



Grupo de Estudo de Comercialização, Economia e Regulação do Mercado de Energia Elétrica-GCR

Teoria de Opções Reais: Uma aplicação em usinas eólicas no mercado livre

RICARDO LINDEMEYER(*)
ELETROSUL;

RICARDO ROCHMAN
EESP-FGV.

RESUMO

O mercado livre de energia tem apresentado um elevado nível de crescimento, enquanto que a fonte eólica atingiu 8% da matriz elétrica brasileira. O objetivo do trabalho é aplicar a Teoria de Opções Reais (TOR) na avaliação da reconstrução de quatro eólicas, que oferecem flexibilidades gerenciais, cuja energia seria destinada ao ACL. Empregou-se o modelo binomial. As opções de abandono e adiamento agregaram valor, e a opção de expansão não gerou valor. Concluiu-se que a TOR permite identificar em quais cenários as decisões poderão ser tomadas, as usinas eólicas possuem opções reais, e o presente trabalho mostra formas de aproveitá-las.

PALAVRAS CHAVE

Opções Reais, Eólicas, Mercado Livre de Energia, Energia Incentivada, Modelo Binomial.

1.0 INTRODUÇÃO

Atualmente o método de avaliação de investimentos mais difundido é o Fluxo de Caixa Descontado (FCD). Porém, a principal limitação do FCD é a premissa que os valores dos fluxos esperados do investimento prevalecerão no futuro, permanecendo estáticos.

Em um contexto empresarial dinâmico, as empresas revisam suas estratégias e planos de investimento de acordo com as condições do ambiente. As possibilidades de rever a estratégia inicial e alterar o plano de investimento de acordo com as novas condições econômicas são chamadas flexibilidades gerenciais ou opções reais (MINARDI, 2004).

É possível medir o valor das flexibilidades gerenciais por meio de modelos de precificação de opções. Projetos com oportunidades de expansão ou retração, de abandono, adiamento, entre outras, recusados devido aos seus valores presentes líquidos (VPL) negativos, podem ser viáveis quando o valor das suas opções reais embutidas é considerado (TRIGEORGIS, 1993).

Para os investidores em energia eólica, o processo de valuation é desafiador. Esforços para simplificar a análise dos projetos podem mascarar incertezas inerentes ao processo, que não são capturadas pelo FCD. Nos últimos anos houve um interesse crescente na aplicação da teoria das opções reais aos processos decisórios relacionados ao setor elétrico, inclusive usinas eólicas. Essas usinas oferecem uma série de flexibilidades ao investir como adiamento, abandono, expansão, switch options, que devidamente precificadas, podem agregar valor e viabilizar a implantação de novas usinas.

O objeto de análise do presente informe técnico é a reconstrução de quatro usinas eólicas, que foram

(*) Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 999, Pantanal, CEP: 88040-901, Florianópolis-SC – Brasil. Tel: (+55 48) 3953-8339 – E-mail: ricardo.lindemeyer@eletrosul.gov.br

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

severamente afetadas por evento climático, que aliada a falência de sua fornecedora de aerogeradores, levou a paralisação da sua operação. O projeto oferece uma série de opções, como adiamento, abandono ou expansão cadenciada. Todo o lastro das usinas será destinado para venda no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

O trabalho se propõe a responder à seguinte pergunta: qual o valor real do projeto de reconstrução de quatro usinas eólicas, considerando as opções de adiar, abandonar e expandir? Para tanto, será aplicada a Teoria de Opções Reais (TOR) para verificar se as opções embutidas no Complexo Eólico geram valor ao acionista. A principal incerteza considerada sobre o fluxo de caixa é o preço de venda da energia produzida.

2.0 MERCADO DE ENERGIA

O Ambiente de Contratação Livre (ACL), também conhecido como mercado livre, é o segmento no qual os consumidores livres e especiais contratam seu suprimento de energia elétrica. Esses consumidores têm liberdade de negociar com os vendedores condições como volumes de energia, prazos, preços, garantias financeiras, e demais itens que constituem um contrato de compra e venda de energia elétrica.

Em 2006 foi criada a figura do consumidor especial, que apresenta uma demanda mínima menor (500kW), e devem adquirir energia somente de fontes denominadas incentivadas: pequenas centrais hidrelétricas (PCH), biomassa, eólica e solar.

