

**30 de setembro a 4 de outubro**  
Ponta Grossa - PR - Brasil

## **AValiação EX-POST DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS**

### **EX-POST ASSESSMENT OF INVESTMENT ANALYSIS METHODS**

#### **ÁREA TEMÁTICA: FINANÇAS**

Antônio Vinicius Silva Caldas, UFBA, Brasil, aulasdefinancas@gmail.com

Antônio Francisco de Almeida da Silva Júnior, UFBA, Brasil, afranc13@gmail.com

#### **Resumo**

Este estudo objetiva discutir a assertividade das técnicas de análise de investimento, bem como o grau de concordância entre as mesmas, com base em dados reais de projetos de energia de reserva ocorridos entre 2011 e 2015. Trata-se de um estudo quantitativo no qual foram utilizadas informações de 244 empreendimentos eólicos e fotovoltaicos contratados nos leilões da ANEEL. Utilizou-se a matriz de confusão para verificar a assertividade nas tomadas de decisões emanadas pelo valor presente líquido (VPL) e pela teoria das opções reais (TOR). O grau de concordância entre essas técnicas foi verificado por meio do Índice de Kappa. Concluiu-se que o VPL e a TOR são métodos complementares. O VPL é mais eficaz na previsão dos projetos rentáveis, enquanto a TOR é mais precisa na identificação dos não lucrativos. Constatou-se também que o grau de concordância entre as duas técnicas varia em uma escala entre regular e moderado.

**Palavras-Chave:** Projeto de Investimento; Valor presente Líquido; Teoria das opções reais; Matriz de confusão; Índice de Kappa.

#### **Abstract**

*This study aims at discussing the assertiveness of investment analysis techniques, as well as the degree of agreement between them, based on actual data from reserve energy projects between 2011 and 2015. This is a quantitative study in which information from 244 wind power and photovoltaic plant projects contracted by ANEEL auctions. The confusion matrix was used to verify the assertiveness in the decisions made by the net present value (NPV) and by the real options theory (ROT). The degree of agreement between these techniques was verified through the Kappa Index. It was concluded that NPV and ROT are complementary methods. NPV is more effective in predicting profitable projects, while ROT is more accurate in identifying non-profits. It was also found that the degree of agreement between the two techniques varies on a regular to moderate scale.*

**Keywords:** Investment project; Net Present Value; Real Options Theory; Confusion Matrix; Kappa Index.

## **1. INTRODUÇÃO**

Apesar do Brasil contar com uma diversidade de fontes renováveis, 64% de sua matriz energética é composta de usinas hidroelétricas, nas quais os riscos de falhas no suprimento de

energia são potencializados tanto pelos ciclos das chuvas quanto pela possibilidade de aumento na demanda (Nascimento, 2017; Silva & Ribeiro, 2016). Deste modo, é crescente a importância de se evitar a extrema dependência da água, diversificando o portfólio da geração de energia elétrica por meio de outras tecnológicas, a exemplo da fotovoltaica e da eólica (Cuervo & Botero, 2016). Uma forma de fomentar o desenvolvimento dessas fontes é por meio dos leilões de energia de reserva (LER's) promovidos pela Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL). Os LER's ocorrem em um ambiente regulado e os contratos oriundos desses leilões são caracterizados pelo longo prazo, ou seja, existe a garantia da compra da energia gerada por vinte anos (Carmo, Lima, Nunes, & Saad, 2018; Silva, Ribeiro, & Quintella, 2018; Torinelli, Silva, & Andrade, 2018).

Além do longo prazo no fluxo de caixa, Eissa e Tian (2017) apontam a complexidade dos investimentos e a elevada incerteza como características dos projetos de energias renováveis. A incerteza é mensurada distintamente pelas principais ferramentas de análise de investimento, ou seja, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Teoria das Opções Reais (TOR). O VPL utiliza os princípios do fluxo de caixa descontado, tendo o modelo de precificação de ativos de capital (CAPM) como instrumento para mensuração da incerteza. Entretanto, diversos autores, a exemplo de Abadie, Murieta e Galarraga (2017), afirmam que o CAPM não tem a capacidade efetiva de capturar a incerteza, além de não considerar a flexibilidade na tomada de decisão, ficando isso a encargo da TOR.

Na visão de Marshall (2015) e Bacelar, Barbosa, Vilela e Carmona (2018), a incerteza é totalmente incorporada na TOR por meio da volatilidade que, por ser uma medida absoluta do risco, abrange aspectos ignorados pelo CAPM, a exemplo da parcela não sistemática do risco. Ratificando essa assertiva, Pivorienê (2017) esclarece que na TOR uma incerteza mais elevada aumenta o valor da opção, o que pode corrigir uma decisão precipitada de considerar um projeto de investimento como tecnicamente inviável. No caso particular dos projetos de usinas contratados por meio dos LER's da ANEEL, o valor da opção está na possibilidade do empreendedor poder decidir se participará imediatamente de um determinado certame ou esperará por um momento mais oportuno, ou seja, exercerá a flexibilidade na tomada de decisão, sendo essa uma das condições indispensáveis para modelagem das opções reais.

