



Guilherme Fábregas da Costa Moraes

**Avaliação por Opções Reais de uma Planta de Produção de
Energia Elétrica a partir de Biomassa do Carozo de Açai**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Leonardo Lima Gomes

Rio de Janeiro
Abril de 2016



Guilherme Fábregas da Costa Moraes

**Avaliação por Opções Reais de uma Planta de Produção de
Energia Elétrica a partir de Biomassa do Carvão de Açai**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas do Departamento de Administração da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Leonardo Lima Gomes

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Grupo IBMEC-RJ

Profª. Mônica Herz

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2016

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

Guilherme Fábregas da Costa Moraes

Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e com MBA de Finanças Corporativas pelo IAG-PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Moraes, Guilherme Fábregas da Costa

Avaliação por opções reais de uma planta de produção de energia elétrica a partir de biomassa do caroço de açaí / Guilherme Fábregas da Costa Moraes; orientador: Leonardo Lima Gomes. – 2016.

63 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Administração – Teses. 2. Biomassa. 3. Açaí. 4. Opções reais. 5. Energia renovável. 6. Fonte alternativa de energia. I. Gomes, Leonardo Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Agradecimentos

Agradeço a minha noiva Laura Beatriz pela inspiração e incentivo em ingressar no Mestrado, e pelo seu apoio durante estes anos.

O meu muito obrigado também ao Rivadavia Gusmão, grande líder e exemplo de profissional com quem tive o prazer de trabalhar, além de guru do mundo corporativo para mim.

À minha família pelos valores transmitidos durante estes 31 anos, em especial aos meus pais Jorge Eduardo e Ana Lúcia que são os meus pilares.

À Deus por tamanha generosidade a me rodear de gente tão especial e por abrir tantas portas para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos professores do IAG da PUC-Rio pelos ensinamentos e em especial ao Doutor Leonardo Lima pela orientação deste trabalho e paciência nos muitos finais de semana debruçados em planilhas e modelos, sua expertise foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Moraes, Guilherme Fábregas da Costa; Gomes, Leonardo Lima. **Avaliação por Opções Reais de uma Planta de Produção de Energia Elétrica a partir de Biomassa do Caroço de Açaí.** Rio de Janeiro, 2016. 63 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Diante da crescente preocupação com os níveis de emissão de poluentes gerados por meio da queima de combustíveis fósseis, ampliou-se a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética mundial, dentre as quais a biomassa. O Brasil tem grande potencial para o desenvolvimento do uso desta, graças, entre outros fatores, à vasta área territorial, incidência solar e abundância hídrica, destacando-se, mundialmente, como um dos principais atores na área. No contexto atual, a biomassa é obtida predominantemente da cana-de-açúcar e eucalipto, porém novas formas podem potencializar o seu uso, como, por exemplo, o açaí. Deste fruto tradicionalmente brasileiro, a expressiva quantia de 85% é constituída de caroço que é descartada pela indústria sem qualquer retorno financeiro, apesar do seu potencial energético. O presente estudo busca analisar a viabilidade econômica da utilização do caroço do açaí como fonte de biomassa para uma usina termoeletrica sob a perspectiva da precificação por opções reais. Quando encontramos flexibilidade em investimentos, tal como ocorre quando este é feito em etapas, tradicionais ferramentas de avaliação de investimento não capturam corretamente o valor destas opções inerentes aos negócios e terminam por subavaliar os investimentos. Serão analisadas ainda as variáveis mais sensíveis dentro do modelo das opções reais e como este pode ser utilizado pelas empresas com a finalidade de mitigar riscos.

Palavras-chave

Açaí; opções reais; energia renovável; biomassa; fonte alternativa de energia.

Abstract

Moraes, Guilherme Fábregas da Costa; Gomes, Leonardo Lima (Advisor).
A Real Options Approach evaluation of an Electric Energy Power Plant supplied by the Açaí Seed Biomass. Rio de Janeiro, 2016. 63 p.
MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Following the increasing concerns about the Green gas emission through oil & gas consumption, the share of renewables sources of energy in the world global matrix has increased and in which, biomass is included. Brazil has a large potential for biomass due to its large areas of arable land, high incidence of sunlight and availability of water and as such is one of the most important players in the world. The sources of biomass are mainly sugar cane and eucalyptus so far, but other sources, such as açaí, could increase even more this share. 85% of the açaí, a typical brazilian fruit, is seed and is discarded by the industry without any value despite its high energy potential. This study seeks to show the economic feasibility of the açaí seed usage as biomass source for a thermoelectric plant. We use the real options approach, since there is a flexibility to invest in phases and the traditional investment tools of discounted cash flow doesn't capture the embedded options values and may underestimate investment values. The more sensitive variables are analyzed in the real options model and its use to mitigate corporate risks is also presented.

Keywords

Açaí; real options; renewable energy; biomass; alternative energy source.

Sumário

1. Introdução	11
2. Referencial teórico	14
2.1. Opções reais	14
2.1.1. Trabalhos relacionados	22
3. A matriz energética brasileira e a possibilidade do uso da biomassa de açaí	24
3.1. A matriz energética brasileira	24
3.2. Biomassa	27
3.3. Açaí	31
4. Modelagem e Resultados	37
4.1. Premissas do modelo	37
4.2. Custo médio ponderado de capital	43
4.3. Opções reais	45
4.3.1. Volatilidade	46
4.3.2. Árvore de eventos	48
4.3.3. Árvore de decisão	50
4.4. A sensibilidade do modelo	53
5. Conclusão	59
6. Referências bibliográficas	61

Lista de figuras

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte	25
Figura 2 - Oferta mundial de energia por fonte	26
Figura 3 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	28
Figura 4 - Aumento da temperatura do ar da superfície global (°C)	31
Figura 5 - O açaí	32
Figura 6 - O açazeiro	33
Figura 7 - Quantidade de açaí no Estado do Pará – 2003 a 2012	34
Figura 8 - Resíduos do açaí (caroços)	35
Figura 9 - Distribuição da taxa de crescimento da produção de polpa por ano	39
Figura 10 - Distribuição do valor da energia elétrica em R\$/MWh	40
Figura 11 - Distribuição do custo operacional	41
Figura 12 - Distribuição das despesas administrativas	42
Figura 13 - Volatilidade do projeto	47
Figura 14 - Árvore de eventos	49
Figura 15 - Árvore de decisão e exercício da opção	51
Figura 16 - Investimento total vs. Investimento em fases	53
Figura 17 - Valor da opção por % de volatilidade	54
Figura 18 - Valor da opção por CAPEX	55
Figura 19 - Valor da opção por ano de exercício	56
Figura 20 - Valor da opção por preço de energia elétrica	57
Figura 21 - Valor da opção por nível de alavancagem	58

Lista de tabelas

Tabela 1 - Capacidade Instalada de geração elétrica.	27
Tabela 2 - Análise química do caroço do açaí.	34
Tabela 3 - Poder calorífico e umidade por biomassa.	35
Tabela 4 - Investimento de capital (CAPEX).	37
Tabela 5 - Premissas de produção e potencial energético.	38
Tabela 6 - Evolução de geração de energia do projeto.	38
Tabela 7 - Demonstrativo de resultado do exercício e fluxo de caixa livre do projeto.	43
Tabela 8 - Custo médio ponderado de capital (WACC), TIR e VPL.	45

“O futuro tem por ofício ser incerto”
Pedro Sampaio Malan

1

Introdução

Vivemos em uma época de crescente preocupação acerca do fenômeno do aquecimento global, resultante, entre outras causas, do aumento de emissão de gases responsáveis pela produção do chamado “efeito estufa”, bem como de seus potenciais (e não inteiramente conhecidos) impactos. No ano de 2015, 195 nações se reuniram na COP21 (21ª Conferência das Partes), conferência sobre o clima realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), e ratificaram o acordo a fim de limitar a elevação da temperatura terrestre à 1,5°C até 2100. No entanto, para alcançar este objetivo, inegavelmente serão necessárias algumas medidas, dentre as quais sugere-se a redução do consumo de combustíveis fósseis e a modificação da matriz energética mundial através do uso de fontes limpas, renováveis e sustentáveis.

O Brasil possui uma matriz energética predominantemente renovável (74,5% da oferta interna de energia elétrica provém de fontes sustentáveis). Entretanto, a fonte hídrica representa em torno de 65% do total enquanto as demais fontes renováveis apenas 10%, realidade que coloca o país em situação de risco, devido à exposição ao volume de chuva e, conseqüentemente, aos níveis dos reservatórios de água. Diante dessa situação, o país precisa buscar fontes renováveis que sejam alternativas às hídricas, como as energias eólica, solar e a obtida através do uso de biomassa.

A biomassa destaca-se positivamente como alternativa para o Brasil pois, além de ser considerada uma fonte renovável por ser neutra em carbono (já que o emitido na combustão fica neutralizado com a fotossíntese da matéria-prima), são favoráveis as condições naturais do país, que possui áreas férteis e água em abundância (elementos propícios para produção em larga escala de diversas culturas agrícolas).

