. 323-338, 1977.

BRANDÃO FILHO, J. E. **Previsão de Demanda por Gás Natural Veicular: Uma Modelagem Baseada em Dados de Preferência Declarada e Revelada**.

Fortaleza, 2005. 274 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BRANDÃO, L.; PENEDO, G.; BASTIAN-PINTO, C. **The Value of Switching Inputs in a Biodiesel Plant in Brazil**. In: 13th Annual International Conference on Real Options at University of Minho, Portugal & University of Santiago de Compostela, Spain, 2009.

BRANDÃO, L. E.; BASTIAN-PINTO, C.; GOMES, L. L.; LABES, M. Government Supports in Public-Private Partnership Contracts: Metro Line 4 of the São Paulo Subway System. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 18, n. 3, p. 218-225, 2012.

BREKKE K. A.; LURAOS, H.; NYBORG, K. Allowing disagreement in evaluation of social welfare. **Journal of Economics**, v. 63, n. 3, p. 303-324, 1996

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. Evaluating Natural Resource Investments. **The Journal of Business**, v. 58, n. 2, p. 135-157, 1985.

BRENT R. J. **Cost-benefit analysis for developing countries**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 1998.

BRITO, A. N. **Aplicação de um procedimento usando preferência declarada para a estimativa do valor do tempo de viagem de motoristas em uma escolha entre rotas rodoviárias pedagiadas e não pedagiadas**. São Paulo, 2007. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BROBOUSKI, W. J. P. **Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo**. Curitiba, 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Programação Matemática) - Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná.

CAPORAL, A.; BRANDÃO, L. E. T. Avaliação de uma Unidade de Geração de Energia Através da Teoria de Opções Reais. **Brazilian Business Review**, v. 5, n. 2, p. 108-127, 2008.

CARSON, R. T.; GROVES, T. Incentive and informational properties of preference questions. **Environmental and resource economics**, v. 37, n. 1, p. 181-210, 2007.

CHILDS, P. D.; TRIANTIS, A. J. Dynamic R&D Investment Policies. **Management Science**, v. 45, n. 10, p. 1359-1377, 1999.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. Handbook of Cost Benefit Analysis, Janeiro 2006.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Real options, Revised Edition: a practitioner's guide**. New York: Texere, 2003.

COX, J. C.; ROSS, S. A. The Valuation of Options for Alternative Stochastic Processes. **Journal of Financial Economics**, v. 3, n. 1-2, p. 145-166, 1976.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option Pricing: A Simplified Approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229-263, 1979

DAMODARAN, A. Damodaran Online. Disponível em:
<<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>> Acesso em: 17 de setembro de 2016.

DASGUPTA P.; SEN, A; MARGLIN, S. **Guidelines for project evaluation**. New York: United Nations, 1972.

DEL BO, C.; FIORIO, C.; FLORIO, M. Shadow Wages for the EU Regions. **Fiscal Studies**, v. 32, n. 1, p. 109-143, 2011.

DELOITTE. **Corporate Tax Rates 2016**. Disponível em
<<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Tax/dttl-tax-corporate-tax-rates.pdf>> Acesso em 30 de abril de 2016.

DESTATIS, Federal Statistical Office. **Prices: Data on energy price trends - Long-time series from January 2000 to February 2016**. Disponível em
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergyPriceTrendsPDF_5619002.pdf?__blob=publicationFile> Acesso em 30 de Abril de 2016.

DIAS, M. A. Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 44, n. 1-2, p. 93-114, 2004.

DIAS, M. A.; ROCHA, K. **Petroleum Concessions With Extendible Options using Mean Reversion with Jumps to model Oil Prices**. In: 3rd Annual International Conference on Real Options at Wassenaar/Leiden, Netherlands, 1999.

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

DUTRA, T. P. **Opções Reais – uma aplicação e bolsa de valores**. Porto Alegre, 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Economia, modalidade profissionalizante, com ênfase em Economia Aplicada) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DUTTA, A.; TALMADGE, M.; HENSLEY, J.; WORLEY, M.; DUDGEON, D.; BARTON, D.; WRIGHT, C. T. Process design and economics for conversion of lignocellulosic biomass to ethanol: Thermochemical pathway by indirect gasification and mixed alcohol synthesis. Golden: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2011, 187 p.

EUROPEAN COMMISSION. Regulamento Delegado (EU) N° 480/2014 da Comissão de 03 de março de 2014. Disponível em <http://data.europa.eu/eli/reg_del/2014/480/oj> Acesso em 30 de Abril de 2016.