Segundo dados da Aneel (2019), durante o interstício de 2011 a 2015, foram realizados cinco LER's que possibilitaram a contratação de duzentos e quarenta e quatro empreendimentos, sendo cento e cinquenta eólicos e noventa e quatro fotovoltaicos. De acordo com informações do Organizador Nacional do Sistema (ONS, 2019), considerando-se apenas o período supracitado, até janeiro de 2019, 34% dos projetos de usinas eólicas e 30,85% dos fotovoltaicos não foram capazes de entrar em operação comercial, ou seja, não geraram energia elétrica, o que os tornou inviáveis.

Diante do exposto, levantou-se a seguinte questão norteadora: quais os percentuais de assertividade do VPL e da TOR, no tocante à tomada de decisão de investimento nos projetos de usinas eólicas e fotovoltaicas contratados por meio dos leilões de energia de reserva da ANEEL ocorridos entre 2011 e 2015?

Este estudo objetiva precipuamente estimar, utilizando-se de uma matriz de confusão, os percentuais de assertividade do VPL e da TOR, no tocante à tomada de decisão de investimento nos projetos de usinas eólicas e fotovoltaicas contratadas por meio dos leilões de energia de reserva da ANEEL ocorridos entre 2011 e 2015. Secundariamente, este estudo pretende ainda verificar o grau de concordância nas tomadas de decisões entre o VPL e a TOR, usando como indicador o Índice de Kappa.

Neste sentido, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- Ao captar a incerteza com maior efetividade, a TOR é mais assertiva, em termos globais, do que o VPL em determinar a viabilidade de um investimento de energia renovável, seja eólico ou fotovoltaico;
- Como a volatilidade da TOR é a única variável que a diferencia do VPL, existe uma concordância substancial nas tomadas de decisões entre esses dois métodos de análise de investimento.

Vislumbra-se que este trabalho traz como contribuição teórica a possibilidade de mensurar, com efeito, as acurácias do VPL e da TOR em prognosticar a viabilidade de um projeto de investimento, frente a possibilidade de comparar os resultados reais alcançados pelos projetos de usinas com as predições das citadas técnicas de análise. Além disso, este trabalho contribui de forma empírica ao analisar os dados reais de diversos projetos de energia renovável e realizar uma avaliação ex-post dos mesmos. Os resultados encontrados poderão auxiliar os novos estudos na área de análise de investimento, tendo em vista que proporcionarão uma melhoria na tomada de decisão.

Além da presente introdução, este trabalho está dividido em quatro partes. A primeira traz o referencial teórico. A segunda apresenta os aspectos metodológicos. A terceira faz a análise e discussão dos dados. A quarta destina-se às conclusões e sugestões para estudos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O FCD é um método de análise de investimento cujo rigor técnico e conceitual o consagrou como o modelo de avaliação de projetos mais utilizado pelas empresas, por considerar que os fluxos de caixa operacionais sofrem a ação do valor do dinheiro no tempo. Essa ação é medida a partir de uma taxa mínima de atratividade (TMA) cujo objetivo é remunerar adequadamente às fontes de capitais, conforme os riscos aos quais as mesmas estejam sujeitas (Tubetov, 2013; Pivoriené, 2017).

Uma das principais ferramentas de análise do FCD é o VPL, que representa a riqueza gerada pelo projeto. No VPL, as entradas de caixa são trazidas ao momento presente através da TMA, formando o valor presente das entradas (VPE). Caso o VPE seja maior do que o investimento, ou seja, haja um VPL positivo, existe a viabilidade técnica do investimento (Manocha & Babovic, 2018). Assim, o VPL trata o projeto como uma decisão de agora ou nunca: uma vez que o investimento seja considerado tecnicamente inviável, o empreendedor não terá uma outra opção a não ser rejeitar o projeto (Gazheli & Bergh, 2018).

O problema com uma tomada de decisão de investimento baseada unicamente nas informações proporcionadas pelo VPL é a impossibilidade desse captar a flexibilidade gerencial, sendo essa entendida como a capacidade que o empreendedor tem de implementar uma decisão estratégica em resposta a uma incerteza, mesmo sem estar obrigado a fazê-lo, e de rever as atitudes do passado em decorrências das contingências, a fim de enfrentar ambientes altamente incertos. A ausência da flexibilidade leva o empreendedor a considerar muitos projetos como tecnicamente inviáveis, deixando de angariar recursos que poderiam maximizar a sua riqueza. O VPL também desconsidera o melhor momento para se efetivar o investimento, o que pode influenciar os lucros e as futuras oportunidades da empresa, bem como o processo de tomada de decisão. Acrescente-se ainda que, sob a ótica do VPL, a administração é passiva frente aos riscos e ao tempo, sendo essas consideradas variáveis constantes. Diferentemente do VPL, para a TOR a administração é ativa, pois reage quando tem mais informações sobre os riscos a serem enfrentados. Quanto mais elevados forem os investimentos e improváveis a possibilidade de

revertê-los, maiores são as utilidades das opções reais (Tubetov, 2013; Schwartz, 2013; Čulík, 2016; Choi, Kwak, & Yoo, 2016; Hernandez-Perdomo, Mun, & Rocco, 2017; Morreale, Robba, Nigro, & Roma, 2017; Gazheli, & Bergh, 2018).