Considerando o panorama exposto, e aprofundando o aproveitamento da biomassa, este trabalho irá abordar o caroço do açaí e o seu potencial energético para contribuir para um melhor equilíbrio da matriz energética nacional. Fruto tipicamente brasileiro e encontrado em larga escala na região amazônica, o açaí é consumido em forma de polpa, devido ao sabor agradável e

por seus atributos nutricionais. Entretanto, apenas 15% do volume do fruto é destinado a produção da polpa enquanto o caroço representa 85% do total, de forma que uma grande quantidade de resíduos é gerada na cadeia.

Visando encontrar alternativas de uso para estes resíduos, estudos foram realizados e comprovaram o potencial energético do caroço do açaí, que poderia ser utilizado como biomassa ou briquetes energéticos. Não obstante, ainda hoje a maior parte das fábricas despeja seus resíduos de maneira inadequada (em vias públicas e rios próximos), gerando impacto negativo ao meio-ambiente e desperdiçando este grande potencial energético. As empresas mais organizadas utilizam os caroços para alimentar suas caldeiras e fazem parcerias com olarias (doando o excedente de caroços que são utilizados em substituição à lenha em seus fornos).

Neste contexto, busca-se neste trabalho analisar a viabilidade econômica da geração de energia a partir da biomassa do caroço do açaí através de uma usina termelétrica, bem como comercializar tal energia para o sistema elétrico brasileiro, transformando assim o caroço em um subproduto rentável para a indústria de produção de polpa deste produto.

No entanto, em avaliações de projetos que utilizam as tradicionais ferramentas de fluxo de caixa descontado, a exemplo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), a flexibilidade nas tomadas de decisão não é levada em consideração e, desta forma, o valor dos ativos pode ser subestimado. Além disso, riscos dos projetos podem não ser considerados. A teoria das opções reais surge para preencher estas lacunas, mensurar as incertezas dos negócios e determinar o valor da flexibilidade da tomada de decisão na avaliação de investimentos.

Dentre a literatura disponível sobre esta matéria, não foi encontrado nenhum trabalho utilizando o caroço do açaí como fonte de biomassa e aplicando a ferramenta da precificação por opções reais à avaliação de investimento, sendo esta a contribuição que o presente trabalho deseja oferecer, buscando responder às seguintes questões:

O uso da biomassa do caroço de açaí pode contribuir para o Brasil ter uma matriz energética mais limpa, eficiente e sustentável? A análise por opções reais adiciona valor à análise de investimentos?

A abordagem das opções reais será utilizada para analisar o investimento em uma planta de geração de energia elétrica a partir da biomassa do caroço do

açaí, investimento este que seria realizado em fases, iniciando com o volume de resíduos disponíveis e aumentando conforme a projeção de crescimento da produção da polpa de açaí.

Este trabalho está subdividido em seis capítulos. O capítulo inicial cuida do referencial teórico da precificação por opções reais bem como examina trabalhos relacionados ao assunto. A seguir a matriz energética brasileira é analisada e contextualizada em um âmbito mundial, sendo discutidos também o papel da biomassa como fonte de energia sustentável e o potencial energético do caroço do açaí. No quarto capítulo, um modelo econômico para precificação das opções reais é apresentado considerando o caso de uma planta de energia elétrica a base da biomassa do caroço do açaí com a opção de expansão da capacidade, sendo ao final do capítulo, em um estudo de sensibilidade, apresentado o impacto das principais premissas do modelo. No quinto capítulo o trabalho é concluído e novas pesquisas são sugeridas sobre os assuntos abordados. O trabalho é finalizado com a revisão da bibliografia utilizada.

2 Referencial teórico

2.1. Opções reais

O trabalho de Black, Merton & Scholes (1973) sobre a avaliação de opções de contratos financeiros é o ponto de partida para a teoria das Opções Reais. O referido trabalho demonstrou como avaliar contratos complexos que davam a opção (o direito, mas não a obrigação) de comprar ou vender ações.

Opções são um dos tipos de derivativos existentes no mercado financeiro. Como o nome sugere, derivam do valor de um ativo objeto, no caso das opções financeiras, das ações negociadas em bolsas de valores, e no caso das opções reais, dos investimentos reais. Outras formas de derivativos encontrados são contratos a termo e índices futuros.

As negociações das opções financeiras foram introduzidas na bolsa na *Chicago Board Options Exchange* (CBOE) em 1973, e desde então se tornaram um dos ativos mais importantes e mais frequentemente negociados em bolsas de valores ao redor do mundo. As opções são comumente usadas com o propósito de proteção, hedge ou especulação.

O modelo de Black & Scholes¹ possui sete premissas básicas:

1. A opção pode ser exercida apenas no seu vencimento;
2. Existe apenas uma fonte de incerteza;
3. A opção é contingente a apenas um ativo de risco subjacente;
4. O ativo subjacente não paga dividendos;
5. O preço corrente do ativo e o processo estocástico seguido pelo ativo subjacente são observados no mercado;
6. A variância do retorno do ativo subjacente é constante ao longo do tempo;
7. O preço de exercício é conhecido e constante;

¹Apesar de não levar seu nome no modelo, Merton contribuiu para o seu desenvolvimento ao levar em consideração a Lei do Preço Único, blindando a possibilidade de arbitragem. Como o mercado é eficiente e não permite arbitragem, qualquer variação entre o preço das opções e das ações subjacentes é rapidamente ajustada pelo mercado, voltando ao equilíbrio.

A fórmula matemática é dada a seguir:

$$Co = So N(d1) - Xe^{-rfT} N(d2) \quad (1)$$

Onde:

So = preço do ativo subjacente (exemplo: ação de alguma empresa)

N(d1) = distribuição normal da variável d1

N(d2) = distribuição normal da variável d2

X = preço de exercício

T = tempo até o vencimento

Rf = prêmio livre de risco

e = base normal logaritmo, constante = 2,71828...

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + RfT}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}$$

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{T}$$

Existem compradores e vendedores de opções, os quais assumem posições contrárias na negociação, e além disso existem opções de compra e de venda do ativo subjacente. Quando se negocia uma opção de compra (*call*), o objetivo é a maximização entre o valor do ativo objeto (S) deduzido do preço de exercício da opção (X) e zero (equivalendo a nada ser feito). Quando se trata de uma opção de venda (*put*), o objetivo é maximizar o valor entre o preço de exercer a opção descontado o valor do ativo e o custo de não fazer nada, zero.

$$\text{Opção de Compra (Call): } \text{MÁXIMO}(S-X, 0) \quad (2.1)$$

$$\text{Opção de Venda (Put): } \text{MÁXIMO}(X-S, 0) \quad (2.2)$$

Dixit & Pindyk (1994) aplicaram esta teoria financeira às empresas, demonstrando que companhias com a possibilidade de investir em algum ativo possuem uma opção análoga à uma opção financeira (*call*). Elas possuem o direito, mas não a obrigação, de investir no determinado ativo, em um

determinado espaço de tempo. Quando a empresa faz um investimento de capital, irreversível, ela exerce a opção.

A teoria das opções reais se mostra fundamental nos dias atuais ao passo que o valor de incertezas (mercadológicas, econômicas, técnicas, regulatórias entre outras) e flexibilidades gerencias (investir, expandir, adiar, abordar entre outras) não são capturados na tradicional abordagem do fluxo de caixa descontado e são cada vez maiores dentro de um cenário competitivo.

No caso das opções financeiras, onde os ativos subjacentes são ações, uma distribuição log-normal é uma aproximação apropriada da sua distribuição de probabilidade de ocorrência, pois o valor de uma ação não pode ser negativo. No caso das opções reais, entretanto, investimentos podem trazer resultados negativos às empresas e sendo assim, outra distribuição deve ser considerada.

Neste contexto, Cox et al. (1979) desenvolveram um modelo binomial (CRR) que permite modelar diversas formas de derivativos, diversos exercícios e tipos de opção, como as Opções Reais.

O modelo de Black & Scholes foi desenvolvido para precificar opções europeias, que só são exercidas no seu vencimento. Com o modelo de Cox et al. (1979) foi possível precificar opções que podem ser exercidas a qualquer momento, estas chamadas de opções americanas.

O método do CRR utiliza a abordagem neutra ao risco e assume que o ativo subjacente segue um movimento estocástico aleatório conhecido como Movimento Geométrico Browniano (MGB):

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (3)$$

Onde:

S = valor da variável modelada

μ = taxa de crescimento de S

dt = incremento de tempo

σ = volatilidade de S

dz = incremento padrão de Wiener, proporcional a $\sqrt{dt}$ e distribuição normal (0,1)

O MGB também é conhecido como processo de Wiener e que segue o de Markov, o que significa que a distribuição da probabilidade de todos os eventos futuros do processo depende exclusivamente do valor corrente, e não de valores históricos ou qualquer outra informação. Além disso, apresenta incrementos independentes, ou seja, as variações de um determinado intervalo independem do que aconteceu em outro intervalo temporal. Por fim, as variações são normalmente distribuídas.

O trabalho desenvolvido por Cox et al. (1979) provou que a distribuição de probabilidades que descrevem os possíveis cenários de um ativo (movimentos de subida, u , ou descida, d) seguem a distribuição normal (μ , σ^2) e pode ser caracterizada por uma distribuição binomial em que:

$$u = e^{\sigma\sqrt{T}} \quad (4.1)$$

$$d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma\sqrt{T}} \quad (4.2)$$

Onde a propriedade de $d = 1/u$ determina o formato da árvore binomial em forma de uma treliça (lattice) e recombinante.

