

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETO DE INVESTIMENTO EM USINA TERMELÉTRICA A PARTIR DE COCO DA BAÍA: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Luís Oscar Silva Martins¹

Marcelo Santana Silva²

Fábio Matos Fernandes^{3 4}

Roberto Antônio Fortuna Carneiro⁴

Ednildo Andrade Torres⁴

Francisco Gaudêncio Mendonça Freires⁴

¹*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia*

²*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia*

³*Universidade Estadual da Bahia*

⁴*Universidade Federal da Bahia*

DOI: 10.47168/rbe.v26i3.570

Recebido em: 10.07.2020

Aceito em: 18.08.2020

RESUMO

A geração de energia é um fator estratégico para promoção do crescimento e desenvolvimento econômico. Dentre as fontes de biomassa disponíveis no Brasil, destaca-se a casca de coco da baía. O coqueiro é uma planta de grande importância socioeconômica para o país. Além de produzir alimentos, a cadeia produtiva dessa cultura gera ampla quantidade de resíduos, entre eles a casca, que se descartada de modo incorreto contribui para disseminação de doenças, procriação de animais peçonhentos e poluição do meio ambiente. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo realizar a avaliação econômica e financeira de um empreendimento de uma usina de geração de energia elétrica a partir de casca de coco da baía, utilizando estratégias com e sem flexibilidades financeiras. Para a estratégia sem flexibilidade foi utilizada a metodologia do Fluxo de Caixa Livre. Já para as estratégias flexíveis e com presença de incerteza, foi adotada a metodologia das Opções Reais, incorporando incertezas inerentes ao mercado, com opção inclusive de comercializar parte de sua produção na forma de briquetes. Os resultados demonstraram que a estratégia mais viável foi a de comercialização da eletricidade no mercado através de um modelo híbrido 75/25, sendo 25% no mercado de curto prazo. Todavia a opção da comercialização da eletricidade no curto prazo ou através de briquetes se mostraram também como uma estratégia interessante de investimento.

Palavras-chave: Avaliação econômica e financeira, Biomassa, Eletricidade, Coco da baía, Opções reais.

ABSTRACT

Power generation is a strategic issue for promoting economic growth and development. Among the biomass sources available in Brazil, the shell of coconut bay stands out. The coconut tree is a plant of great socioeconomic importance for the country. In addition to producing food, the production chain of this crop generates a large amount of waste, including the bark, which if discarded incorrectly contributes to the spread of diseases, the breeding of venomous animals, and environmental pollution. In view of the above, this study aimed to carry out the economic and financial evaluation of a power plant based on coconut shell, using strategies with and without financial flexibilities. For the strategy without flexibility, the Free Cash Flow methodology was used. For flexible strategies with presence of uncertainty, the Real Options methodology was adopted, incorporating uncertainties inherent to the market, including the option of selling part of its production in the form of briquettes. The results showed that the most viable strategy was to commercialize electricity through a 75/25 hybrid model, being 25% in the short-term market. However, the option of commercializing electricity in the short term or through briquettes also proved to be an interesting investment strategy.

Keywords: Economic and Financial Assessment, Biomass, Electricity, Coconut Bay, Real Options

1. INTRODUÇÃO

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2018) demonstra que as necessidades energéticas globais crescerão 30% até 2040, especialmente devido a três fatores: a) crescimento do Produto Interno Mundial (PIB) em 125% (média de 3,4% ao ano); b) aumento da população dos atuais 7,4 bilhões para 9 bilhões de habitantes; c) expansão acelerada do processo de urbanização.

No que tange à energia elétrica, esses fatores tendem a aumentar a demanda mundial em 60% (IEA, 2018). Essa situação torna-se mais complexa uma vez que, nesse período (2018-2040), apesar das estimativas confirmarem que o peso das fontes não renováveis irá diminuir na matriz energética mundial, o carvão ainda crescerá 400 GW, o gás natural ampliará sua participação em 45%, e a utilização do petróleo, puxada pela indústria petroquímica e o setor de transportes ainda será uma realidade. Devido a esse cenário, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas ao setor energético poderão

dobrar até 2040 (REN21, 2019).