A TOR tem total aplicabilidade na avaliação de vários tipos de projetos, tais como os energia elétrica devido às incertezas e riscos que os circundam. A partir da TOR, é possível os tomadores de decisão perceberem que existem outros valores que nascem do projeto, além das entradas de caixa, que são as opções oriundas da flexibilidade gerencial. O empreendedor passa assim a entender o investimento como o trinômio risco-retorno-flexibilidade (Lee, & Lee, 2015; Choi, Kwak, & Yoo, 2016; Schachter, & Mancarella, 2016).

Neste sentido, a TOR torna-se uma técnica de avaliação de investimento mais sofisticada e que complementa o VPL, ao possibilitar a flexibilidade ao empreendedor, ou seja, a opção que esse tem de não investir imediatamente em um projeto, mesmo diante da sua viabilidade técnica, e poder esperar até que aumente o seu aprendizado sobre o mercado ou até que esse apresente condições mais favoráveis, transformando a flexibilidade em um ganho econômico. Sob a ótica da TOR, ao investir imediatamente, o empreendedor destrói a opção de esperar e o investimento passa a ser irreversível, um *sunk cost*, devendo o custo dessa opção perdida ser incorporado no projeto. Assim, o aumento da incerteza torna mais valorosa a opção de esperar (Gazheli, & Bergh, 2018).

É oportuno destacar que o VPL está implícito na avaliação das opções reais, servindo de base para a sua valoração (Rocha, 2008). Essa assertiva é ratificada por Pivoriené (2017) ao afirmar que, com exceção da volatilidade, o VPL faz uso de todas as variáveis consideradas pelo modelo Black-Scholes. Logo, os resultados apresentados pelo VPL têm um grande impacto no valor de uma opção real (Tang, Zhou, Chen, Wang, & Cao, 2017).

Deste modo, quanto maiores forem as incertezas (taxas de juros e câmbio, alterações nos preços, condições do mercado, competição, etc.), mais flexibilidade o empreendedor deverá ter em suas tomadas de decisões. Assim, as opções reais transformam as incertezas e a flexibilidade em uma maximização de benefícios (Hernandez-Perdomo et al., 2017).

Čulík (2016, p. 11) apresenta cinco pré-requisitos para que as opções reais tenham aplicabilidade:

- A existência do risco;
- O risco determinar o valor do projeto;
- As opções reais serem passíveis de serem executadas;
- Existir racionalidade nas tomadas de decisões na execução das opções reais;
- Os tomadores de decisões terem flexibilidade.

Destaque-se ainda que é a flexibilidade que vai determinar o tipo de opção real que o empreendedor tem à sua disposição. No caso particular dos empreendedores que desejam participar dos LER's da ANEEL, a flexibilidade está na possibilidade de poder escolher entre concorrer em determinado certame ou esperar por um momento mais oportuno, ou seja, exercerá a flexibilidade na tomada de decisão, sendo essa uma das condições indispensáveis para modelagem das opções reais. Na visão de Čulík (2016), a flexibilidade é medida a partir de modelos aplicáveis na valoração de opções financeiras, a exemplo dos modelos Black-Scholes.

Criado em 1973 pelos economistas Fischer Black e Myron Scholes, o modelo Black-Scholes (BSM) tornou-se a metodologia mais utilizada para a valoração de opções e fomentou o desenvolvimento do mercado de derivativos (Del Giudice, Evangelista, & Palmaccio, 2015;

Morreale et al., 2017; Bacelar et al., 2018), ao considerar que elas estavam sendo incorretamente precificadas e que os passivos corporativos poderiam ser comparados a um portfólio de opções de compra do tipo europeia (Black, & Scholes, 1973). Para isso, Black e Scholes formaram um portfólio composto pelo ativo subjacente e por um livre de risco, cujo fluxo de caixa era semelhante ao da opção que estivesse sendo avaliada, e que poderia ser solucionado por meio de equações diferenciais parciais (Schwartz, 2013). A inclusão dos dividendos na formulação original do BSM foi efetivada por Merton (1973, p. 171), conforme equação 1:

$$C = S \times e^{-y \times t} \times N(d_1) - E \times e^{-r \times t} \times N(d_2) \quad (1)$$

As variáveis da equação (1), para as opções reais, podem ser assim entendidas:

- S é o valor presente do fluxo de caixa descontado a uma taxa adequada ao risco;
- y é o percentual anual de dividendos a serem pagos durante a vida útil do projeto;
- E é o valor do dispêndio de capital;
- r é a taxa livre de risco com capitalização contínua;
- t é o prazo de exercício da opção.