Negociar opções financeiras é mais simples que opções reais, pois todas as suas premissas estão disponíveis no mercado. Por exemplo, o valor da ação é observado em pregões diários, a variância do ativo pode ser determinada através da análise da volatilidade de cotações históricas das ações ou da volatilidade embutida nas opções do mesmo ativo objeto com outros vencimentos.

No caso das opções reais, entretanto, não existem projetos idênticos negociados em bolsas de valores, “ativos gêmeos”, de tal forma que não é possível obter a volatilidade com dados disponíveis no mercado financeiro.

Para solucionar este empasse, Copeland & Antikarov (2001) utilizaram a premissa da Negação do Ativo Negociado (do inglês, *Marketed Asset Disclaimer* - MAD), cujo princípio base é que o próprio fluxo de caixa do projeto, sem flexibilidade, é a melhor estimativa não tendenciosa do valor de mercado do projeto se este fosse um ativo negociado.

A premissa do MAD determina que para encontrar a volatilidade do ativo subjacente, é preciso encontrar o valor do ativo no instante zero ($\overline{VP}_0$), sem

considerar qualquer flexibilidade existente. Este valor é obtido a partir dos fluxos de caixa do projeto, descontados ao custo médio ponderado de capital da companhia (WACC). Em seguida, cálculo similar é realizado para obter o valor do ativo no instante um ($\widetilde{VP}_1$), adotando a premissa que o projeto será realizado com atraso de um ano. Sendo $\widetilde{VP}_1$ um valor estocástico da simulação do VP e $\overline{VP}_0$ um valor estático do VP inicial, calcula-se então a variável estocástica z tal como abaixo:

$$\tilde{Z} = Ln \left(\frac{\widetilde{VP}_1}{\overline{VP}_0} \right) \quad (5)$$

A volatilidade do ativo subjacente é encontrada a partir da simulação de Monte Carlo e encontrado através do desvio padrão da taxa de retorno encontrada na equação acima (5) após serem inseridas as incertezas do modelo.

Uma vez encontrada a volatilidade do ativo subjacente, é possível determinar os movimentos de subida (u) e de descida (d) do valor do ativo objeto e, assim, formatar uma árvore de possíveis eventos futuros para toda a vida útil do projeto.

Brandão et al. (2011) desenvolveram a abordagem GCE (*Generalized Conditional Expectations*) para corrigir um problema encontrado no cálculo da volatilidade segundo o modelo de Copeland & Antikarov, que possui um viés de alta, resultando em superestimação da volatilidade e consequentemente subavaliando valores de investimentos. O cálculo de Copeland & Antikarov considera a mesma volatilidade para toda a vida útil do projeto, enquanto a abordagem GCE corrige este problema, removendo o viés de alto ao revisar a volatilidade anualmente, conforme novos eventos aconteçam e isso reduza as incertezas em torno dos investimentos.

Além da forma de calcular a volatilidade, outra diferença entre as opções financeiras e reais é que a primeira não é emitida pela empresa detentora do ativo objeto, mas por agentes independentes do mercado. Desta forma, os agentes emissores das opções financeiras não podem atuar pró-ativamente para alterar o valor do ativo subjacente. Enquanto no caso das opções reais, elas pertencem a empresa que detém o ativo subjacente, podendo a empresa influenciar diretamente no valor do ativo (através de boa gestão, por exemplo) e

extrair o máximo de valor de seus ativos e conseqüentemente das opções a eles atreladas.

Existem duas formas de avaliar as Opções Reais, o método do portfólio replicante e o método da probabilidade neutra a risco. O portfólio replicante é formado por m unidades de um ativo gêmeo ao ativo objeto e B unidades de um título livre de risco, onde:

$$Cd = mVu + B(1 + rf) \quad (6.1)$$

$$Cd = mVd + B(1 + rf) \quad (6.2)$$

A partir das equações 6.1 e 6.2, obtemos que m equivale a razão entre a diferença entre o fluxo de caixa do projeto no estado de alta e o fluxo de caixa do projeto no estado de baixa (incremento de fluxo de caixa gerado), e a diferença entre o valor do ativo gêmeo no estado de subida e o valor do ativo gêmeo no estado de descida (variação no valor do ativo) e é denominado de índice hedge:

$$m = \frac{Cu - Cd}{Vu - Vd} \quad (7)$$

O índice de hedge, m , multiplicado pelo valor do ativo objeto, Vo , e subtraído do valor da opção de compra, Co , resulta no pagamento livre de risco, Bo , conforme abaixo. O resultado é que possuindo m unidades do ativo gêmeo e este se valorizando, o ganho de capital será compensado com uma perda de mesmo valor na posição vendida na opção de compra, e vice-versa.

$$mVo - Bo = Co \quad (8.1)$$

$$mVo - Co = Bo \quad (8.2)$$

Alternativamente, o método da probabilidade neutra a risco apresenta o mesmo resultado, porém, enquanto o método do portfólio replicante desconta os fluxos de caixa esperados pela taxa de juros ajustada do projeto, o método neutro à risco desconta os fluxos de caixa equivalentes à taxa livre de risco.

O método neutro à risco assume um portfólio de hedge com uma posição vendida (short) de m unidades de opções e uma do ativo subjacente, de tal forma que o modelo neutraliza o risco ao passo que quando o ativo subjacente se desvaloriza, a posição vendida nas opções compensa o resultado, e vice-versa.

$$uVo - mCu = dVo - mCd \quad (9)$$

A partir da equação acima (9) e trazendo o índice hedge, m , a valor presente, temos que:

$$Co = \left[Cu \left(\frac{(1+Rf)-d}{u-d} \right) + Cd \left(\frac{u-(1+Rf)}{u-d} \right) \right] \div (1 + Rf) \quad (10)$$

E substituindo os itens em parênteses em (10) por p , probabilidade de acontecer o movimento de subida, e $(1-p)$, probabilidade de acontecer o movimento de descida, temos que:

$$Co = \frac{pCu + (1-p)Cd}{(1+rf)} \quad (11)$$

A equação acima (11) demonstra que o valor presente da opção de compra (Co) é igual à soma dos fluxos de caixa esperados nos movimentos de subida e descida multiplicado por suas respectivas probabilidades de ocorrência e ajustada a taxa livre de risco.

A probabilidade neutra a risco é derivada das equações (10) e (11), acima, e dada por:

$$p = \frac{1+r-d}{u-d} \quad (12)$$

Os valores encontrados na árvore de eventos futuros serão comparados ao preço de exercício das opções. Para a opção ser exercida, deve-se maximizar o valor gerado à companhia quando comparamos o valor do ativo ao

preço de exercício da opção e o caso de a opção não ser exercida (zero). Repete-se este procedimento para todos os nós de decisão do ano da tomada de decisão.

Cada valor encontrado no ano do exercício da opção, positivo quando a opção é exercida, ou zero quando não exercida, é trazido à valor presente, obedecendo os movimentos de subida e descida, bem como a taxa livre de risco, conforme indicado na equação acima (11).

No universo das Opções Reais, observamos que as empresas possuem diversas alternativas (flexibilidade) quando investimentos são considerados, dentre as quais se destacam:

- Opção de Adiamento – equivale a uma *call* americana, existente em diversos projetos cuja empresa tem o direito de atrasar seu início. Seu preço de exercício é o investimento inicial do projeto.
- Opção de Abandono – equivale a uma *put* americana, onde a empresa tem o direito de abandonar o projeto a um valor residual fixo, seu preço de exercício.
- Opção de Contrair – equivale a uma *put* americana, onde a empresa tem o direito de reduzir sua operação recebendo algum prêmio por isso (venda de ativos, por exemplo).
- Opção Expansão – equivale a uma *call* americana, onde a empresa pode investir mais em caso de sucesso do projeto. O preço de exercício neste caso é o valor do novo investimento.
- Opções de Troca – é um portfólio de *call* e *put* que permitem ao detentor da opção fazer trocas a um custo fixo entre duas operações com o mesmo ativo subjacente (duas fontes de renda, duas tecnologias, entre outras).

Além destas mais estudadas, existem também opções arco-íris, de parada temporária, de contrair e opções compostas.

O dinâmico e competitivo mundo corporativo é repleto de riscos e incertezas que no momento da avaliação de um investimento não são considerados e avaliados pelos métodos tradicionais. Os gestores acabam compensando a ineficiência destes modelos embutindo prêmios na taxa de retorno exigida ou exigindo VPLs robustos e não apenas positivos, no intuito de cobrir qualquer eventualidade encontrada ao longo da vida útil do projeto avaliado.

Uma vez que o método de precificação por opções reais captura as flexibilidades existentes nos investimentos e a partir disso obtém-se a volatilidade do ativo que será considerada para determinar os movimentos de subida e descida do ativo e momentos de exercício da opção, seu cálculo reduz a subjetividade encontradas nas tradicionais ferramentas de avaliação, adicionando robustez à tomada de decisão e um aspecto mais técnico e pragmático.