O Brasil, que, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), possui uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta, com 40,5% da produção de energia primária proveniente de fontes renováveis, instituiu a partir de 2004 o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFRA), com o objetivo de ampliar a participação de projetos de geração de energia elétrica produzida por empreendimentos que utilizem fontes eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH).

Dentre as fontes de biomassa disponíveis no Brasil, destaca-se a casca de coco da baía. O coqueiro é uma planta de grande importância socioeconômica para o país. Além de servir como alimento, sua cadeia produtiva gera ampla quantidade de resíduos, entre eles a casca, que se descartada de modo incorreto contribui para disseminação de doenças, procriação de animais peçonhentos e poluição do meio ambiente (MARCELINO; DE MELO; TORRES, 2017). O Atlas de Bioenergia do Brasil (2012) estimou que o peso médio de cada fruto seria de 500 gramas, sendo que a casca representaria 57%. A Região Nordeste do Brasil, especialmente o estado da Bahia, se destaca na produção da cultura. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o estado produziu 344.782 toneladas do fruto, produção que, segundo Martins et al. (2019), tem potencial de geração de 7,15 MW.

Dessa forma, o objetivo geral dessa pesquisa foi analisar a viabilidade econômica de uma usina termelétrica à casca de coco da baía em condições de incerteza do preço da energia, considerando, ainda, que ela tenha flexibilidade de comercializar energia elétrica integral ou parcialmente nos mercados de longo e curto prazo. O modelo considerou também a possibilidade da usina produzir briquetes, dando condições do empreendimento comercializar eletricidade no mercado de curto prazo, ou vender o produto (briquetes).

Para isso, a metodologia adotada foi a teoria das opções reais, que é cada vez mais utilizada em estudos que ambicionam estimar a viabilidade econômica de projetos em condições de volatilidade, quando os métodos tradicionais de análise de investimentos, como por exemplo, o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), possuem limitações (DALBEM; BRANDÃO; GOMES, 2014).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: após a introdução, foi analisado o uso da biomassa para geração de energia elétrica e, em particular, as características da casca do coco. Em seguida, na seção três foi apresentada a modelagem utilizada para simulação do Preço da Liquidação das Diferenças (PLD), que indica o preço de entrega da energia no curto prazo. Na seção quatro foram expostos os cenários de operação da usina, na seção cinco os resulta-

dos fora discutidos, e, por fim a seção seis, apresenta as considerações finais do trabalho, limitações da pesquisa e sugestão de projetos futuros.

2. USO DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A biomassa é toda matéria biológica derivada de organismos vivos ou recentemente vivos. Do ponto de vista energético, a biomassa é toda a matéria orgânica de origem animal ou vegetal (principalmente) que pode ser utilizada na produção de energia (MAPELLI; MUNGWE, 2013; FONTOURA; BRANDÃO; GOMES, 2015; SILVA et al., 2015). Esta matéria é produzida por animais ou vegetais que caracterizam a fonte da biomassa, tais como as florestas (madeira), cana-de-açúcar, dentre outras.

A pouco mais de 100 anos a biomassa começou a perder seu protagonismo como principal fonte mundial de energia. Primeiramente para o carvão no final do século XIX, e posteriormente para o petróleo no início do século XX. No entanto, nos dias atuais, em maior ou menor intensidade parte significativa dos países estão investindo e promovendo ações para que as energias alternativas, em especial a biomassa, tenham participação significativa em suas matrizes energéticas (LUDERER et al., 2014; DAIOGLOU et al., 2017, 2019).

No Brasil, o setor de bioenergia possui grande relevância, gerando mais de 783 mil empregos diretos e indiretos (REN21, 2019), a maioria deles relacionada à produção de etanol e biodiesel. Em relação à bioeletricidade, atualmente existem no Brasil 566 usinas termelétricas a biomassa em operação, somando uma capacidade instalada de 14.782 MW, o que representa 8,6% da potência elétrica instalada no país (ANEEL, 2020).