Black e Scholes (1973) salientam que N(d1) e N(d2) são funções das densidades normais cumulativas e que d1 e d2 podem ser calculados pelas seguintes expressões:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (3)$$

Mesmo com a complexidade matemática e a quantidade de parâmetros que são necessários na resolução dos modelos, a TOR tem sido aplicada na valoração de investimentos desde os trabalhos seminais de Kogut (1983) e Brennan e Schwartz (1985), se tornando um dos temas mais pesquisados na última década por ajudar os empreendedores a tomar melhores decisões (Damaraju, Barney, & Makhija, 2015). Destaque-se ainda as aplicações da TOR na análise de projetos de geração de energia renovável, a exemplo da eólica e da fotovoltaica (Ochoa, Betancur, & Múnera, 2012).

### 3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho exploratório utiliza o método quantitativo de análise ao validar estatisticamente, por meio de uma matriz de confusão, a assertividade do VPL e da TOR na identificação da viabilidade de projetos de investimento (Dagdelenler, Nefeslioglu, & Gokceoglu, 2016; Silva, 2018).

Comumente utilizada no aprendizado de máquina, a matriz de confusão é um avaliador da qualidade de predição de um modelo frente à mensuração de dados reais. Esses últimos ficam dispostos nas linhas de uma matriz quadrada, enquanto as previsões do modelo são alocadas nas colunas (Caelen, 2017).

A figura 1 traz uma representação gráfica de uma matriz de confusão.

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

**Figura 1** – Matriz de confusão (Fonte: Nicolas 2017, p. 72)

De acordo com Nicolas (2017), considerando-se um evento X qualquer, os verdadeiros positivos (TP) ocorrem quando o modelo consegue classificar corretamente a ocorrência de um evento X nas situações em que ele verdadeiramente aconteceu. Os verdadeiros negativos (TN) são as classificações corretas do modelo no tocante à inexistência do evento X, nos casos em que ele efetivamente não aconteceu. Os falsos positivos (FP) ocorrem quando o modelo faz uma classificação e, equivocadamente, atesta a ocorrência do evento X, quando ele não existiu na realidade. Por fim, os falsos negativos (FN) ocorrem quando o modelo prediz erroneamente a inexistência do evento X, quando ele de fato ocorreu.

Segundo Gollapudi (2016), a partir dos componentes da matriz de confusão, é possível calcular os seguintes indicadores de assertividade de um modelo:

$$\text{Acurácia} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

$$\text{Sensibilidade} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

$$\text{Especificidade} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (6)$$

Pode-se entender a acurácia como a assertividade global do modelo e a sensibilidade como a capacidade que ele tem de classificar corretamente a ocorrência de um evento X, enquanto a especificidade é a predição correta que ele realiza da não ocorrência do evento X (Caelen, 2017).

Quanto à coleta de dados, este estudo fez uso de fontes secundárias oriundas de uma pesquisa documental, conforme ensinam Lakatos e Marconi (2010). Os resultados dos LER's da ANEEL são considerados de uso público e estão disponíveis no site <http://www.aneel.gov.br/leiloes>, onde foram identificados os projetos vencedores dos certames ocorridos entre 2011 e 2015, além dos valores dos investimentos, dos MWh e dos preços regulados para cálculo do VPE. Foi considerado que a equação utilizada para gerar as receitas de cada projeto seguia um movimento browniano, e que houve um gasto de 0,5% com manutenção, conforme indicado por Ribeiro e Silva (2016).

Durante a modelagem do fluxo de caixa livre, algumas premissas foram assumidas para o VPL. Esse foi calculado tradicionalmente, trazendo todo fluxo de caixa livre futuro para o presente através de uma taxa de desconto equivalente ao custo de capital próprio. Essa assumiu o percentual determinado pela Resolução Normativa n. 608 (ANEEL, 2014), ou seja, 12,34% a.a., sendo considerado o mesmo para todos os projetos. Com relação aos preços contratados em cada projeto, seguiu-se a determinação da Resolução Normativa n. 780 (ANEEL, 2017), ou seja, a sua atualização pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), durante 20 anos.

Esses preços foram multiplicados pela produção anual, sendo essa diminuída anualmente pelas perdas de energia de 2,5% (Lindemeyer, 2018). As receitas ainda foram reduzidas pelo custo de manutenção de 0,5% e pelas despesas financeiras, conforme indicado por Silva e Ribeiro (2016). Vale ressaltar que a ANEEL (2012) considera que todos os projetos têm 50% de nível de endividamento e que os passivos onerosos são submetidos à mesma taxa de juros, ou seja, 9,81% a.a.

Para cada projeto, as volatilidades das opções reais foram calculadas usando o método de abordagem de incerteza proposto por Copeland e Antikarov (2001). Este método apresenta uma medida muito satisfatória de volatilidade e pode ser aplicável a qualquer tipo de investimento (Kim, Park & Kim, 2017, Haahtela, 2014).

Copeland e Antikarov (2001) sugerem que as seguintes etapas devem ser adotadas para o cálculo da volatilidade da TOR: a) considerar um valor presente no tempo zero ( $PV_0$  - o mesmo encontrado no cálculo do VPL); b) prosseguir com uma simulação de Monte Carlo; c) estimar o valor presente no tempo um ( $PV_1$ ) para cada simulação; d) dividindo cada  $PV_1$  por  $PV_0$ . d) estimar a volatilidade considerando-a igual ao desvio padrão do passo em “d”.