2.1.1. Trabalhos relacionados

Tourinho (1979) foi o pioneiro no uso das opções reais, mesmo não usando esta denominação, ao avaliar o valor de reservas naturais e observar o aspecto especulativo das reservas, como um ativo que pode ser negociado no curto prazo, e ao introduzir incerteza de oferta e demanda refletido na variação do preço dos recursos segundo um processo estocástico.

Bastian-Pinto et al. (2009) utilizam o processo de reversão à média dos preços das commodities açúcar (agrícola) e etanol (energética) para avaliar opções de troca em uma planta industrial no Brasil, determinando a produção de acordo com o preço corrente das commodities com o investimento feito em uma fábrica com flexibilidade de produzir ambos, o que se mostrou vantajoso.

Dias et al. (2010) avaliam uma indústria que produz tanto açúcar quanto etanol, e possui a opção de expandir sua produção e também de investir em uma planta de cogeração de energia com uso da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, para vender energia no mercado brasileiro. A decisão de expansão fica atrelada ao preço do açúcar e álcool enquanto a de investir em cogeração, depende do preço de energia elétrica.

Bastian-Pinto et al. (2010) calculam sob a perspectiva dos donos de automóveis com a tecnologia flex o valor da opção de adquirir entre dois tipos de combustível, gasolina e etanol, o que apresentar o menor custo (preço x rendimento). Esta economia se compara ao prêmio cobrado pelas montadoras na venda de carros com esta tecnologia flex. O exercício da opção é função da incerteza dos preços da gasolina e etanol modelados no artigo seguindo o Movimento Geométrico Browniano e o movimento estocástico de Reversão à Média. Ao final da vida útil do automóvel, a economia gerada é de 10-15% no gasto total de combustível.

Brandão et al. (2011) apresentam o biodiesel como alternativa aos combustíveis fósseis e a flexibilidade na escolha de insumos, soja ou mamona, como geradora de valor na avaliação do projeto. A abordagem das Opções Reais é utilizada a partir de dois modelos estocásticos para a previsão do preço dos insumos, o Modelo de Reversão à Média e o Movimento Geométrico Browniano. Os resultados são comparados e o valor da opção de troca entre os insumos na produção do biodiesel demonstra potencial a este tipo de avaliação para ambos os casos.

Brandão et al. (2012) modelam o impacto de incentivos governamentais na licitação da linha 4 do Metrô de São Paulo com a metodologia de opções reais, no intuito de verificar a redução de riscos e custos. O Estado garantiria uma demanda, transferindo para si parte do risco de o tráfego de passageiros ser menor que o esperado, a iniciativa privada, por outro lado, garantia um prêmio ao Estado em caso de a demanda exceder bandas pré-determinadas.

Oliveira et al. (2014), analisam sob a ótica das opções reais o investimento em uma planta de cogeração de energia, térmica e elétrica, fazendo uso da biomassa do Eucalipto, resíduo na produção de painéis de madeira de média densidade (MDF). A planta tornaria a empresa autossuficiente em energia e traria a flexibilidade à administração para vender o excesso da geração no mercado à vista, se investimentos para isso fossem feitos.

Fontoura et al. (2014) analisaram o uso do capim elefante como biomassa em uma refinaria, mostrando a viabilidade do uso de biomassa no Brasil diante seu potencial agrícola e em face a busca por fontes renováveis de energia em substituição aos poluentes combustíveis fósseis.

3

A matriz energética brasileira e a possibilidade do uso da biomassa de açaí

3.1.

A matriz energética brasileira

Nos anos 80, o setor elétrico brasileiro enfrentou uma grande crise que desestabilizou financeiramente e estruturalmente as suas instituições. Visando endereçar estes problemas, e espelhados nos então recentes casos de sucessos de reformas na Inglaterra e Chile, nos anos 90 o setor passou por diversas reformas para aumentar sua eficiência, reduzir a dívida pública e solucionar os problemas financeiros enfrentados. (Oliveira & Marreco, 2006).

Essas reformas foram baseadas nas seguintes ações:

- Descentralização da cadeia produtiva: geração, transmissão, distribuição e comercialização.
- Novas medidas regulatórias: atividades autônomas estimularam a competição no setor.
- Nova estrutura institucional: criação da ANEEL.
- Nova política de financiamento: Lei 9.648/98 promoveu a desestatização do setor. O Estado passou a atuar apenas como agente regulador e ente concessionário.

Entretanto, não houve investimentos suficientes nas áreas de geração e transmissão de energia e, como consequência, o país enfrentou racionamentos de energia entre os anos de 2001 e 2002, graças à crise hídrica, ocasionada pelo baixo índice de chuvas e queda no volume dos reservatórios.

Em 2014 os volumes de chuva voltaram a ser limitados e a sombra do racionamento voltou a rondar os brasileiros e, como reflexo, a elevar o custo da energia elétrica, pois para compensar o menor volume de energia hidrelétrica foi preciso utilizar as termoeletricas em maior escala afim de evitar cortes de energia elétrica e, como se sabe, esta possui custo superior às hidrelétricas (custo este que foi repassado aos consumidores).

Além disso, o consumo de energia da população havia sido estimulado através da medida provisória MP 579/2012 (posteriormente convertida na Lei 12.783/13) que forçou a redução das tarifas, estimulando assim o consumo de energia das indústrias e cidadãos, visando aumentar o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Apesar de a matriz energética brasileira dar grande ênfase às fontes renováveis (75% do total ofertado de energia elétrica em 2015 provia de fontes renováveis), há grande concentração de fonte hidráulica na oferta interna (65% do total ofertado) o que expõe o país aos volumes de chuva e aos níveis de seus reservatórios.

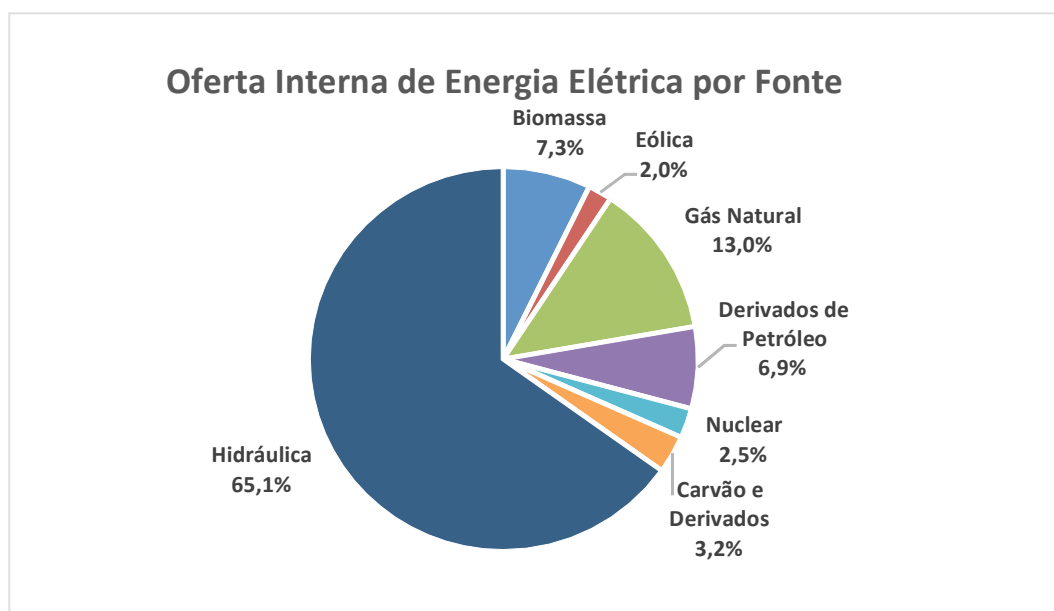


Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.
Fonte: Empresa Brasileira de Energia (EPE) – Balanço Energético Nacional, 2015.

Dimensionando estes números em uma perspectiva mundial, a matriz energética brasileira é superior no que tange fontes renováveis. O mundo é abastecido por apenas 13% de fontes renováveis, um número 83% inferior aos 75% observados no Brasil. Entretanto, a fonte hidráulica representa 2,4% da oferta mundial de energia enquanto no Brasil a concentração é de 65%, portanto 96% inferior ao encontrado no Brasil, mostrando a grande concentração desta fonte no Brasil e que evidencia a problemática a ser respondida.