A denominação “fontes incentivadas” foi criado com o intuito de promover o desenvolvimento de fontes alternativas no processo de produção de energia, por meio de incentivos para estimular empreendedores e consumidores a investirem nesse segmento. Os consumidores que adquirem energia de fontes incentivadas possuem direito a desconto na tarifa da rede. Em função do desconto ofertado, a energia incentivada possui maior preço quando comparada aos das fontes convencionais (grandes hidrelétricas, termelétricas, por exemplo). Dada as vantagens, aliada a elevação dos tarifas do Ambiente de Contratação Regulado (ACR), o número de consumidores livres, com destaque para os especiais, cresceu exponencialmente a partir de 2016:



Figura 1: Evolução do número de consumidores livres e especiais

O mercado livre representa quase 30% do consumo de energia do país e está em crescimento por conta da migração de novas cargas, podendo chegar a representar 46% do consumo nacional com a regulação atual. O aumento da demanda por energia renovável tem mobilizado comercializadores no mercado livre, fazendo o lado da oferta compor novos modelos de negócio e enxergar oportunidades na geração eólica (FREIRE, 2018).

A tendência de consolidação da energia eólica na matriz energética brasileira é irrefutável, sendo que atualmente a fonte representa 8% da matriz elétrica brasileira, com 13 GW de capacidade instalada e 520 parques. A expectativa de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia da EPE (2017), é chegar a 23 GW instalados em 2023, representando 12% da matriz elétrica nacional.

De acordo com dados do Infovento (2018), até 2013, a capacidade instalada dessas eólicas destinadas ao mercado livre somava apenas 96 MW. Atualmente são 1.000 MW instalados, e a previsão é de 169 usinas com 3.587 MW de potência instalada destinadas ao ACL em 2023.

3.0 TEORIA DE OPÇÕES REAIS (TOR)

Flexibilidades gerenciais ou opções reais são as possibilidades de rever a estratégia inicial e alterar o plano de investimento de acordo com as novas condições do ambiente. Minardi (2004) apresenta alguns tipos de flexibilidade gerencial: o gestor pode expandir ou contratar um projeto (ou abandoná-lo temporariamente ou permanentemente); a opção de aguardar, usualmente o valor de opção mais relevante, uma vez que permite à empresa postergar o investimento até que determinadas condições de mercado sejam favoráveis.

O termo opções reais foi definido por Myers (1977), onde ele segrega o valor de uma firma em dois tipos diferentes de ativos: o ativo real, o qual possui valor de mercado independentemente da estratégia de investimento da empresa e opções reais, que são oportunidades de adquirir um ativo real com condições provavelmente favoráveis.

Myers (1977) foi o primeiro autor a defender que uma oportunidade de investimento deveria ser vista como uma opção. Uma opção, seja ela real ou financeira, confere a seu detentor o direito (mas não a obrigação) de comprar ou vender um ativo a um preço predeterminado (preço de exercício) por um dado período de tempo.

A metodologia de opções reais utiliza o fundamento teórico das opções financeiras para avaliar investimentos que possuem incerteza e flexibilidade gerencial. Desta forma, consegue captar o valor gerado pelas flexibilidades, ou seja, contribui para fechar a lacuna deixada pelo método Fluxo de Caixa Descontado (FCD). É importante ressaltar que as duas metodologias são complementares. Assim sendo, o valor de um projeto pode ser definido como:

$$\text{VPL expandido} = \text{VPL tradicional} + \text{VPL flexibilidade gerencial}$$

De acordo com Brealey e Myers (2008), durante as últimas décadas, avanços teóricos e tecnológicos permitiram aos profissionais de finanças adaptarem técnicas de precificação de opções à avaliação de decisões de investimento como o modelo de Black-Scholes e árvores binomiais.

Cox, Ross e Rubinstein (1979) desenvolveram uma modelagem para precificação de opções com base em uma abordagem binomial, favorável para modelar e apreçar alternativas nos investimentos em ativos reais. O nome binomial é decorrente de a metodologia genérica ser feita considerando a evolução do ativo em apenas dois cenários possíveis de resultados em cada período.