As geradoras de eletricidade a partir da biomassa em sua grande maioria são usinas termelétricas agroindustriais, utilizando bagaço de cana-de-açúcar como combustível (407 usinas, totalizando 11.347 GW instalados). Destaque também pode ser dado para a utilização de florestas energéticas e especialmente o aproveitamento de resíduos florestais (58 usinas, 434 MW instalados) e do licor negro (subproduto da indústria de celulose, com 18 geradoras, somando 2.543 MW) (ANEEL, 2020).

Ainda com algum destaque, pode-se citar o aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários (21 usinas, com 138 MW instalados), o uso de casca de arroz (13 usinas, com 53 MW instalados) e a queima de capim elefante (duas usinas em operação, somando 32 MW instalados). O uso de outros resíduos agroindustriais, tais como casca de coco da baía, não possui registro na ANEEL, mas pode

ser interessante localmente, especialmente para a autoprodução de eletricidade.

2.1 Coco da baía

O Brasil não possui empreendimentos voltados à geração de eletricidade a partir de casca de coco da baía. De acordo com diversos estudos (DASAPPA et al., 2003; SIVAKUMAR; NATARAJAN, 2007; CARMO, 2013; SUZUKI et al., 2017), a explicação para que não haja investimentos em projetos de geração de eletricidade a partir da casca do coco é sua umidade, que varia entre 80% e 85%. Em uma termoeleétrica, nos moldes das usinas que utilizam o bagaço de cana ou capim elefante como combustível, é aceitável nível de umidade entre 40% e 50% (EMBRAPA, 2016).

Apesar dessa constatação, o Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca de coco está acima de 3.400 kcal/kg (CARMO, 2013; MONIR et al., 2018), o que é atrativo para a geração de energia elétrica.

A pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM), do IBGE (2018), informa a quantidade em milhares de frutos, sendo portanto necessário estabelecer um peso médio para cada fruto. O valor estabelecido foi selecionado conforme Atlas de Bioenergia do Brasil (2012), igual a 0,5 kg. No entanto, é necessário considerar apenas a casca do fruto como resíduo agrícola aproveitável para geração de bioeletricidade. De acordo com Marcelino, Melo e Torres (2017), a casca representa em média 57% do fruto. O PCI considerado foi de 3.413,10 kcal/kg (MONIR et al., 2018). Assim, o cálculo foi feito segundo a Equação 2.1, a seguir. Os parâmetros de eficiência, utilização e conversão foram os obtidos do Atlas de Bioenergia do Brasil de 2012 (COELHO; MONTEIRO; KARNIOL, 2012) e de Coelho et al. (2017), ou seja, 15% de eficiência.

$$MW/\text{ano} = \frac{\{[(\text{mil frutos} * 500\text{g}) / (1000) * 0,57] * (\text{PCIkcal} / \text{kg} * 0,15)\}}{860 * 8.322} \quad (1)$$

3. MODELAGEM DO PREÇO DA ENERGIA

O preço de curto prazo da energia elétrica no Brasil é definido pelo Preço da Liquidação das Diferenças (PLD), determinado semanalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Para processo de análise, adotou-se o pressuposto que o PLD fosse uma variável estocástica, visto que seu valor futuro é parcialmente

aleatório (BARROS; DE MELLO; SOUZA, 2009; OLIVEIRA et al., 2010).

Na literatura é comum a modelagem do preço da eletricidade no mercado de curto prazo por meio de um processo de reversão à média. Pesaran (2007) apresenta o teste da raiz unitária de Dickey-Fuller, para reforçar essa escolha. O referido teste consiste em realizar uma regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e aplicar o teste Dickey-Fuller como forma de verificar a hipótese nula, que indicaria que a série possui ao menos uma raiz unitária ($b=1$) e segue tendência aleatória. Dessa forma, a modelagem do preço da eletricidade foi realizada conforme descrita na Equação 2, a seguir:

$$\ln(S_t) - \ln(S_{t-1}) = \alpha + (\beta - 1) \ln(S_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

Sendo:

$\ln(S_t)$ o preço da energia elétrica a preços constantes de março de 2020;

$\ln(S_{t-1})$ o preço com defasagem de um período;

α uma constante temporal;

ε_t uma perturbação aleatória.