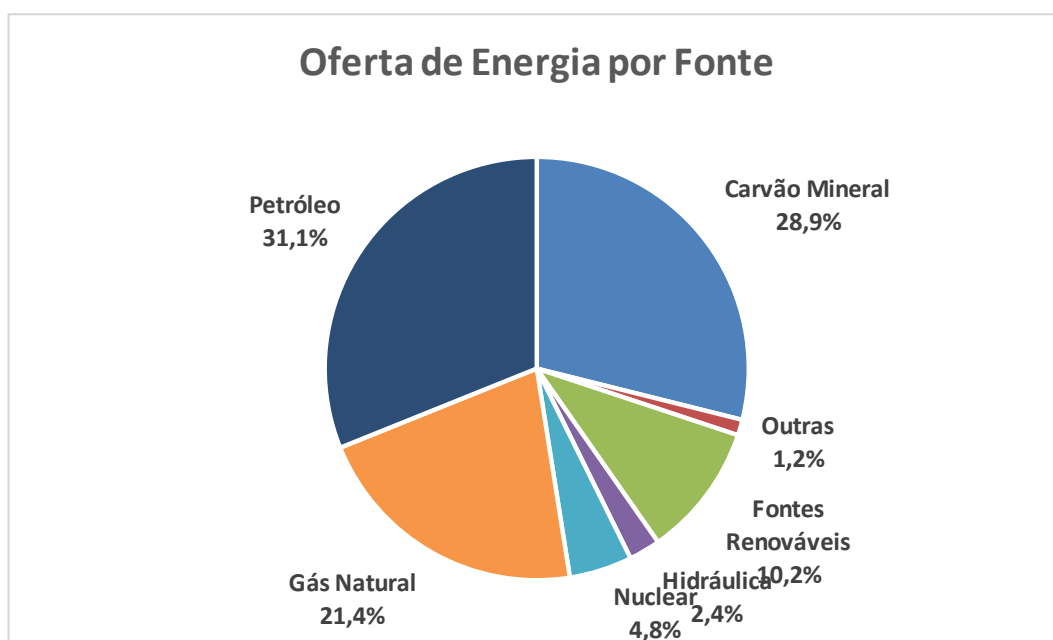


Figura 2 - Oferta mundial de energia por fonte.
Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA).

O Brasil precisa seguir investindo em fontes renováveis, mas ao mesmo tempo encontrar uma forma de diversificar a oferta de energia nacional que por concentrar na fonte hídrica enfrentou problemas em algumas situações. É possível notar na Tabela 1 que o crescimento da capacidade instalada de geração elétrica cresceu nos últimos seis anos a um ritmo de 5,07% a.a. enquanto as altas mais expressivas foram nas usinas que utilizam biomassa (16,64% a.a.), energia solar (96,80%) e energia eólica (52,02%) como fontes energéticas.

Capacidade Instalada de Geração Elétrica							
Usinas em Operação	2009	2010	2011	2012	2013	2014	CARG
UHE / Hidro	75.484	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	2,18%
PCH / Hidro	2.953	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	10,16%
CGH / Hidro	173	185	216	236	266	308	12,23%
EOL / Eólica	602	927	1.426	1.894	2.202	4.888	52,02%
SOL / Solar	-	1	1	2	5	15	96,80%
UTE / Termo	23.350	29.689	31.243	32.778	36.528	37.827	10,13%
Biomassa	5.717	7.927	9.028	9.923	11.601	12.341	16,64%
Bagaço	4.096	6.183	7.213	8.095	9.435	9.881	19,26%
Outras	1.622	1.744	1.815	1.828	2.166	2.460	8,69%
Biogás	45	68	71	79	80	70	9,24%
Capim Elefante	-	-	32	32	32	32	0,00%
Carvão Vegetal	25	25	25	25	25	51	15,33%
Casca de Arroz	31	19	33	36	36	38	4,16%
Gás de Alto Forno	85	88	88	93	93	108	4,91%
Lixívia	1.146	1.241	1.245	1.236	1.530	1.785	9,27%
Óleos Vegetais	-	-	4	4	4	19	68,10%
Resíduos de madeira	289	303	317	322	366	358	4,38%
Fóssil	16.754	20.373	20.818	21.444	23.590	24.149	7,59%
Carvão Mineral	1.530	1.944	1.944	2.304	3.389	3.389	17,24%
Gás de Refinaeria	282	305	305	342	254	321	2,62%
Gás Natural	9.755	11.255	11.525	11.439	12.300	12.550	5,17%
Óleo Combustível	1.564	2.732	3.028	3.801	3.965	4.065	21,05%
Óleo Diesel	3.491	4.007	3.885	3.427	3.551	3.692	1,13%
Óleo Ultraviscoso	131	131	131	131	131	131	0,00%
Efluentes Industriais	879	1.388	1.396	1.411	1.337	1.337	8,75%
Efluente Gasoso	211	211	211	211	162	162	-5,15%
Enxofre	57	57	57	60	60	60	1,03%
Gás de Alto Forno	200	207	212	212	216	216	1,55%
Gás de Processo	132	635	638	650	674	674	38,55%
Gás Siderúrgico	278	278	278	278	225	225	-4,14%
UTN / Nuclear	2.007	2.007	2.007	2.007	1.990	1.990	-0,17%
Total	104.569	113.327	117.135	120.975	126.743	133.913	5,07%

Tabela 1 - Capacidade Instalada de geração elétrica.
Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional, 2015.

3.2. Biomassa

Segundo Liu et al. (2012), a biomassa é considerada fonte renovável uma vez que as plantas sintetizam compostos químicos ao absorverem energia solar, e dióxido de carbono e água, enquanto liberam oxigênio. Este processo, ou ciclo contínuo, não conta com a intervenção humana. A combustão de biomassa libera energia, dióxido de carbono e água. A colheita sustentável e a utilização

da biomassa não afetam negativamente o meio ambiente e esta é neutra em emissão de carbono.

Segundo definição do Ministério de Minas e Energia (MME), em seu Plano Nacional de Energia (2030), o termo biomassa compreende a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como as florestas, as culturas e os resíduos agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos rejeitos industrial e urbano. Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros.

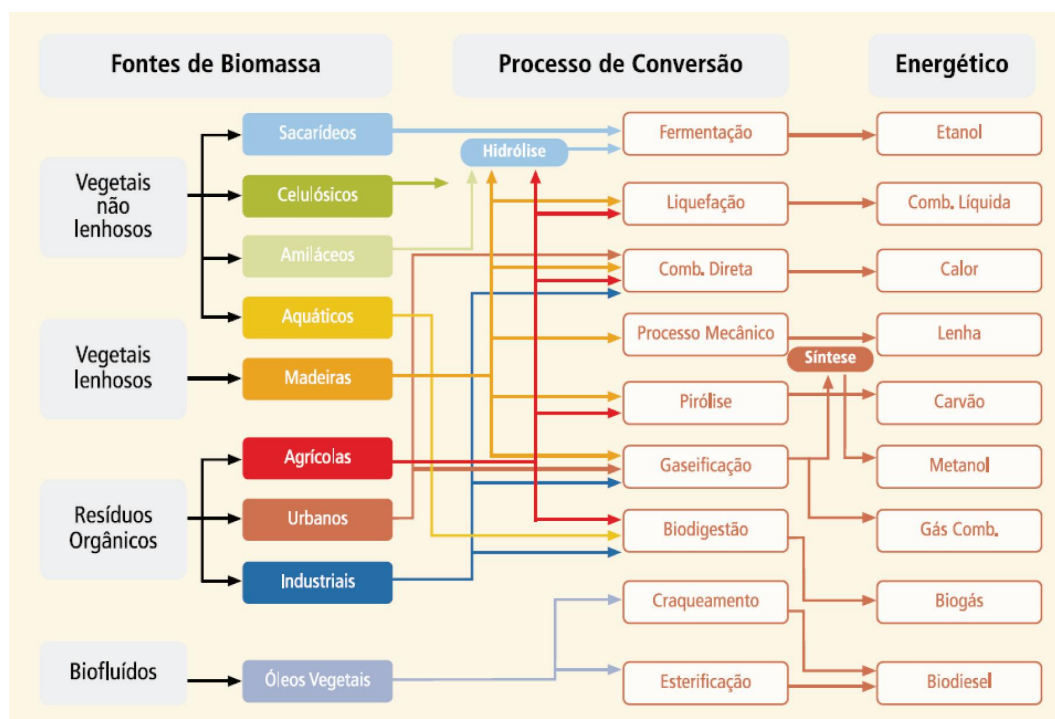


Figura 3 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.
Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2003 - ANEEL.

Na visão de Nogueira & Lora (2002), a biomassa como recurso energético pode ser apresentada em três grupos principais, diretamente relacionados com a origem da matéria que constitui os biocombustíveis. Estes grupos seriam:

- Biomassa energética florestal: são os biocombustíveis provenientes dos recursos florestais, seus produtos e subprodutos, que incluem

basicamente biomassa lenhosa, produzida de forma sustentável a partir de florestas cultivadas ou de florestas nativas, obtida por desflorestamento de floresta nativa para abertura de áreas para agropecuária, ou ainda originada em atividades que processam ou utilizam a madeira para fins não energéticos, destacando-se as indústrias de papel e celulose, moveleira, as serrarias etc.

- Biomassa energética agrícola: são os biocombustíveis provenientes das plantações não florestais, tipicamente originados de colheitas anuais, cujas culturas são selecionadas segundo as propriedades de teores de amido, celulose, carboidratos e lipídios, contidos na matéria, em função da rota tecnológica a que se destina. Podem ser divididos em duas subcategorias:
 - i. Culturas agro energéticas: utilizando principalmente rotas tecnológicas de transformações biológicas e físico-químicas, como fermentação, hidrólise e esterificação, empregadas para a produção de combustíveis líquidos, como o etanol, o biodiesel e óleos vegetais diversos. Integram estas culturas a cana-de-açúcar, o milho, o trigo, a beterraba, a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê, existindo uma grande variedade de oleaginosas a serem exploradas;
 - ii. Subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal: uma expressiva quantidade de subprodutos resultantes das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal é tratada como resíduo. No entanto, possui potencial energético importante que varia segundo a rota tecnológica empregada, podendo ser utilizada desde a transformação termoquímica (com combustão direta, pirólise ou gaseificação) até as transformações biológicas e físico-químicas, incluindo a digestão anaeróbica. Como exemplos destas culturas, temos a casca de arroz, a castanha de caju e esterco animal;
- Rejeitos urbanos: a biomassa contida em resíduos sólidos e líquidos urbanos tem origem diversa, e se encontra no lixo e no esgoto. O lixo urbano é uma mistura heterogênea de metais, plásticos, vidro, resíduos celulósicos e vegetais, e matéria orgânica.