Na simulação de Monte Carlo, foram criados 10.000 cenários, considerando os desvios determinados pela Portaria n. 236 (ANEEL, 2014). Esses cenários ainda consideram as perdas de energia, custos de manutenção e despesas financeiras, conforme indicado anteriormente. Além disso, as variações da fonte (velocidade do vento) foram incluídas nas simulações. Amarante, Brower, Zack e Sá (2012) defendem considerar uma velocidade média do vento de 14,25% ao ano.

As decisões de investimento emanadas individualmente pelo VPL (investir ou não) e pela TOR (investir ou esperar) foram confrontadas com as efetivas entradas em operação comercial das usinas eólicas e fotovoltaicas, de acordo com relatórios de acompanhamentos da ANEEL, considerando como viáveis aquelas que entraram em atividade comercial até janeiro de 2019. As decisões de cada método foram consideradas como valores previstos e a efetiva entrada em operação comercial, valores observados.

Na visão de MAST (2007), o Índice K é utilizado quando se deseja medir a probabilidade de concordância entre dois modelos que se propõem a avaliar um mesmo evento X. As formulações para o cálculo do índice são fornecidas por Cohen (1960, p. 42).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad (7)$$

- Po é a probabilidade real (observado) em que os dois métodos concordam sobre o evento X;
- Pe é a probabilidade esperada de concordância entre os métodos sobre o evento X.

De acordo com o valor de K, pode-se inferir o nível de concordância entre os dois métodos de análise distintos, conforme tabela 1.

VALOR DO K	NÍVEL DE CONCORDÂNCIA
< 0	Nenhum
0 - 0,20	Fraca
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Substancial
0,81 - 1,00	Quase perfeita

**Tabela 1** – Interpretação do Índice K (Fonte: Adaptado de Fernandes, 2019, p. 5)

Os cálculos da matriz de confusão e dos Índices Kappa (K) foram realizados por meio do software Stata 16.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela 2 apresenta o resumo das decisões de investimento (valores previstos) nos projetos de usinas eólicas, com base nas sugestões do VPL e da TOR.

DECISÃO	MÉTODO	
	VPL	TOR
Investe	105	49
Não Investe	45	101
Total	150	150

**Tabela 2** – Resumo dos métodos para os projetos de usinas eólicas

A partir da análise da tabela 2, observa-se que os métodos de análise de investimento adotaram posturas quase que diametralmente opostas com relação às tomadas de decisões nas usinas eólicas. Deste modo, percebe-se uma atitude mais conservadora por parte da TOR, segundo a qual em 67,33% das situações o empreendedor geraria mais valor se esperasse pelo próximo LER ao invés de investir imediatamente, ao passo que o VPL apresentou uma atitude mais agressiva ao sugerir que 70% das usinas seriam tecnicamente viáveis. A tabela 3 apresenta a análise dos projetos de usinas fotovoltaicas feitas pelo VPL e pela TOR.



DECISÃO	MÉTODO	
	VPL	TOR
Investe	83	65
Não Investe	11	29
Total	94	94

**Tabela 3** – Resumo dos métodos para os projetos de usinas fotovoltaicas

Ao se analisar a tabela 3, ratifica-se a postura mais conservadora da TOR com relação ao VPL, posto que ela foi capaz de predizer 69,15% dos projetos como viáveis de investimento imediato, ao passo que o VPL sugeriu como tecnicamente geradoras de valor 88,30% das usinas fotovoltaicas.

Entretanto, as tabelas 2 e 3 não apontam o grau de assertividade dos métodos de análise de investimento. Para tanto, faz-se necessário confrontá-las com os quantitativos reais (valores observados) das usinas eólicas e fotovoltaicas que entraram em operação comercial até janeiro de 2019, conforme tabelas 4 e 5.

SITUAÇÃO	TOTAL	PERCENTUAL
Gerou energia	99	66.00%
Não gerou energia	51	34.00%

**Tabela 4** – Situação real dos empreendimentos eólicos

SITUAÇÃO	TOTAL	PERCENTUAL
Gerou energia	65	69.15%
Não gerou energia	29	30.85%

**Tabela 5** – Situação real dos empreendimentos fotovoltaicos

A comparação das tabelas 2 e 4 é feita a partir de matrizes de confusão (tabelas 6 e 7), a fim de verificar quais os projetos que foram classificados corretamente como viáveis ou inviáveis pelos métodos.

PREVISTO/OBSERVADO	INVESTE	NÃO INVESTE	FP
Investe	83	22	22
Não Investe	16	29	16
FN	16	22	38

**Tabela 6** – Matriz de confusão VPL projetos eólicos

A partir da tabela 6, pode ser visto que o VPL foi capaz identificar corretamente 83 projetos como viáveis (geraram energia) e 29 como inviáveis (não geraram energia), que são os verdadeiros positivos (TP) e verdadeiros negativos (TN), respectivamente. Entretanto, o método classificou erroneamente 22 projetos como viáveis (falso positivo – FP) e 16 como inviáveis (falso negativo – FN).