O método para estimar movimentos binomiais é representado graficamente por uma árvore de decisão, a qual é elaborada considerando as datas para a execução das opções aplicando-se os fatores probabilísticos que consideram a probabilidade de subida (u) e descida (d) em cada uma das etapas conforme demonstrado na figura abaixo:

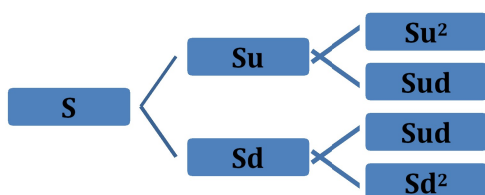


Figura 2: Estrutura da árvore binomial

Onde:

S: preço corrente do ativo;

U: $e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}$, onde σ é a volatilidade, Δt é o período de tempo. U é o fator que considera o aumento do valor do ativo;

d: $e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}}$ ou $1/u$, fator que considera a redução do valor do ativo;

Su: preço do ativo com valorização de acordo com probabilidade p

Sd: preço do ativo desvalorizado, de acordo com probabilidade 1-p.

A fórmula geral para calcular a probabilidade de um movimento de subida “p” é dada pela seguinte equação:

$$p = (e^{rf} - d) / (u - d) \quad (1)$$

Onde:

p = probabilidade de risco neutro;

e = número de Neper;

rf = taxa de juros livre de risco;

Δt = intervalo de tempo;

$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}$, fator que considera o aumento do valor do ativo;

$d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}}$ ou $1/u$, fator que considera a redução do valor do ativo;

Conseqüentemente, a probabilidade do movimento de descida “ d ” é dada por $(1-p)$ (2).

Para ilustrar a aplicação da metodologia, será utilizado o exemplo de valoração de uma opção de compra (C) sobre um ativo. C_u e C_d representa-se o valor da opção ao fim de um período, sendo o preço do ativo S_u e S_d . Como X é o preço de exercício da opção, os valores possíveis para esta opção serão: $C_u = \text{Max}[S_u - X, 0]$ e $C_d = \text{Max}[S_d - X, 0]$, como mostrado na figura abaixo:

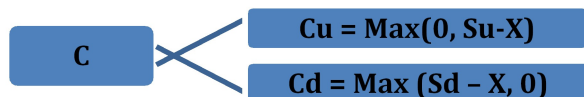


Figura 3: Estrutura binomial do movimento de opção de compra

Para calcular o valor da opção de compra C , emprega-se a equação:

$$C_{call} = \frac{p \cdot C_u + (1-p) \cdot C_d}{(1+rf)} \quad (3)$$

4.0 MODELAGEM DO VALUATION DAS USINAS EÓLICAS

O Complexo Ventos é uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) que abrange eólicas, com potência instalada total de 60 MW, localizadas no Rio Grande do Sul. As usinas Ventos IV, Ventos V, Ventos VI e Ventos VII estão paralisadas, devido a eventos climáticos que derrubaram oito torres e à falência da fornecedora de aerogeradores.

Todos os acessos aos aerogeradores estão concluídos e com condições de transporte de materiais e equipamentos, mediante manutenção e pequenos reparos. A estrutura de rede e subestação estão operantes, com o escoamento da geração de energia ao SIN garantido. Trata-se de uma vantagem competitiva, pois como a capacidade das linhas de transmissão é limitada, nem todos os interessados conseguem interligar as usinas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e assim escoar a sua produção de energia.

As usinas Ventos IV, Ventos V, Ventos VI e Ventos VII oferecem a possibilidade do reaproveitamento das estruturas de rede existentes. De acordo com Tolmasquim (2005) e Giorgetto (2012), os aerogeradores respondem por 70% dos investimentos no parque, enquanto que as estruturas de apoio responderiam por 30%. Conservadoramente, considerou-se que a reconstrução demandará 80% do investimento quando comparado a um projeto eólico novo (greenfield).

Dado o crescimento da demanda de consumidores especiais por energia incentivada, tornam as condições propícias para o investimento em usinas destinadas ao mercado livre. Portanto, trabalhou-se com a destinação de toda energia para o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Na quarta semana de maio/2018, na plataforma de preços Dcide, o preço do produto energia incentivada A+2 era de R\$ 219,93/MWh. O preço médio em 2018 do A+2 era de R\$ 211,38/MWh, que foi considerado no valuation.