Embora a biomassa seja a mais primitiva fonte energética, esta ainda é pouco utilizada comparada às demais fontes. No entanto, verifica-se um crescente apelo e incentivo para seu uso como resposta aos impactos ambientais gerados por combustíveis fósseis, devido a emissão de gases estufa. Há real possibilidade de uso adequado dos resíduos, preferencialmente com ganho financeiro, resultantes das atividades agrícolas.

A temperatura do ar da superfície terrestre tem aumentado significativamente nas últimas décadas, como resultado do aumento no uso dos combustíveis fósseis desde a Revolução Industrial no intuito de promover o crescimento e o desenvolvimento das indústrias e nações. Por algum tempo, o meio-ambiente e o crescimento sustentável foram ignorados ou mesmo relegados a segundo plano, mas grandes eventos naturais como tsunamis, e a relação entre o crescimento de queimadas e as pragas e doenças modernas, como as respiratórias, fizeram com que a população mundial começasse ou voltasse a se preocupar com a noção de sustentabilidade agora como necessidade para o desenvolvimento mundial.

Nesse contexto, aumenta o debate quanto à migração gradual para fonte renováveis de energia. Em 2016, por meio do o acordo da COP21, conferência sobre o clima realizada em Paris, instrumento ratificado por 195 nações, e pela primeira vez por nações de vanguarda como Estados Unidos, firmou-se o compromisso de limitar o aumento da temperatura da superfície terrestre a 1,5°C até 2100.

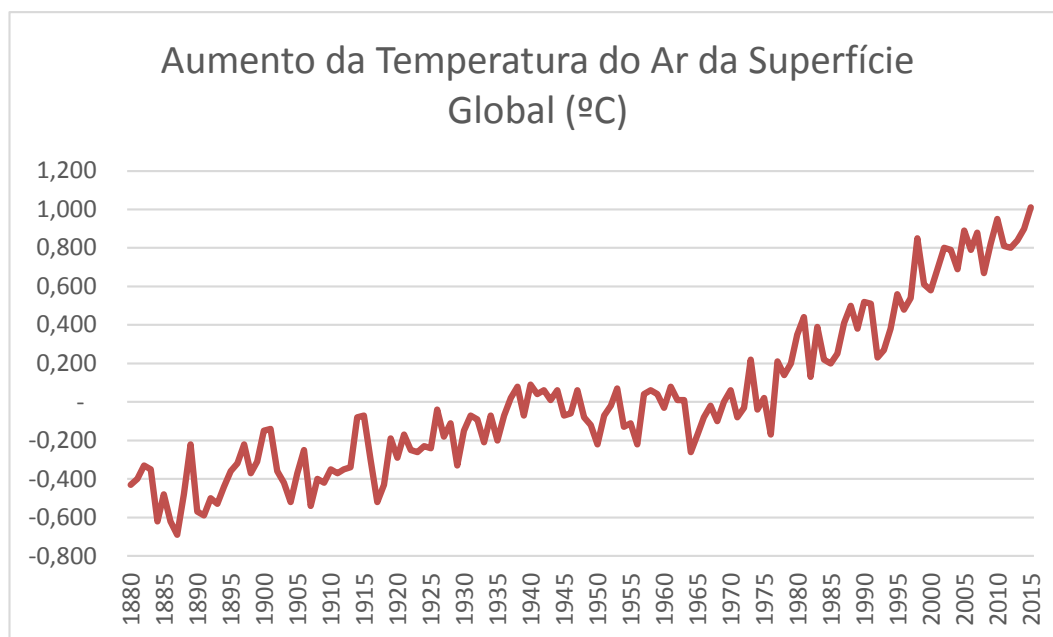


Figura 4 - Aumento da temperatura do ar da superfície global (°C).

Fonte: Goddard Institute for Space Studies – NASA.

3.3. Açaí

O açaí é o fruto de três espécies de palmeiras, de mesma família: *Euterpe edulis* Mart., *Euterpe oleracea* Mart., *Euterpe precatória* Mart., aquela nativa da Mata Atlântica e palmeira de tronco solitário, assim como esta última, nativa do Acre, Amazonas e Rondônia. A *Euterpe oleracea* Mart., palmeira de altura entre 10-20m, com troncos múltiplos em forma de touceira (com até 25 plantas), nativa da floresta tropical amazônica é, por isso, a espécie mais presente entre as demais diante da extensa área alagada, condição propícia ao seu bom desenvolvimento.

O açaí é um fruto pequeno, redondo, de cor roxa escura e aparência semelhante à de uvas. A semente do açaí é muito grande e ocupa a maior parte do fruto, sendo a relação de 85% de semente e 15% fruta (Nogueira, 2006).



Figura 5 - O açai.
Fonte: Acervo pessoal.

O epíteto genérico é uma homenagem a Euterpe, deusa da mitologia grega (Marchiori, 1995) e traduzido do grego significa “elegância da floresta” (Hodge, 1965), em alusão à beleza da planta. Já o nome específico “oleracea” significa “*que parece ou exala odor semelhante ao do vinho*”, devido à cor e ao aroma da polpa, principalmente quando em início de fermentação.

O açazeiro é nativo da Amazônia brasileira e o estado do Pará é o principal centro de dispersão natural dessa palmácea. Populações espontâneas também são encontradas nos estados do Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins; e em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (Panamá). No entanto, é na região do estuário do Rio Amazonas que se encontram as maiores e mais densas populações naturais dessa palmeira, adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (Nogueira, 2006).



Figura 6 - O açazeiro.
Fonte: Acervo pessoal.

Os frutos possuem uma única semente que ocupa a maior parte de seu volume. Esta é revestida por fibras filamentosas que são recobertas por uma fina camada comestível (mesocarpo e epicarpo), onde se inclui a polpa e também a casca (Del Pozo-Insfran et al., 2004; Lichtenthäler et al, 2005).

O fruto do açazeiro somente é consumido após processamento, pois apresenta escasso rendimento de parte comestível e sabor relativamente insípido. Além disso, o consumo direto dos frutos, devido à presença acentuada de antocianinas deixa nos lábios, dentes e gengivas manchas de coloração arroxeadas bem acentuadas e de aspecto desagradável. Na Amazônia brasileira o fruto é usado principalmente na obtenção da bebida açai, um refresco de consistência pastosa, obtido por extração mecânica, em máquinas despulpadoras ou manualmente. Essa bebida é obtida com a adição de água durante o processamento dos frutos, o que facilita, sobremaneira, as operações de despulpamento e filtração.

O açai é considerado alimento de alto valor calórico com elevado percentual de lipídeos e nutricional, pois é rico em proteínas e minerais. Rico em antocianinas, contém cerca de 1,02/100g de matéria seca (Nogueira, 2006). As antocianinas ajudam no combate aos radicais livres. Além disto, possuem função antioxidante que assegura melhor circulação sanguínea e protege o organismo contra o acúmulo de placas de depósito de lipídeos, causadores da arteriosclerose.

Com todos estes atributos nutricionais, o seu consumo se difundiu para outras áreas do Brasil a partir dos anos 90 e, posteriormente, a partir do ano 2000, para outros países, aumentando consideravelmente o volume de sua colheita e produção.

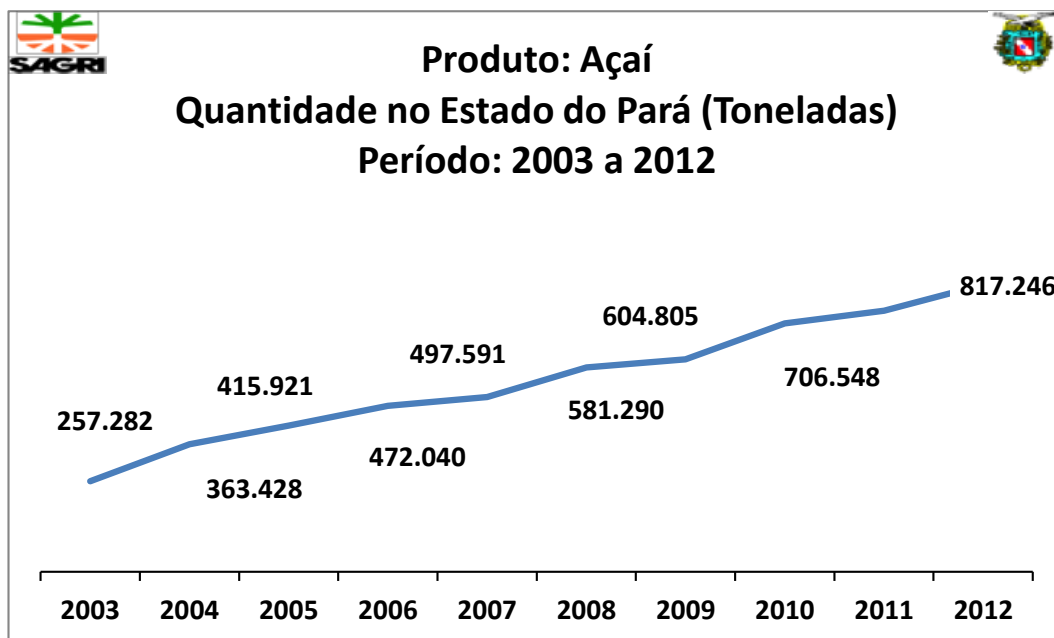


Figura 7 - Quantidade de açaí no Estado do Pará – 2003 a 2012.