A Tabela 1 mostra os resultados da regressão da série da PLD a partir da regressão descrita pela Equação 2 para o período de janeiro de 2000 a fevereiro de 2020, a valores constante desse último mês, para preços obtidos no banco de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020).

Tabela 1 – Resultados da regressão da série da PLD

| Parâmetro | Valor |
|-----------------------------|---------|
| α | 0.7333 |
| $(\beta-1)$ | -0.0733 |
| β | 0.8804 |
| Estatística t ($\beta-1$) | -3.999 |
| P-Valor | 0.000 |
| Erro Padrão | 0.1833 |
| Valor crítico teste t (5%) | -2.29 |

O coeficiente ($\beta-1$) obtido na regressão foi -0,0733 e a estatística t, -3.999. Wooldridge (2012) indica que o valor crítico definido ao nível de 5% para um número de observações infinitas é igual a -3,12. Como $-3.999 < -3,12$, a hipótese nula não pode ser aceita. Logo, existem indícios de um movimento autorregressivo. Isso mostra que a escolha de um movimento de reversão à média para modelagem e definição do PLD é coerente com a série histórica de preços da eletricidade da CCEE obtida no banco de dados do IPEA.

4. APLICAÇÃO DO MODELO ÀS ESTRATÉGIAS DE INVESTIMENTO

Para aplicação das estratégias de investimentos foi considerada a implantação de uma usina com capacidade de produção de 10 MW sob a perspectiva de três estratégias de investimento para comercialização da energia gerada. No cenário base, a usina comercializaria toda sua produção através de um contrato de longo prazo, com duração de 20 anos e tarifa pré-definida. Dessa maneira, o fluxo de caixa é conhecido e não haveria situação de incerteza.

O segundo cenário considera uma estratégia híbrida de negociação, em que parte da capacidade instalada (7,5 MW) é vendida através de contratos de longo prazo e o restante é comercializado no curto prazo, estando suscetível aos riscos e incertezas inerentes a esse tipo de negociação.

A terceira estratégia é similar à anterior, no entanto existe também a opção de empregar a biomassa que alimentaria os 2,5 MW de capacidade instalada na produção de briquetes, sua comercialização. Para esta estratégia seria necessária a instalação de uma unidade de briquetagem, o que aumentariam os custos iniciais do investimento, porém mitigaria o risco de comercialização da energia no curto prazo, pois a usina poderia continuar produzindo energia elétrica e transformar a biomassa disponível em um produto de valor agregado considerável para venda no mercado.

4.1 Estratégia 1: Comercialização de energia elétrica através de contrato de longo prazo (estratégia base)

O cálculo da receita líquida de longo prazo no cenário 1 é dado pela seguinte equação:

$$RL_{lp} = V_{lp}(P - TST - CV_e - l_e \times P) \quad (3)$$

Sendo:

V_{lp} a energia elétrica produzida e negociada nos contratos de longo prazo;

P o preço da eletricidade;

TST as tarifas de transmissão;

CV_e o custo variável da energia elétrica;

I_e os impostos incidentes sobre a comercialização de eletricidade.

Dessa forma, os fluxos de caixa serão calculados conforme Equação 4:

$$FC_{est,1} = LAJIR(t) \times (1 - \text{Impostos}) + \text{Depreciação}(t) - \Delta CAGIRO \quad (4)$$

$FC_{est,1}$ o fluxo de caixa da estratégia 1;

$LAJIR$ o lucro antes dos juros e imposto de renda;