Destaca-se que as premissas adotadas neste estudo estão baseadas na observação e coleta de dados de diversos projetos de empreendimentos “reais” do setor elétrico. Foram obtidas as médias para os valores relacionados ao Capex, despesas administrativas, operação e manutenção, taxas e encargos, depreciação e seguros.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

Tabela 1: Premissas empregadas no valuation

Ativo	Ventos IV	Ventos V	Ventos VI	Ventos VII	TOTAL
Quantidade Aerogeradores	5,0	6,0	15,0	4,0	30,0
Potência Instalada (MW)	10,0	12,0	30,0	8,0	60,0
Garantia Física Líquida Anual (MW médios)	3,2	3,9	9,1	2,7	18,9
Garantia Física Líquida Anual (MWh)	28.185	34.164	79.431	23.915	165.695
Preço de Venda (R\$/MWh)	211,38	211,38	211,38	211,38	
Receita Bruta Anual (R\$)	5.957.809	7.221.586	16.790.188	5.055.110	35.024.694
CAPEX (R\$/MW instalado)	5.782.371				
CAPEX reduzido em 20% (R\$/MW instalado)	4.625.897				
CAPEX Total (R\$)	46.258.969	55.510.762	138.776.906	37.007.175	277.553.812
PIS + COFINS	3,65%				
Despesas Administrativas (R\$/ano)	452.793				
Operação e Manutenção (R\$/MWh)	9,75				
Arrendamento das terras (% ROL)	1,00%				
Encargos do uso do sistema de transmissão (R\$/MW)	3.040,00				
Taxa de Fiscalização do Setor Elétrico (R\$/MW)	2.560,00				
Taxa ONS e CCEE (R\$/MWh)	0,25				
Seguros (% Capex)	0,50%				
Depreciação (%/ano)	5,00%				
Imposto de Renda - Presumido (% ROB)	8,00%				
CSLL - Presumido (%)	12,00%				
WACC real (%)	7,09%				
Início da Construção	01/01/2019	01/01/2019	01/01/2019	01/01/2019	
Início da Operação Comercial	01/01/2021	01/01/2021	01/01/2021	01/01/2021	
Final da Autorização	16/03/2047	16/03/2047	24/02/2047	06/03/2047	

Inicialmente, foi calculado o valor gerado no cenário base através da metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado (FCD). Destaca-se que o fluxo de caixa foi projetado em termos reais, tanto do ponto de vista de receitas e despesas. Não obstante, foi adotado um WACC real, utilizado pela Controladora atual, para realizar o desconto dos fluxos de caixa.

Tabela 2: Valor Presente Líquido (VPL) das Usinas

Usina	Ventos IV	Ventos V	Ventos VI	Ventos VII	TOTAL Complexo
VP FCFE (R\$ Milhões)	44,26	54,64	131,75	37,11	267,76
CAPEX (R\$ Milhões)	46,26	55,51	138,78	37,01	277,55
VPL (R\$ Milhões)	-2,00	-0,87	-7,03	0,10	-9,80

Os resultados apontam para um VPL negativo de R\$ 9,80 milhões para todo o Complexo. Individualmente, apenas a Ventos VII apresenta saldo positivo, com VPL de R\$ 0,10 milhão.

Contudo, com as opções embutidas no projeto, a avaliação pode ser alterada. Foram avaliados os prêmios das três opções pelas quais os acionistas têm controle:

- Opção de abandono do projeto, mediante o pagamento de multa contratual de R\$ 26,10 milhões, equivalente a 10% do valor do investimento dos projetos (R\$ 261 milhões à época da construção), ao Poder Concedente (Ministério de Minas e Energia – MME);
- Opção de adiamento da reconstrução das usinas. Inicialmente prevista para 2019, o início da reconstrução das usinas pode ser adiado, com vistas a capturar o melhor período para se iniciar o investimento/reconstrução.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

- Opção de expansão planejada. O Complexo Ventos é composto por quatro usinas eólicas, cuja construção pode ser feita em etapas. Foi considerada a construção de uma usina (Ventos VI) equivalente a 50% da capacidade total do Complexo, com a opção de expandir os outros 50% por meio da construção de outros três parques do Complexo.

Para o cálculo dos VPLs expandidos (com as opções reais), foram feitas duas suposições. Primeiro, foram considerados todos os dados empregados para avaliação via fluxo de caixa descontado (FCD). Em segundo lugar, o fator de volatilidade considerado foi o preço da energia no mercado livre.

Para o cálculo da medida de volatilidade recorreu-se ao histórico de volatilidade mensal anualizada do preço forward de energia, produto "A+1", com suprimento um ano adiante, considerando que as usinas venderão a energia por meio de contratos com vigência de um ano.