Fonte: LSPA/IBGE (Elaboração: SAGRI/GEEMA)

A composição química do caroço de açaí indica concentração de lignina e celulose. O caroço do açaí apresenta um poder calorífico de 4.500 kcal/kg em média (Reis et al., 2002; Carneiro et al., 2013), próximo do potencial energético de outras biomassas utilizadas para geração de energia, como capim elefante e eucalipto.

Análise Química do Caroço do Açaí	
Extrato Estéreo	3,01%
Extrato Alcolico	9,32%
Extrato Aquoso	2,80%
Proteínas Brutas	4,34%
Hemicelulose	12,26%
Celulose	34,41%
Lignina	7,72%
Cinzas	1,34%

Tabela 2 - Análise química do caroço do açaí.

Fonte: Altman, 1956.

Fonte de Biomassa	Poder Calorífico (kcal/kg)	Umidade
Capim Elefante	4.200	15,00%
Eucalipto	4.735	30,78%
Açaí	4.500	30,00%

Tabela 3 - Poder calorífico e umidade por biomassa.

Fonte: Elaboração própria.

A indústria produtora da polpa de açaí descarta os resíduos. Após o beneficiamento do fruto para produção da polpa, os caroços são descartados e, em muitos casos, tal descarte é realizado de forma inadequada nos lixões, ruas ou no leito de rios próximos, gerando um impacto ambiental negativo. As fábricas que destinam corretamente seus resíduos utilizam parte destes para alimentar suas caldeiras e doam o excedente para olarias (lugar onde se fabricam peças de cerâmica, como telhas e tijolos) utilizarem em fornos para confecção de seus produtos. Em menor escala, os caroços podem ser utilizados para confecção de bijuterias e bio-jóias.



Figura 8 - Resíduos do açaí (caroços).

Fonte: Acervo pessoal.

Entretanto, as formas supracitadas constituem subutilizações da referida matéria, considerando que a indústria poderia utilizar seus resíduos para geração de energia elétrica limpa comercializando-a no sistema energético nacional, adicionando assim valor a seus negócios, além de contribuir para a matriz energética nacional. É o que será proposto a seguir, fazendo uso do método de avaliação por opções reais.

4

Modelagem e resultados

O modelo de precificação por opções reais tem como ponto de partida a análise do fluxo de caixa descontado de um projeto, isto é, o valor presente líquido do projeto, descontados ao custo médio ponderado de capital (WACC)². Serão apresentadas a seguir as premissas consideradas na modelagem financeira.

4.1.

Premissas do modelo

O projeto foi elaborado considerando a construção de uma planta termoelétrica com capacidade de geração de 10MW de energia elétrica a um investimento de capital na ordem de R\$70 milhões, ou seja, R\$7.000/MW médio, de acordo com outros projetos de mesma natureza.

Investimento:	t=0
CAPEX (R\$):	70.000.000
Capacidade (MW)	10
R\$/Mwmédio	7.000

Tabela 4 - Investimento de capital (CAPEX).
Fonte: Elaboração própria.

O poder calorífico do caroço do açaí, matéria-prima utilizada para a geração de energia elétrica, é de 4.500 kcal/kg. O volume disponível de caroço é dado por um volume diário de 100 toneladas de açaí, utilizados para a produção de polpa, onde 85% do volume do fruto é caroço e 15% é polpa, sendo 30% perda de volume devido à umidade.

Devido à sazonalidade encontrada na colheita e produção do açaí, foi considerada a disponibilidade de fruto por um período de 6 meses, com a média

² *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) – Custo Médio Ponderado de Capital em tradução livre.

de 30 dias por mês. O resultado disso é um volume de caroço (já seco e pronto para uso na termoelétrica) de 10.710 toneladas por ano, ou 56.051MWh/ano (6,4MW médio).

Produção:		
Volume diário	100	toneladas
% do caroço	85%	
perda (umidade)	30%	
Dias de produção/mês	30	
Meses de produção / ano	6	
Volume total / ano	10.710	toneladas
Energia:		
Poder Calorífico	4.500	Kcal/kg
Potencial Energético	56.051	MWh/ano
Potencial Energético	6,4	MW médio

Tabela 5 - Premissas de produção e potencial energético.
Fonte: Elaboração própria.

A taxa de crescimento da indústria de produção de polpa é esperada em 10% a.a. durante toda a vida útil do projeto. Neste momento surge a primeira opção real na análise do investimento. Considerando o volume atual de açaí, a taxa de crescimento apresentada e a capacidade da planta em 10MW, após o sexto ano a capacidade máxima da termoelétrica é alcançada e a empresa terá a opção de expandir sua capacidade mediante novo investimento de capital.

Evolução do projeto	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
Toneladas	10.710	11.781	12.959	14.255	15.681	17.249
MWh/ano	56.051	61.656	67.822	74.604	82.064	90.271
MWmed	6,4	7,0	7,7	8,5	9,4	10,3

Tabela 6 - Evolução de geração de energia do projeto.
Fonte: Elaboração própria.

Como existe incerteza em torno da taxa de crescimento da produção de polpa de açaí, que depende do comportamento do mercado e variáveis econômicas, optou-se por distribuir esta triangularmente, com máximo de 15% de crescimento a.a., mínimo de 5% a.a. e média de 10% a.a., seguindo estimativas informais do setor.

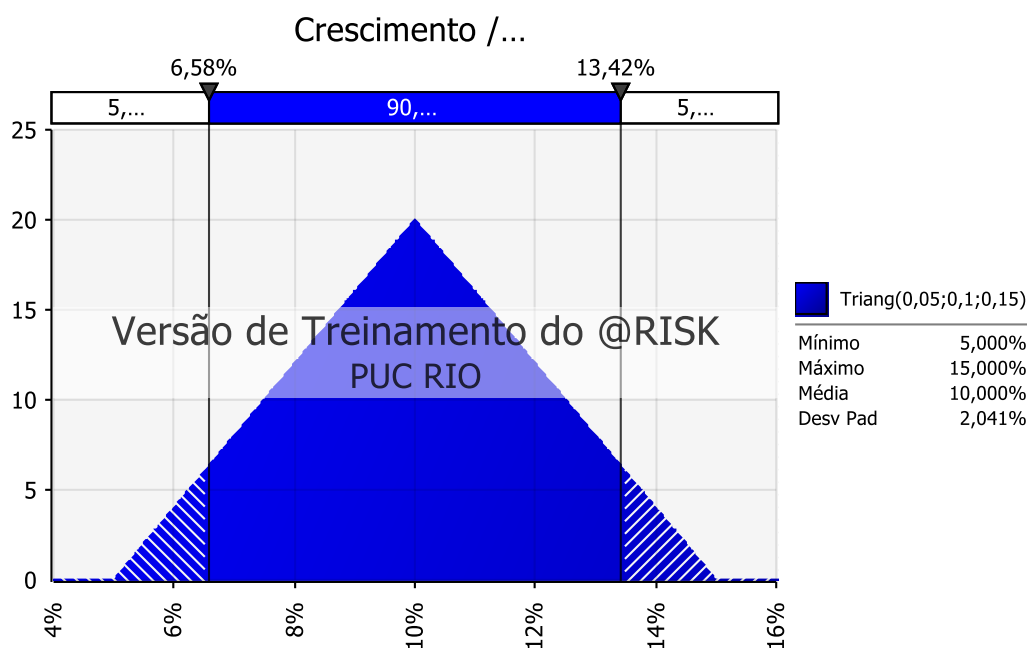


Figura 9 - Distribuição da taxa de crescimento da produção de polpa por ano.
Fonte: Elaboração própria.

O preço de venda da energia elétrica foi determinado a partir de uma curva *forward*. Sobre o preço futuro foi adicionado uma distribuição normal, com média de R\$160/MWh (curva *forward*) e desvio padrão de R\$20/MWh (+/-12,5%), vide gráfico abaixo. Cabe mencionar que o desvio padrão do preço *forward* é consideravelmente alto pois também contempla a incerteza em relação ao desconto na tarifa de uso que essa fonte poderá gerar, levando em conta que é uma fonte ainda inexplorada.