PREVISTO/OBSERVADO	INVESTE	NÃO INVESTE	FP
Investe	43	6	6
Não Investe	56	45	56
FN	56	6	62

**Tabela 7** – Matriz de confusão TOR projetos eólicos

A partir da tabela 7, pode ser visto que a TOR foi capaz identificar corretamente apenas 43 projetos viáveis corretamente. Entretanto, houve uma superioridade com relação ao VPL no tocante aos TN's, tendo em vista que foram identificados corretamente 45 projetos como inviáveis. A TOR classificou erroneamente 6 como viáveis e 56 como inviáveis.

Por meio das equações (4), (5) e (6), o Stata 15.1 retornou as acurácias, as sensibilidades e as especificidades do VPL e da TOR com relação às usinas eólicas, conforme tabela 8.

MÉTODO	ACURÁCIA	SENSIBILIDADE	ESPECIFICIDADE
VPL	74.67%	83.84%	56.86%
TOR	58.67%	43.43%	88.24%

**Tabela 8** – Assertividade dos métodos para as usinas eólicas

Com base na tabela 8, observa-se que nos projetos eólicos houve uma maior acurácia do VPL, pois classificou corretamente, em termos globais, 74,67% dos empreendimentos. O citado método também foi superior na sensibilidade, ou seja, em 83,84% dos casos, foi mais assertivo em prognosticar um projeto viável como verdadeiramente viável. Entretanto, a TOR foi mais precisa em identificar um projeto inviável como verdadeiramente inviável, com 88,24% dos casos classificados corretamente. Com relação aos projetos fotovoltaicos, comparando-se as tabelas 3 e 5, tem-se as matrizes de confusão dispostas nas tabelas 9 e 10.

PREVISÃO/OBSERVADO	INVESTE	NÃO INVESTE	FP
investe	65	18	18
Não Investe	0	11	0
FN	0	18	18

**Tabela 9** – Matriz de confusão VPL projetos fotovoltaicos

PREVISÃO/OBSERVADO	INVESTE	NÃO INVESTE	FP
Investe	57	8	8
Não Investe	8	21	8
FN	8	8	16

**Tabela 10** – Matriz de confusão TOR projetos fotovoltaicos

Confrontando-se as tabelas 9 e 10, é possível verificar que o VPL foi superior na classificação correta dos TP's e a TOR, nos TN's. Logo, pode-se afirmar que o VPL foi mais eficaz na identificação correta dos projetos viáveis, ao passo que a TOR foi superior na identificação dos inviáveis. Essa afirmativa é ratificada no cálculo das assertividades dos modelos para as usinas fotovoltaicas, conforme tabela 11.

MÉTODO	ACURÁCIA	SENSIBILIDADE	ESPECIFICIDADE
VPL	80.85%	100.00%	37.93%
TOR	82.98%	87.69%	72.41%

**Tabela 11** – Assertividade dos métodos para as usinas fotovoltaicas

Diferentemente do concluído nas usinas eólicas quanto à acuraria dos métodos (VPL superior à TOR), a tabela 11 apresenta uma sutil superioridade global da TOR na identificação correta dos projetos, 82,98% frente aos 80,85% do VPL. Entretanto, isso não sustenta a primeira hipótese levantada por este estudo quanto à existência de uma maior assertividade global da TOR em determinar a viabilidade de um investimento. Com efeito, não se pode considerar nenhum dos dois métodos como superior em termos de acurácia.

Todavia, ratificou-se o percebido na tabela 8, quanto às prevalências do VPL na identificação dos empreendimentos viáveis, ao passo que a TOR é mais efetiva no trato dos projetos inviáveis, tendo em vista que apresentaram, respectivamente, uma sensibilidade de 100% e uma especificidade de 72,41%, para as usinas fotovoltaicas.

A fim de se testar a segunda hipótese levantada por este trabalho, ou seja, a existência de uma concordância substancial nas tomadas de decisões entre o VPL e a TOR, foi calculado o Índice Kappa (K), fórmula (7), por meio do software Stata 15.1. A figura 2 e 3 apresentam os resultados retornados para as usinas eólicas e fotovoltaicas.

Agreement	Expected Agreement	Kappa	Std. Err.	Z	Prob>Z
62.67%	43.07%	0.3443	0.0616	5.58	0.0000

**Figura 2** – Nível de concordância entre o VPL e a TOR para as usinas eólicas (Fonte: Elaboração própria)

Agreement	Expected Agreement	Kappa	Std. Err.	Z	Prob>Z
80.85%	64.67%	0.4580	0.0867	5.28	0.0000

**Figura 3** – Nível de concordância entre o VPL e a TOR para as usinas fotovoltaicas (Fonte: Elaboração própria)

Os Índices Kappa apresentados nas figuras 2 e 3 indicam que o nível de concordância entre o VPL e a TOR varia de razoável a moderado. Isso pode ser explicado, possivelmente, porque os métodos VPL e TOR têm focos diferentes. O primeiro foca nos projetos viáveis, enquanto o segundo, nos inviáveis. Deste modo, fica refutada a segunda hipótese levantada por este estudo quanto à existência de uma concordância substancial nas tomadas de decisões entre o VPL e a TOR.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo realizou o teste de duas hipóteses por meio do uso de matrizes de confusão e do Índice de Kappa. A primeira afirmava que por conseguir captar a incerteza com maior efetividade, a TOR seria mais assertiva, em termos globais, do que o VPL em determinar a viabilidade de um investimento de energia renovável, seja eólico ou fotovoltaico. A segunda defendia que por ser a volatilidade da TOR a única variável que a diferenciava do VPL, existiria uma concordância substancial nas tomadas de decisões entre esses dois métodos de análise de investimento.