O cálculo pelo método binomial exige a definição de outras premissas: n (número de períodos) e T (prazo da opção de acordo com a medida de volatilidade). Foram considerados neste trabalho um período de cinco anos (T=5) e prazo de um ano (t=1). Definidas as premissas iniciais, especialmente a volatilidade anual de 20,72%, pode-se calcular as probabilidades para a variação do valor do ativo:

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}} = e^{0,2072 \cdot \sqrt{1}} = 1,23 \quad (4)$$

$$d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}} = e^{-0,2072 \cdot \sqrt{1}} = 0,81 \quad (5)$$

Empregou-se como taxa livre de riscos (rf) o rendimento dos títulos NTN-Bs com vencimento em 2024, cotado em 5,54% a.a., data base de 07/06/2018. Convertida de taxa discreta para contínua considerou-se o valor de 5,39%. O próximo passo é o cálculo da probabilidade risco-neutro, para que a taxa de desconto livre de risco possa ser aplicada.

$$p = (1,0539 - 0,81) / (1,23 - 0,81) = 0,58 \quad (6)$$

Tabela 3: Síntese dos parâmetros empregados no cálculo das árvores binomiais

Vol. Anual	20,72%
Rf	5,39%
T	5
t	1
u	1,23
d	0,81
p	0,58
1-p	0,42

Com base nos parâmetros, o Complexo foi representado na forma da árvore binomial representada abaixo:

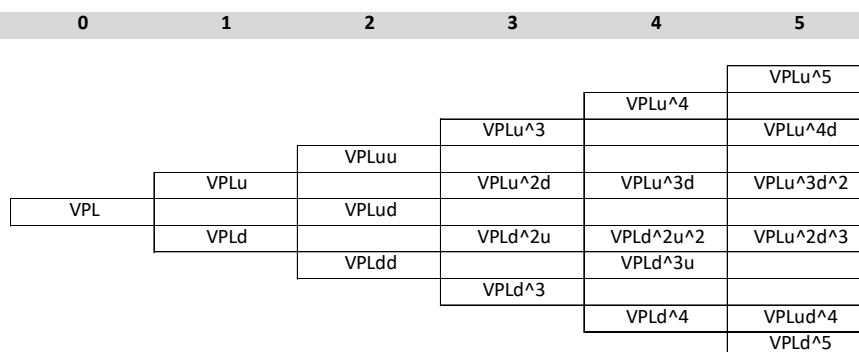


Figura 4: Parâmetros para cálculo da árvore binomial

Com base nos parâmetros da tabela 3 e figura 4, foram calculadas as opções de abandono, adiamento e

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

expansão cadenciada.

ABANDONO

Opção de abandonar os quatros parques eólicas, devolver a autorização ao MME e assumir multa de R\$ 26,1 milhões.

Modelagem da opção:

Payoff da opção na data de vencimento ($t = 5$) **Max (-26,1; VPL_{t=5})**
 Regra de exercício a cada momento $t < T$ **Max (-26,1; valor da opção viva)**

Ano (t)	0	1	2	3	4	5
						- 27,61
					- 22,44	- 26,10
					- 21,58	
				- 18,24		- 18,24
			- 14,83	- 17,74	- 14,83	- 18,24
			- 14,52		- 14,81	
	- 12,05			- 12,05		- 12,05
	- 11,85	- 9,80	- 12,02	- 9,80	- 12,05	
- 9,80		- 9,76		- 9,78		
- 9,66	- 7,96		- 7,96		- 7,96	
	- 7,92	- 6,47	- 7,94	- 6,47	- 7,96	
		- 6,45		- 6,46		
			- 5,26		- 5,26	
			- 5,25	- 4,28	- 5,26	
				- 4,27		
						- 3,48
						- 3,48
VPL sem opção		-9,80				
VPL expandido com opção		-9,66				
Valor da opção de abandono		0,14				

Figura 5: Cálculo da opção de abandono

Observa-se que a opção de abandono possui valor, agregando R\$ 0,14 milhão ao projeto. O pequeno incremento no valor proporcionado pela flexibilidade é insuficiente para viabilizar a reconstrução das usinas, sob o ponto de vista econômico-financeiro.

ADIAMENTO

Opção de adiar a reconstrução das quatro usinas e aguardar um momento propício para a viabilização do projeto, considerando a vigência da autorização das usinas até 2047.

Modelagem da opção:

Payoff da opção na data de vencimento ($t=5$)

$\text{Max}(VP_{t=5} - \text{Capex}_{t=5}; 0)$.