$\Delta CAGIRO$ a variação do capital de giro operacional

4.2 Estratégia 2: Modelo híbrido – comercialização de 7,5 MW no longo prazo e 2,5 MW no mercado de curto prazo

Nessa estratégia, de antemão já considerada mais arriscada, pois 25% da eletricidade gerada seria comercializada no mercado de curto prazo, em que há incertezas, para o cálculo da receita foi necessário simular os valores da PLD para os próximos 20 anos (tempo de vida associado ao projeto). Dessa forma, a receita líquida foi estimada conforme Equação 5:

$$RL_{spot} = V_{spot} \times [(P_{spot} + \text{Ágio})(1 - I_e) - TST - CV_e] \quad (5)$$

Sendo:

V_{spot} a eletricidade negociada no curto prazo;

P_{spot} o preço estimado da eletricidade no mercado de curto prazo, em 20 anos;

Ágio o ágio pago pelo mercado de energia em contratos de curto prazo.

O cálculo do fluxo de caixa é semelhante ao estimado pela estratégia 1.

4.3 Estratégia 3: Modelo híbrido – comercialização de 7,5 MW no longo prazo e 2,5 MW no mercado de curto prazo, ou briquetes

Nessa estratégia tem-se a opção de comercializar parte da eletricidade ou fabricar briquetes. A criação dessa opção se dará por meio da instalação de uma unidade de briquetagem na usina termelétrica. A receita da venda de briquetes pode ser estimada através da Equação 6.

$$RL_{briq} = V_{briq} \times (P_{briq} - CT_{briq} - I_{briq} \times P_{briq}) \quad (6)$$

Sendo:

V_{briq} o volume semanal de briquetes vendidos;

P_{briq} o preço da tonelada de briquetes;

CT_{briq} os custos totais;

I_{briq} os impostos incidentes na comercialização de briquetes.

Importante ressaltar que as PLDs são calculadas semanalmente pela CCEE e, assim, a alternância entre vender eletricidade no mercado de curto prazo ou briquetes pode ser modelada como uma sequência de opções europeias, visto que, na prática, caso seja escolhida a opção de venda de eletricidade no curto prazo, num determinado momento os preços terão de ser aqueles fornecidos pela CCEE, ou seja, pré-estabelecidos. Assim, a otimização do processo pode ser realizada por meio de pesquisa operacional, segundo a Equação 7:

$$RL_{(sem.)} = \max(RL_{spot(sem.)} \cdot RL_{briq(sem.)}) \quad (7)$$

Sendo:

$RL_{(sem.)}$ a receita líquida numa determinada semana;

$RL_{spot(sem.)}$ a receita líquida da venda de eletricidade no mercado de curto prazo numa determinada semana;

$RL_{briq(sem.)}$ a receita da comercialização de briquetes numa determinada semana.

O fluxo de caixa é calculado também conforme descrito anteriormente. De posse das estimativas, os cenários foram avaliados através do Valor Presente Líquido (VPL), que pode ser calculado conforme a Equação 8.

$$VPL_{est} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_{est}(n)}{(1+i)^n} - 1 \quad (8)$$

O VPL é dado pelo somatório dos valores presentes dos fluxos de caixa estimados de uma aplicação, a partir de uma dada taxa de desconto e período de duração do projeto, compondo o valor presente do fluxo de caixa do projeto, descontado ao custo de capital do empreendimento.

Detalhada cada estratégia, é necessário apresentar as premissas que embasaram os cálculos de viabilidade econômica. As variáveis estimadas foram subdivididas em três grupos: premissas associadas ao investimento inicial e custos fixos da usina; receita líquida da venda de energia elétrica e receita líquida proveniente da comercialização de briquetes. Para definição da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), utilizou-se como base as taxas utilizadas no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2006), que usa cenários de ampliação da oferta de energia com taxas de 8%, 10% e 12% ao ano. Dessa forma, foi ajustada uma TMA associado ao risco do negócio de 11%. As variáveis são especificadas na Tabelas 2, a seguir.