Ambas hipóteses foram refutadas por este estudo. Deste modo, pode-se afirmar que não existe uma maior assertividade por parte da TOR com relação ao VPL em determinar a viabilidade de um investimento. Com efeito, o que parece haver é uma complementariedade entre esses dois métodos, o que ratifica os trabalhos de Bayer (2017) e de Gazheli e Bergh (2018). Com relação à segunda hipótese, o Índice Kappa variou na escala entre razoável e moderado, ficando aquém do valor mínimo para haver uma concordância substancial entre o VPL e a TOR. Isso pode ter ocorrido devido aos focos diferentes que os métodos possuem e por haver uma postura mais conservadora da TOR frente ao VPL, ratificando os resultados encontrados em Ramoska (2017).

Entende-se que a maior contribuição deste estudo foi ter identificado a diferença basilar entre o VPL e a TOR, em termos de tomada de decisão: o VPL é mais sensível no reconhecimento dos projetos viáveis, enquanto a TOR tem uma maior capacidade de identificar a inviabilidade dos mesmos.

Para futuros estudos, recomenda-se avaliar estratégias que permitam explorar as potencialidades dos dois métodos, utilizando uma análise combinada de modelos.

## REFERÊNCIAS

Abadie, L. M., Murieta, E. S., & Galarraga, I. (2017). Investing in adaptation: Flood risk and real option application to Bilbao. *Environmental Modelling & Software*, 95, 76-89.

- Agência Nacional de Energia Elétrica (2014). Resolução Normativa nº 608, de 25 de março de 2014. Recuperado de <http://www2.aneel.gov.br>.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2017). Resolução Normativa nº 780, de 25 de julho de 2017. Recuperado de <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes>.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2019). Informações do setor elétrico. Recuperado de <http://www.aneel.gov.br>.
- Alves, M. (2013). Como escrever teses e monografias: um roteiro passo a passo (Vol. 2). Elsevier Brasil.
- Amarante, O. A. C., Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. (2012). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil).
- Assaf, A., Neto. (2019) Dividendos distribuídos no Brasil e no setor de energia elétrica. Recuperado de <https://www.institutoassaf.com.br>.
- Bacelar, T. S., Barbosa, E.M.S., Vilela, O.C., & Carmona, C.U. (2018). Teoria das opções reais (TOR) na avaliação de investimentos em projetos de energia renováveis. Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBES. Gramado, RS, Brasil, 8..
- Bayer, G. O. (2017). Using Real Options to Quantify Portfolio Value in Business Cases. Professional Development..
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of political economy*, 81(3), 637-654.
- Brennan, M. J., & Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investments. *Journal of business*, 58(2), 135.
- Caelen, O. (2017). A Bayesian interpretation of the confusion matrix. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 81(3-4), 429-450.
- Carmo, C. R. S., Lima, A. D., Nunes, J. G. S., & Saad, A. L. M. (2018). An analysis of the electric power public sale profile done in regulated hiring environment from 2005 to 2016. *RAGC*, 6(23).
- Choi, H. Y., Kwak, S. J., & Yoo, S. H. (2016). Using Real Options Pricing to Value Public R&D Investment in the Deep Seabed Manganese Nodule Project. *Asian Journal of Innovation & Policy*, 5(2).
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46.
- Copeland, T., & Antikarov, V. (2001). *Real options*. New York: Texere.
- Cuervo, F. I., & Botero, S. B. (2016). Wind power reliability valuation in a Hydro-Dominated power market: The Colombian case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1359-1372.
- Čulík, M. (2016). Real options valuation with changing volatility. *Perspectives in Science*, 7, 10-18.
- Dagdelenler, G., Nefeslioglu, H. A., & Gokceoglu, C. (2016). Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(2), 575-590.
- Damaraju, N. L., Barney, J. B., & Makhija, A. K. (2015). Real options in divestment alternatives. *Strategic Management Journal*, 36(5), 728-744.
- Del Giudice, M., Evangelista, F., & Palmaccio, M. (2015). Defining the Black and Scholes approach: a first systematic literature review. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 5(1), 5.
- Eissa, M., & Tian, B. (2017). Lobatto-Milstein numerical method in application of uncertainty investment of solar power projects. *Energies*, 10(1), 43.