Regra de exercício a cada momento $t < T$

$\text{Max}(VP_t - \text{Capex}_t; \text{valor da opção viva}_t)$.

Ano (t)	0	1	2	3	4	5
Capex *	277,55	292,93	309,16	326,29	344,36	363,44

*A cada período o valor do investimento foi ajustado pela taxa livre de risco.

						754,52
					613,31	391,08
					268,95	
				498,54		498,54
			405,24	176,78	405,24	135,10
			112,94		73,93	
		329,40		329,40		329,40
		70,67	267,76	40,46	267,76	-
	267,76		22,14		-	
	43,52	217,65		217,65		217,65
		12,12	176,92	-	176,92	-
			-		-	
				143,81		143,81
				-	116,90	-
Valor da opção de adiamento		43,52			-	
VPL sem opção		-9,80				95,02
VPL expandido com opção		33,73				-

Figura 6: Cálculo da opção de adiamento

O valor da opção de adiar é de R\$ 43,52 milhões, portanto, o VPL expandido, considerado a flexibilidade de adiamento, é de R\$ 33,73 milhões, superior ao VPL sem flexibilidades, o qual é negativo em R\$ 9,80 milhões. A opção de adiar o investimento na construção de uma usina gera valor significativo para o empreendedor, pois é possível aguardar um momento favorável de preços para vender energia ou as próprias autorizações das usinas.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

EXPANSÃO

Construção da usina Ventos VI com 50% da capacidade total do Complexo, com opção de expansão dos 50% remanescentes por meio da construção de outros três parques (Ventos IV, Ventos V e Ventos VII).

Modelagem da opção:

Payoff da opção na data de vencimento ($t = 5$)

$VPL_{t=5} + \text{Max} (\Delta VP_{t=5} \text{ expansão} - \Delta \text{Capex}_{t=5} \text{ expansão}; 0)$

Regra de exercício a cada momento $t < T$

$VPL_t + \text{Max} (\Delta VP_t \text{ expansão} - \Delta \text{Capex}_t \text{ expansão}; \text{valor da opção viva}_t)$

Ano (t)	0	1	2	3	4	5
Capex	138,78	146,47	154,58	163,14	172,18	181,72
						- 19,80
					- 16,10	- 19,80
					- 16,10	
				- 13,09		- 13,09
			- 10,64	- 13,09	- 10,64	- 13,09
			- 10,64		- 10,64	
		- 8,65		- 8,65		- 8,65
		- 8,65	- 7,03	- 8,65	- 7,03	- 8,65
	- 7,03		- 7,03		- 7,03	
	- 7,03	- 5,71		- 5,71		- 5,71
		- 5,71	- 4,64	- 5,71	- 4,64	- 5,71
			- 4,64		- 4,64	
				- 3,77		- 3,77
				- 3,77	- 3,07	- 3,77
					- 3,07	
VPL sem opção		- 7,03				
VPL expandido com opção		- 7,03				- 2,49
Valor da opção de expansão		0,00				- 2,49

Figura 7: Cálculo da opção de expansão

O VPL expandido é igual ao VPL sem opção, ou seja, a opção de expandir não agregou valor. A expansão cadenciada em 50% por meio da construção de outros três parques do Complexo apresenta VPL negativo, o que não contribuiu para o aumento do valor do projeto.

5.0 CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo o estudo de um projeto de reconstrução de usinas eólicas no Brasil utilizando a metodologia tradicional FCD e de opções reais.

A partir do cenário de consolidação da geração de energia eólica no país, buscou-se fazer uma análise da rentabilidade real da reconstrução de quatro usinas eólicas, considerando a venda no mercado livre como energia incentivada.

O resultado via FCD indicou um VPL de R\$ -9,80 milhões, ou seja, pela análise via fluxo de caixa descontado (FCD), a reconstrução das quatro usinas do Complexo Ventos não remunera o capital, não sendo viável do ponto de vista econômico.

As opções analisadas neste trabalho foram de abandonar, adiar ou expandir. A incerteza considerada foi o preço da energia incentivada no mercado livre. Para mensurar a volatilidade dos preços de energia, utilizou-se o histórico de preços do mercado livre extraído da plataforma Dcide, no período de janeiro/2012 a maio/2018. A volatilidade apurada foi de 20,72% ao ano. Empregou-se o modelo de árvores binomiais.

Ao considerar a opção de abandono, o VPL encontrado foi de R\$ - 9,66 milhões, o que significa que a opção agregou pouco valor ao projeto, apenas R\$ 0,14 milhão. Enquanto que a opção de expansão não gerou valor ao projeto.