Tabela 2 – Resultados da regressão da série da PLD

| Parâmetros de Investimento e Custos Fixos da Usina | | | |
|---|--------------|-----------------------|---|
| Parâmetro | Sigla | Valor | Fonte |
| Cotação do dólar | Cot. US\$ | R\$ 4.94 | Banco Central do Brasil (08/06/2020) |
| Investimento - Termelétrica | I term | US\$ 1,500/kW med. | MME (2006) |
| Investimento - Briquetes | lb | R\$ 840,000.00 | Adaptado de Raic, Carneiro e Martins, 2016) |
| Capacidade da usina | Cap. | 10 MW | Projeção da pesquisa |
| Custo fixo da usina | CFe | US\$ 35.00/kW | MME |
| Custo fixo briquetes | CF briq. | R\$ 9,44 / t | Adaptado de Raic, Carneiro e Martins (2016) |
| Capacidade briquetes | Cap. Briq. | 8,182 t/ano | Projeção da pesquisa |
| Produtividade | Prod. | 6.5 mil frutos por ha | EMBRAPA (2016) |
| Capital de giro | CAGIRO | 10% Receita Bruta | Projeção da pesquisa |
| Área Plantada | Aplantio | 3,147 ha | (Capacidade Instalada) / (Rendimento x Produtividade) |

Tabela 2 – Resultados da regressão da série da PLD (continuação)

| Parâmetros de Receita Líquida Venda de Eletricidade | | | |
|---|---------|---------------|---|
| Parâmetro | Sigla | Valor | Fonte |
| Preço | P | R\$ 221.30 | CCEE (2020) – Estimativa PLD |
| Custo Variável | 6 | US\$ 6/MWh | MME (2006) |
| Tarifas de Transmissão | T | US\$ 1.5/MWh | MME (2006) |
| Impostos | le | 9,75% | MME (2006) |
| Ágio | A | R\$ 43.90/MWh | (GOMES; BRANDÃO; PINTO, 2010) |
| Parâmetros de Receita Líquida Venda de Eletricidade | | | |
| Preço do Briquete | Pbriq. | R\$ 290.00/t | Adaptado de Raic, Carneiro e Martins (2016) |
| Produção Briquete | Vbriq. | 200 t/ semana | Projeção da pesquisa |
| Impostos | Ibriq. | 21.65% | |
| Custo total briquetes | Ctbriq. | R\$ 105.00/t | Adaptado de Raic, Carneiro e Martins (2016) |

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas variáveis utilizadas na análise, o VPL da estratégia 1 é de R\$ 1.092.299,86. Para a estratégia 2, em que há presença de maior risco, devido ao empreendimento ficar exposto aos preços de mercado, o VPL foi de R\$ 2.595.314,24, uma diferença considerável, de aproximadamente 136%. Além disso, conforme pode ser observado na Figura 1, a probabilidade da estratégia 2 apresentar VPL menor do que zero, o que inviabilizaria o projeto, é praticamente nula (0,00029%).

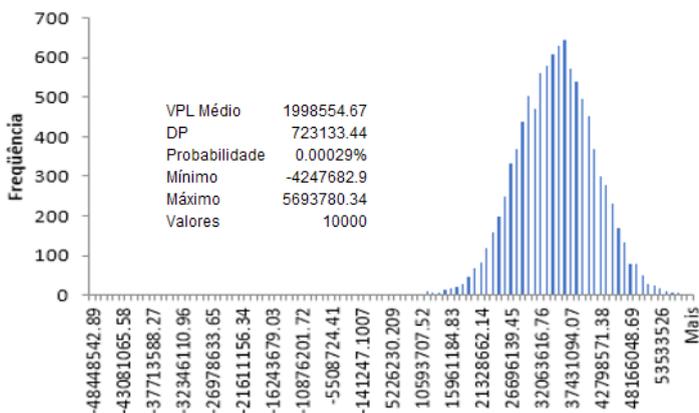


Figura 1 - Distribuição de probabilidade do VPL da estratégia 2

A Estratégia 3, apesar da opção de venda de briquete e comercialização de parte da eletricidade no mercado de curto prazo, não superou a Estratégia 2. O valor do VPL foi de R\$ 1.303.762,71, ou seja, uma diferença de aproximadamente 99% entre os valores. Isso ocorreu pelo fato do preço atual do briquete se encontrar em um patamar baixo, se comparado com períodos anteriores (RAIC; CARNEIRO; MARTINS, 2016), além das expectativas de melhores preços para a eletricidade no mercado livre.