- Fernandes, R. D. C. P., Cunha, L. P., Lima, V. M. C., & Santos, K. O. B. (2019). Measuring work-related physical demand: factorial structure and reliability of items on posture, handling of loads and repetitiveness. *Cadernos de Saúde Pública*, 35(1).
- Gazheli, A., & Bergh, J. Van Den (2018). Real options analysis of investment in solar vs. wind energy: Diversification strategies under uncertain prices and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2693-2704.
- Gollapudi, S. (2016). *Practical machine learning*. Packt Publishing Ltd.
- Haahtela, T. (2014). Simulation methods in real option valuation. In *Society 40 th Anniversary Workshop–FORS40* (p. 58).
- Hernandez-Perdomo, E. A., & Mun, J. (2017). Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. *Applied energy*, 195, 487-502.
- Kim, K., Park, H., & Kim, H. (2017). Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 918-926.
- Kogut, B. (1983). Foreign direct investment as a sequential process. *The multinational corporation in the 1980s*, 38-56.
- Lakatos, E. M., & MARCONI, M. (2010). de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica: Técnicas de pesquisa*, 7.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Lindemeyer, R. M. (2018). *Aplicação da teoria de opções reais na avaliação de um complexo eólico*. (Dissertação Mestrado em Economia). Escola de Economia de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas, São Paulo. Recuperado de <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/24787>
- Manocha, N., & Babovic, V. (2018). Sequencing infrastructure investments under deep uncertainty using real options analysis. *Water*, 10(2), 229.
- Marshall, C. M. (2015). Isolating the systematic and unsystematic components of a single stock's (or portfolio's) standard deviation. *Applied Economics*, 47(1), 1-11.
- Mast, J. (2007). Agreement and kappa-type indices. *The American Statistician*, 61(2), 148-153.
- Merton, R. C. (1971, set). Theory of rational option pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 1(4), 141-183.
- Morreale, A., Robba, S., Nigro, G. L., & Roma, P. (2017). A real options game of alliance timing decisions in biopharmaceutical research and development. *European Journal of Operational Research*, 261(3), 1189-1202.
- Nascimento, R. L. (2017). *Energia solar no Brasil: situação e perspectivas*. Camara dos Deputados. Brasil., Tech. Rep.
- Nicolas, P. R. (2017). *Scala for machine learning: data processing, ML algorithms, smart analytics, and more*. Packt Publishing Ltd.
- Ochoa, C. M., Betancur, J. D. H., & Múnera, Ó. M. G. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. *Cuadernos de Administración*, 25(44).
- Organizador Nacional do Sistema. (2019). *Boletim mensal de geração de energia*. Recuperado de <https://www.ons.gov.br>.

- Pereira, E. B., Martins, F. R., ABREU, S. L. & RUTHER, R. (2006) Atlas Brasileiro de Energia Solar. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- Pivorienè, A. (2017). Real options and discounted cash flow analysis to assess strategic investment projects. *Economics and Business*, 30(1), 91-101.
- Ramoska, D. (2017) Valuation of Biotechnology Company Based on Real Options Approach. (Dissertation Master's Degree in Economics and Business). Erasmus School of Business, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2017. Recuperado de: <https://thesis.eur.nl>.
- Rocha, A. B.S. (2008). O dilema do prisioneiro e a ineficiência do método das opções reais. *Revista de Administração Contemporânea*, 12(2), 507-531.
- Ribeiro, S.S., & Silva, A.F.A., Jr. (2016). Avaliação de Políticas Promovidas pela ANEEL para Incentivo da Geração de Energia Elétrica por Fonte Solar. *Anais do Encontro da Associação dos Programas de pós-Graduação em Administração – ENANPAD*. Costa do Sauípe, BA, Brasil, 16.
- Schachter, J. A., & Mancarella, P. (2016). A critical review of Real Options thinking for valuing investment flexibility in Smart Grids and low carbon energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 261-271.
- Schwartz, E. (2013). The real options approach to valuation: Challenges and opportunities. *Latin American journal of economics*, 50(2), 163-177.
- Silva, A.F.A., Jr., & Ribeiro, S. S. (2016). Avaliação de Leilões de Energia Solar Utilizando Opções Reais. *Anais do Congresso Brasileiro de Planejamento Estratégico - CBPE*. Gramado, RS, Brasil, 10.
- Silva, A.F.A., Jr., Ribeiro, S. S., & Quintella, V. M. (2018, junho). Evaluation of Brazilian Auctions for Photovoltaic Projects Using Traditional and Real Option Approaches. *SSRN Electronic Journal*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/323704278>.
- Silva, G. P. (2018). *Desenho de Pesquisa*. ENAP.
- Tang, B. J., Zhou, H. L., Chen, H., Wang, K., & Cao, H. (2017). Investment opportunity in China's overseas oil project: An empirical analysis based on real option approach. *Energy Policy*, 105, 17-26.
- Torinelli, V. H., Silva, A.F.A., Jr., & Andrade, J. C. S. (2018). Wind power energy in Brazil: public financing and future perspectives. *Latin American Journal of Management for Sustainable Development*, 4(1), 41-54.
- Tubetov, D. (2013) Investment behavior in agriculture-an analysis of the explanatory potential of the real options approach.(Thesis PhD Degree's in Agricultural Sciences) Faculty of Agricultural Sciences, Georg-August-University Göttingen, Germany.