ECKHAUSE, J. M.; HUGHES, D. R.; GABRIEL, S. A. Evaluating real options for mitigating technical risk in public sector R&D acquisitions. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 4, p. 365-377, 2009.

EVANS, D. J. The Elasticity of Marginal Utility of Consumption: Estimates for 20 OECD Countries. **Fiscal Studies**, v. 26, n. 2, p. 197-224, 2005.

FARROW, S.; TOMAN, M. Using benefit-cost analysis to improve environmental regulations. **Environment**, v. 41, n. 2, p.12-38, 1999.

FLORIO, M. Cost–benefit analysis and the European union cohesion fund: On the social cost of capital and labour. **Regional Studies**, v. 40, n. 2, p. 211-224, 2006.

FLORIO, M.; FORTE, S.; PANCOTTI, C.; SIRTORI, E.; VIGNETTI, S. Exploring cost–benefit analysis of research, development and innovation infrastructures: an evaluation framework. [S.l.]: Centre for Industrial Studies (CSIL), 2016, 86 p.

GEWIRTH, A. Two types of cost-benefit analysis. In: SCHERER, D. (Ed.). **Upstream/Downstream: Issues in Environmental Ethics**. Filadélfia: Temple University Press, 1990. p. 205-232.

GOMES, L. L.; LUIZ, I. G. Valor Adicionado aos Consumidores Livres de Energia Elétrica no Brasil por Contratos Flexíveis: Uma Abordagem pela Teoria das Opções. **Revista Eletronica de Administracao - REAd**, v. 15, n. 2, p. 307-333, 2009.

GONZALEZ, R.; DAYSTAR, J.; JETT, M.; TREASURE, T.; JAMEEL, H.; VENDITTI, R.; PHILLIPS, R. Economics of cellulosic ethanol production in a thermochemical pathway for softwood, hardwood, corn stover and switchgrass. **Fuel Processing Technology**, v. 94, n. 1, p. 113-122, 2012.

GUILLERMO-PEON, S. B.; HARBERGER, A. C. Measuring The Social Opportunity Cost of Labor In Mexico. **Journal of Benefit-Cost Analysis**, v. 3, n. 02, p. 1-41, 2012.

HANLEY N.; SPASH C. **Cost-Benefit Analysis and the environment**. Aldershot-Hants: Edward Elgar Publishing, 1993

HARBERGER A. C. **Project Evaluation - Collected papers**. London: MacMillan, 1972.

HEPBURN, C. Use of discount rates in the estimation of the costs of inaction with respect to selected environmental concerns. **OECD Papers**, v. 7, n. 9, p. 1-42, 2007.

HONOHAN, P. **Key Issues of Cost-Benefit Methodology for Irish Industrial Policy**. Dublin: Economic and Social Research Institute, 1998

HUSTED, B. W. Risk management, real options, and corporate social responsibility. **Journal of Business Ethics**, v. 60, n. 2, p. 175-183, agosto 2005.

IEA. Technology Roadmap: Bioenergy for Heat and Power. [S.l.]: , International Energy Agency, 2012.

IRENA. Renewable energy technologies: cost analysis series - Biomass for Power Generation. [S.l.]: International Renewable Energy Agency, 2012.

JACOBY, H. G. Shadow Wages and Peasant Family Labour Supply: An Econometric Application to the Peruvian Sierra. **The Review of Economic Studies**, v. 60, n. 4, p. 903-921, 1993.

JENKINS, G. P.; KUO, C.-Y.; GIRALDEZ, J. Canadian Regulatory Cost-Benefit Analysis Guide. [S.l.]: Treasury Board of Canada, 2007.

JOHANSSON P.-O. **Cost-benefit analysis of environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

JUNGER, P. D. (1979). The inapplicability of Cost-Benefit Analysis to environmental policies. **Ekistics**, v. 46, n. 276, p.184-194, 1979.

KODUKULA, P.; PAPUDESU, C. **Project valuation using real options: a practitioner's guide**. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2006

LAKSHMANAN, T. The broader economic consequences of transport infrastructure investments. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 1, p. 1-12, 2011.

LAYARD, R.; GLAISTER, S. **Cost-Benefit Analysis**. , 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

LIMA, G. A. C.; SUSLICK, S. B. Quantificação do momento de investir em ativos minerais por meio da teoria das opções reais. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 149-154, 2001.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R. Validade e confiabilidade do método de custo de viagem: um estudo aplicado ao Parque Nacional da Serra Geral. **Economia Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 103-123, 2008.