A Estratégia 3 também possui uma pequena probabilidade de ser inviável (0,28%), e apresenta um VPL médio maior do que o da estratégia 2 (R\$ 2.567.433,78 ante R\$ 1.998.554,67), se mostrando também uma estratégia interessante de investimento.

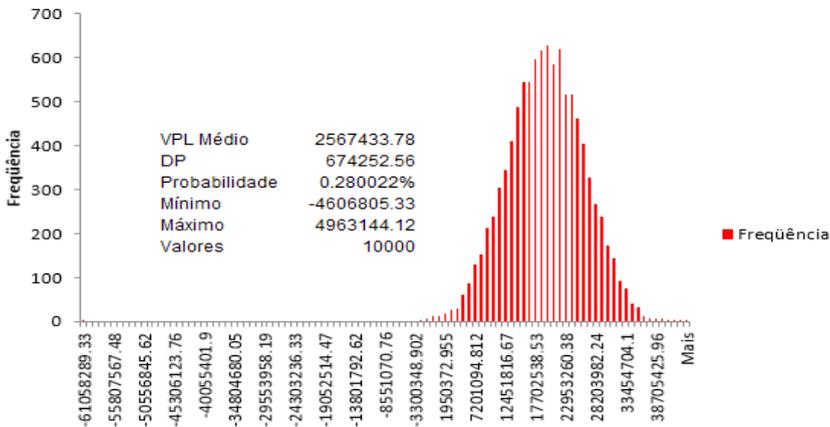


Figura 2 - Distribuição de probabilidade do VPL da estratégia 2

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de eletricidade a partir de fontes renováveis vem sendo tema de interesse nas áreas acadêmica e empresarial. Neste trabalho foi analisado o valor das flexibilidades nesse tipo de empreendimento, objetivando oferecer melhores condições para tomada de decisão por parte de gestores públicos e privados.

Foram analisadas as possibilidades do empreendimento comercializar seu produto sob três perspectivas: venda de eletricidade em contratos de longo prazo, venda da eletricidade em contratos de longo prazo e de curto prazo, e comercialização da eletricidade no longo prazo com opção de comercializar outra parte no curto prazo ou

vender briquetes, dependendo do que for mais vantajoso. A estratégia mais adequada foi a segunda, muito devido às perspectivas de preços mais elevados da energia elétrica no mercado livre, em função de pagamento de ágio.

Apesar do cuidado tomado no processo metodológico, a presente pesquisa se restringe a uma análise simplificada, visto que variáveis locais importantes, como a definição de uma localidade para implantação da termelétrica e da usina de briquetagem, não foram definidas. Dessa forma, os dados aqui coletados, bem como as informações analisadas, se prestam a um estágio inicial de avaliação de propostas econômicas relacionadas a esse tipo de empreendimento.

Sendo assim, como agenda para estudos futuros, sugere-se a escolha de localidades para instalação do empreendimento, o que possibilitará a ampliação dos cenários a serem analisados, o que consequentemente ampliaria a segurança de gestores públicos e entes privados para tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>>. Acesso em: 14 maio. 2020.

BARROS, M.; DE MELLO, M. F.; SOUZA, R. C. Aquisição de energia no mercado cativo brasileiro: Simulações dos efeitos da regulação sobre o risco das distribuidoras. *Pesquisa Operacional*, v. 29, n. 2, p. 303–322, maio 2009.

CARMO, V. B. Avaliação da eficiência energética renovável de biomassa alternativas para geração de eletricidade. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2013.

COELHO, S. T. et al. Geração de eletricidade a partir de biomassa no Brasil: situação atual, perspectivas e barreiras. In: *Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética*. Rio de Janeiro: LTC, 2017. p. 393.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. B.; KARNIOL, M. DA R. Atlas de Bioenergia do Brasil. São Paulo: 2012.