O valor da opção de adiar é de R\$ 43,52 milhões, portanto, o VPL expandido, considerando a flexibilidade de adiamento, é de R\$ 33,73 milhões, superior ao VPL sem flexibilidades, o qual é negativo em R\$ 9,80 milhões. O valor da opção de adiar é maior que o valor de investir imediatamente.

A opção de adiar o investimento na construção de uma usina gera valor significativo para o empreendedor, pois é possível aguardar um momento favorável de preços para vender energia ou as autorizações das usinas. Com o preço de venda de R\$ 217,63/MWh, o investimento remunera o custo de capital. Com base no histórico de preços, apurou-se uma taxa de crescimento real de 2% a.a. do preço da energia, assim, é possível que em 1 ano o projeto se torne viável.

Concluiu-se que a TOR permite identificar em quais cenários as decisões poderão ser tomadas, e que as usinas eólicas bem como o setor possuem muitas opções reais que precisam ser identificadas e precificadas, e o presente trabalho mostra formas de aproveitá-las.

O presente estudo limitou-se a análise de opções oferecidas pelo conjunto das quatro usinas, não examinando-as individualmente. Outra limitação foi o emprego do WACC da empresa proprietária das usinas.

Com o objetivo de fomentar a sequência do estudo desenvolvido nesta dissertação, sugere-se para futuros trabalhos a análise da destinação da venda de energia na modalidade de geração distribuída ao invés do mercado livre. Essa possibilidade da mudança da venda seria modelada como uma *switch option*.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MINARDI, Andrea Maria Accioly Fonseca. Teoria de Opções Aplicada a Projetos de Investimento. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- (2) TRIGEORGIS, Lenos. The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real option. *Journal of Finance and Quantitative Analysis*, p. 1-20, março 1993.
- (3) FREIRE, Wagner. Energia incentivada é o desafio para 2018. CanalEnergia, Rio de Janeiro, 22 dez 2017. Disponível em <https://www.canalenergia.com.br/especiais/53044931/energia-incentivada-e-desafio-para-o-acl-em-2018>>. Acesso em 26 maio 2018.
- (4) INFOVENTO. Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica). Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Dados-Mensais-ABEEolica-02.2018.pdf>>.
- (5) MYERS, Stewart. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Economics*, v. 5, p.147- 175, Novembro 1977.
- (6) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Rio de Janeiro, 2017.
- (7) BREALEY, Richard; MYERS, Stewart; ALLEN, Franklin. Brealey Myers and Allen on Real Options. *Journal of Applied Corporate Finance*, 2008, volume 20, n.4, outono 2008
- (8) COX, John; ROSS, Stephen; RUBISTEIN, Mark. Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7, p. 229-263, 1979.

7.0 DADOS BIOGRÁFICOS



Ricardo Matsukura Lindemeyer (*). Possui graduação em Administração pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009), MBA em Gestão de Negócios de Energia Elétrica pela Fundação Getúlio Vargas (2013) e mestrado em Economia pela Fundação Getúlio Vargas (2018). Possui extensão em regulação de energia pela Florence School of Regulation (2016). Com passagem pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), é empregado da Eletrosul Centrais Elétricas S.A. desde 2009, atualmente exerce a função de Gerente da Divisão

(*). Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 999, Pantanal, CEP: 88040-901, Florianópolis-SC – Brasil. Tel: (+55 48) 3953-8339 – E-mail: ricardo.lindemeyer@eletrosul.gov.br



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3375
GCR/09

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

de Contabilização e Medição de Energia. Tem experiência em finanças, regulação e comercialização de energia. Possui interesse em mercados de energia, finanças, economia e gestão de risco.

Ricardo Ratner Rochman. Possui graduação em Ciência da Computação pelo Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo (1989), mestrado em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas - FGV EAESP (1998), doutorado em Programme d'Etudes Individuelles (PEI) - Groupe Hec Hautes Etudes Commerciales (2001) e doutorado em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas - SP (2005). Atualmente é professor de carreira da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV EESP), coordenador do Mestrado Profissional em Economia, membro da American Finance Association e da European Finance Association, possui certificação ANBIMA CPA-20. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Administração Financeira, atuando principalmente nos seguintes temas: mercado de capitais, fundos investimentos, avaliação de empresas, finanças computacionais, e opções reais.