MAJD, S.; PINDYCK, R. S. Time to Build, Option Value, and Investment Decisions. **Journal of Financial Economics**, v. 18, n. 1, p. 7-27, 1987.

MATSUSAKA, JOHN G. Corporate Diversification, Value Maximization, and Organizational Capabilities. **The Journal of Business**, v. 74, n. 3, p. 409-431, 2001.

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. The Value of Waiting to Invest. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 101, n. 4, p. 707-728, 1986.

MCGRATH, R. A real options logic for initiating technology positioning investments. **Academy of Management Review**, v. 22, n. 4, p. 974-996, 1997.

MERKHOFFER, M. W. **Decision science and social risk management - A comparative evaluation of Cost-Benefit Analysis, decision analysis and other formal decision aiding approaches**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1987.

MILLER, K.; WALLER, H. Scenarios, real options and integrated risk management. **Long Range Planning**, v. 36, n. 1, p. 93-107, 2003.

MINARDI, A. Teoria de Opções aplicada a Projetos de Investimento. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 2, p. 74-79, 2000.

MIRANDA, G. D. M.; VITALE, V.; ZAMPIER, J. F. Levantamento das metodologias propostas para valoração econômica de bens ambientais. **Revista Floresta**, v. 39, n. 4, p. 861-867, 2009.

MISHAN E. J. **Cost-benefit analysis - an informal introduction**. London: George Allen & Unwin, 1975.

MISHAN, E. J. **Economic efficiency and social welfare - selected essays on fundamnetal aspects of the economic theory of social welfare**. Boston: George Allen & Unwin, 1981.

MOORE, M. A.; BOARDMAN, A. E.; VINING, A. R.; WEIMER, D. L.; GEENBERG, D. H. "Just give me a number!" Practical values for the social discount rate. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 23, n. 4, p. 789-812, 2004

MUN, J. **Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2002.

NAS, T. F. **Cost-benefit analysis - theory and application**. Thousand Oaks: Sage, 1996.

Ng, Y. K. **Welfare economics**. London: Macmillan, 1983.

PACHECO-DE-ALMEIDA, G.; ZEMSKY, P. The Effect of Time-to-Build on Strategic Investment under Uncertainty. **The RAND Journal of Economics**, v. 34, n. 1, p. 166-182, 2003.

PATTON, M. Q. **Utilization-focused evaluation - the new century text**. Thousand Oaks: Sage, 1997.

PEARCE, D. W.; ATKINSON, G.; MOURATO, S. **Cost-benefit analysis and the environment: recent developments**. Paris: OCDE, 2006.

PETERS, R.; WAPLES, E.; GOLDEN, P. A Real Options Reasoning Approach to Corporate Social Responsibility (CSR): Integrating Real Option Sensemaking and CSR Orientation. **Business and Society Review**, v. 119, n. 1, p. 33, 2014.

PICAZO-TADEO, A. J.; REIG-MARTÍNEZ, E. Calculating shadow wages for family labour in agriculture: An analysis for Spanish citrus fruit farms. **Cahiers d'économie et sociologie rurales**, v. 75, p. 5-21, 2005.

PINDYCK, R. S. Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm. **American Economic Review**, v. 78, n. 5, p. 969-985, 1988.

_____. Irreversibility, uncertainty, and investment. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1990, 75 p.

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

PINTO, M. B. Repartição de riscos nas parcerias público-privadas. **Revista do BNDES**, v. 13, n. 25, p. 155-182, 2006.

PORTER T. M. **Trust in numbers - the pursuit of objectivity in science and public life**. Princeton: Princeton University Press, 1995.

QUINET, E. Cost-benefit analysis of transport projects in France. In: FLORIO, M. (Ed.). **Cost-Benefit Analysis and Incentives in Evaluation – The structural funds of the European Union**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2007. p. 164-187.

RAMSEY, F. P. A Mathematical Theory of Saving. **The Economic Journal**, v. 38, n. 152, p. 543-559, 1928.

RAY, A. **Cost-Benefit Analysis - Issues and methodologies**. Washington: The World Bank, 1984.

REICHHUBER, A.; REQUATE, T. Alternative use systems for the remaining cloud forest in Ethiopia and the role of Arabica coffee - A cost-benefit analysis. [S.l.]: Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2007.

REVESZ, R. Environmental regulation, cost-benefit analysis, and the discounting of human lives. **Columbia Law Review**, v. 99, n. 4, p. 941-1017, 1999.