DAIOGLOU, V. et al. Greenhouse gas emission curves for advanced biofuel supply chains. *Nature Climate Change*, v. 7, n. 12, p. 920–924, 20 dez. 2017.

DAIOGLOU, V. et al. Integrated assessment of biomass supply and demand in climate change mitigation scenarios. *Global Environmental Change*, v. 54, p. 88–101, 1 jan. 2019.

DALBEM, M. C.; BRANDÃO, L. E. T.; GOMES, L. L. Can the regulated market help foster a free market for wind energy in Brazil. *Energy Policy*, v. 66, p. 303–311, mar. 2014.

DASAPPA, S. et al. Biomass gasification—a substitute to fossil fuel for heat application. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 6, p. 637–649, dez. 2003.

EMBRAPA. Nova cultivar de capim-elefante apresenta produtividade 30% maior. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17002039/nova-cultivar-de-capim-elefante-apresenta-produtividade-30-maior>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço energético nacional 2018, Ano base 2017. Rio de Janeiro: 2018.

FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: Towards a cleaner Brazilian energy matrix? *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 85–93, 2015.

GOMES, L. L.; BRANDÃO, L. E.; PINTO, A. C. F. Otimização de Carteiras de Contratos de Energia Elétrica Através da Medida Ômega. *Brazilian Review of Finance*, v. 8, n. 1, p. 45, 2010.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

IEA. 2018 World Energy Outlook: Executive Summary. *Oecd/lea*, p. 11, 2018.

IPEA. Consumo de energia elétrica no setor comércio: tarifa média por MWh. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

LUDERER, G. et al. The role of renewable energy in climate stabilization: results from the EMF27 scenarios. *Climatic Change*, v. 123, n. 3–4, p. 427–441, 15 abr. 2014.

MAPELLI, F.; MUNGWE, J. N. Modern Energies Services for Cooking: from Improved Cook-Stoves to Domestic and Community Biogas Based Systems. In: *Renewable Energy for Unleashing Sustainable Development*. Cham: Springer International Publishing, 2013. p. 43–74.

MARCELINO, M. M.; DE MELO, S. A. B.; TORRES, E. A. Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia. *Bahia Análise & Dados*, v. 27, n. 1, p. 337–355, 2017.

MARTINS, L. O. S. et al. Potential of electric energy generation from vegetable biomass in different regions of Brazil: mapping and analysis. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 15, n. 37, p. 332–359, 2019.

Ministério de Minas e Energia - MME. Plano Nacional de Energia 2030. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/plano-nacional-de-energia-2030>> Acesso em: 30 mar. 2020.

MONIR, M. U. et al. Gasification of lignocellulosic biomass to produce syngas in a 50 kW downdraft reactor. *Biomass and Bioenergy*, v. 119, p. 335–345, 1 dez. 2018.

OLIVEIRA, B. H. A. M. DE et al. Um modelo de previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil. *Cadernos do IME - Série Estatística*, v. 28, n. 0, 2010.

PESARAN, M. H. A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, v. 22, n. 2, p. 265–312, 1 mar. 2007.

RAIC, D. F.; CARNEIRO, A. R. F.; MARTINS, L. O. S. Estudo de viabilidade econômica da produção de briquetes a partir do capim elefante no oeste do estado da Bahia. In: EXLER, R. B.; TEIXEIRA, L. P. B.; SAMPAIO, L. P. (Eds.). *Bioenergia um diálogo renovável*. 1. ed. Salvador: Z Arte, 2016. p. 93–110.

REN21. REN21 - 2019 Global Status Report. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://www.ren21.net/cities/wp-content/uploads/2019/05/REC-GSR-Low-Res.pdf>>.

SILVA, D. A. et al. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 84, p. 481, 2015.

SIVAKUMAR, S.; NATARAJAN, E. Renewable fuels for thermal gasification of biomass. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, v. 9, n. 4, p. 1017–1022, 2007.

SUZUKI, K. et al. Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia. *Biomass and Bioenergy*, v. 97, p. 149–154, 1 fev. 2017.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à Econometria*. 4. ed. São Paulo: Cengage, 2012.