RICHARDSON, H. S. The Stupidity of the Cost- Benefit Standard. **The Journal of Legal Studies**, v. 29, n. 2, p. 971-1003, 2000.

ROSENTHAL, D.; NELSON, R. Why Existence Value Should Not Be Used in Cost-Benefit Analysis. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 11, n. 1, p. 116-122, 1992

SAITO, R.; SCHIOZER, D. J.; CASTRO, G. N. D. Simulação de técnicas de engenharia de reservatórios: exemplo de utilização de opções reais. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 2, p. 64-73, 2000.

SANCHEZ, R. Integrating Transaction Costs Theory and Real Options Theory. **Managerial and Decision Economics**, v. 24, n. 4, p. 267-282, 2003.

SASSONE P. G. e SCHAFFER, W. A. 1978. **Cost-Benefit Analysis - A handbook**, Nova Iorque: Academic Press, 1978.

SEN, A. K. **Choice, welfare and measurement**. Cambridge: MIT Press, 1982.

SEN, A. K. Well-being, Agency and Freedom: The Dewey lectures 1984. **Journal of Philosophy**, v. 82, n.4, p. 169-221, 1985.

SKOUFIAS, E. Using Shadow Wages to Estimate Labor Supply of Agricultural Households. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 76, n. 2, p. 215-227, 1994.

SLADE, M.E. Valuing Managerial Flexibility: An Application of Real-Option Theory to Mining Investments. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 41, n. 2, p. 193-233, 2001.

SMIT, H. T. J.; TRIGEORGIS, L. **Strategic Investment: Real Options and Games**. Princeton: Princeton University Press, 2004.

SPASH, C. L. Ecosystems, contingent valuation and ethics: the case of wetland re-creation. **Ecological Economics**, v. 34, n. 2, p. 195-215, 2000

SQUIRE L. e VAN DER TAK, H. G. **Economic analysis of projects**, Washington: John Hopkins University Press, 1975.

STIGLITZ, J. E. Discount rates: the rate of discount for benefit-cost analysis and the theory of the second best. In: LAYARD, R; GLAISTER, S (Ed.). **Cost-Benefit Analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 116-159.

SUGDEN R. and WILLIAMS, A. **The principles of practical cost-benefit analysis**, Oxford: Oxford University Press, 1978.

SUMABAT, A. K.; LOPEZ, N. S.; YU, K. D.; HAO, H.; LI, R.; GENG, Y.; CHIU, A. S. Decomposition analysis of Philippine CO2 emissions from fuel combustion and electricity generation. **Applied Energy**, v. 164, p. 795 - 804, 2016.

SUNSTEIN, C. R. Lives, life-years and willingness to pay. **Columbia Law Review**, v. 104, n. 1, p. 205-252, 2004.

TAHON, M.; VERBRUGGE, S.; WILLIS, P. J.; BOTHAM, P.; COLLE, D.; PICKAVET, M.; DEMEESTER, P. Real Options in Telecom Infrastructure

Projects: A Tutorial. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 16, n. 2, p. 1157-1173, 2014.

THA, D.; SEAGER, D. Análise Estendida de Custo-Benefício para Adoção de Ação Ecológica em Moçambique: Compartilhando o Rio Zambeze. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 40, jan./jun. 2013.

TITMAN, S. Urban Land Prices Under Uncertainty. **The American Economic Review**, v. 75, n. 3, p. 505-514, 1985.

TRIANANTIS, A. J.; HODDER, J. E. Valuing Flexibility as a Complex Option. **The Journal of Finance**, v. 45, n. 2, p. 549-565, 1990.

TRIGEORGIS, L. **Real options : managerial flexibility and strategy in resource allocation**. Cambridge: MIT Press, 1996.

VAN ZEE, R. D.; SPINLER, S. Real option valuation of public sector R&D investments with a down-and-out barrier option. **Technovation**, v. 34, n. 8, p. 477-484, 2014.

VIDAL, A. P. **Avaliação de Projeto de Mineração Aplicando a Teoria de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

VINTILA, N., "Real Options in Capital Budgeting. Pricing the Option to Delay and the Option to Abandon a Project", **Theoretical and Applied Economics**, Vol. 7, n. 512, pp. 47-58, 2007.

ZERBE, R. O.; DIVELY, D. D. **Benefit-cost analysis in theory and practice**. Nova Iorque: Harper Collins College Publishers, 1994.