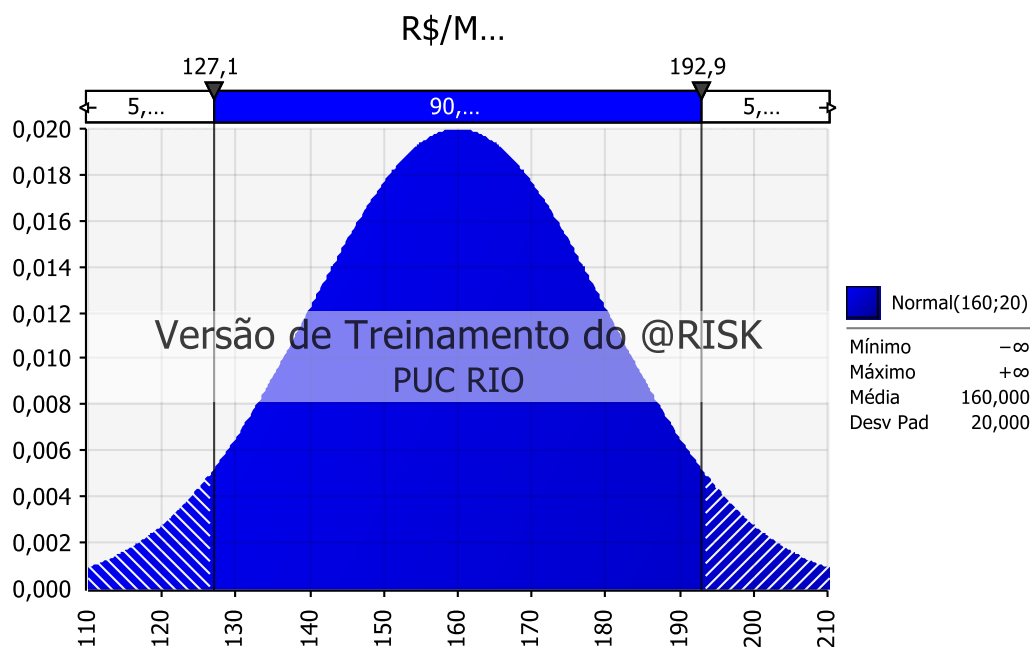


Figura 10 - Distribuição do valor da energia elétrica em R\$/MWh.
Fonte: Elaboração própria.

O custo da matéria prima será considerado zero, uma vez que caroço do açaí é um subproduto da produção da polpa e seu custo fora contabilizado nesta área do negócio. Como apresentado anteriormente, os caroços são ou descartados (adequadamente ou inadequadamente) ou doados.

O custo operacional é esperado na ordem de R\$15/MWh/ano (9,4% do preço de venda) e suficiente para cobrir sua manipulação, secagem e alimentação da termoeletrica, além de utilidades envolvidas. O custo de manutenção do equipamento já está considerado no valor presente do CAPEX. As despesas administrativas são previstas na ordem de R\$7,50/MWh/ano (4,7% do preço de venda) e destinadas a cobrir despesas com venda, administração de contratos, controle de recebíveis e contas a pagar, por exemplo.

O modelo considera que a planta termoeletrica será instalada próxima à área de produção da polpa de açaí, eliminando-se assim os custos de transporte dos insumos (biomassa).

Também existem incertezas quanto aos custos e despesas, e para o cálculo das opções reais foi considerado uma distribuição triangular do custo operacional, com valor máximo de R\$20/MWh/ano, mínimo de R\$10/MWh/ano e média de R\$15/MWh/ano. Para as despesas administrativas o valor máximo

considerado é de R\$10/MWh/ano, mínimo de R\$5/MWh/ano e média de R\$7,5/MWh/ano, conforme ilustrado abaixo. Estas distribuições foram estabelecidas pois não existem dados precisos sobre o custo operacional e despesa administrativa deste tipo de planta utilizando caroço de açaí como biomassa, e os valores considerados provêm de estimativas de executivos do setor.

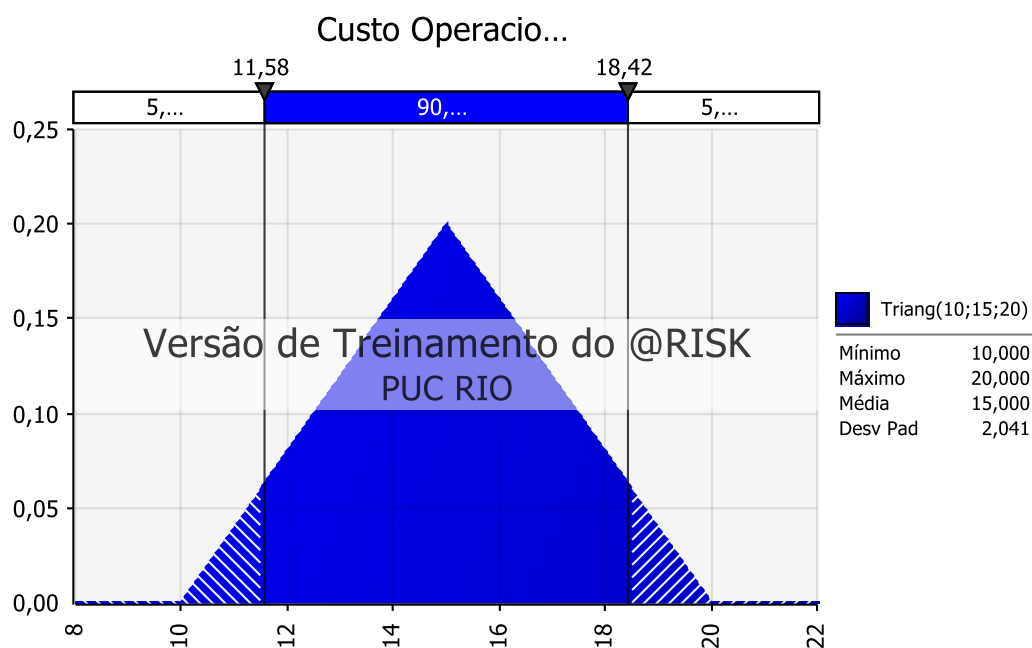


Figura 11 - Distribuição do custo operacional.
Fonte: Elaboração própria.

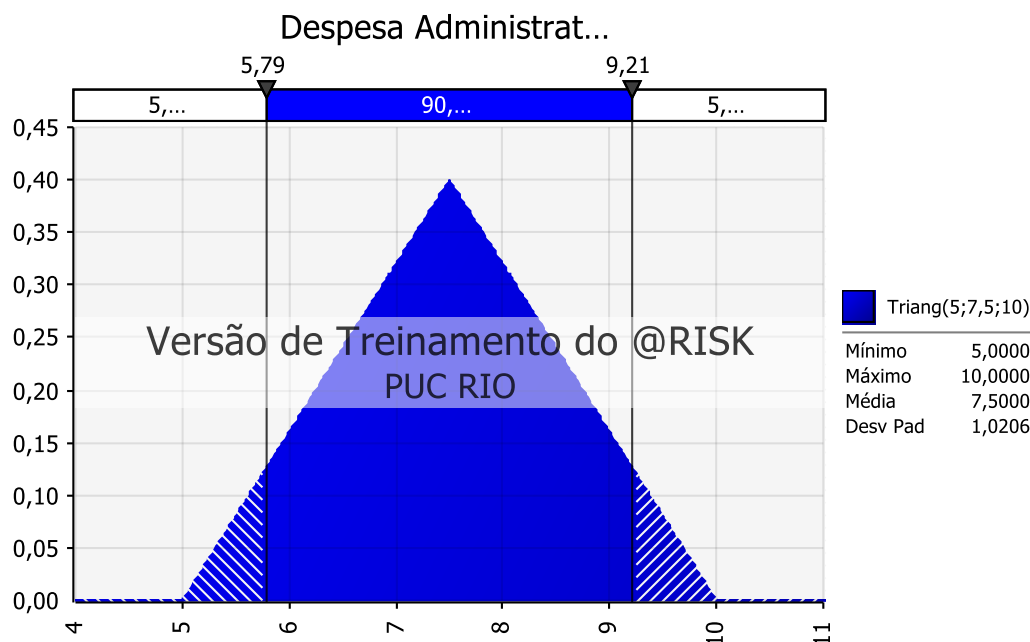


Figura 12 - Distribuição das despesas administrativas.
Fonte: Elaboração própria.

Devido à margem operacional robusta, o melhor regime tributário para este projeto é o do Lucro Presumido, e desta forma os impostos diretos incidentes na venda de energia são de 3,65% (PIS/COFINS). O Imposto de Renda (25%) e a Contribuição Social sobre Lucro Líquido (9%) são calculados sob uma base de 8% da Receita Líquida de Venda. Além do PIS/COFINS, incide na venda de energia elétrica a tarifa de uso do sistema de distribuição para geração (tugd-g), cujo valor é de R\$7,06/kw e o seu valor cobrado sobre a capacidade total, independentemente de seu uso total ou parcial.

Caso a empresa estivesse originalmente no Regime de Lucro Real, seria sugerida a formação de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) para aproveitamento dos benefícios de tributação do Regime de Lucro Presumido supracitados. No caso em questão, entretanto, a empresa já se enquadrava neste regime de tributação.

A depreciação foi considerada linear em dez anos e a vida útil do projeto de vinte anos, acompanhando o período de uma licitação desta natureza. Não são esperadas variações de capital de giro e nem valor residual do ativo ao fim de sua vida útil.

O fluxo de caixa do projeto nos seis primeiros anos do projeto é apresentado abaixo. Como não haverá crescimento de vendas de energia

elétrica no cenário de não expansão, devido à limitação da capacidade da planta termelétrica de 10MW atingida no sexto ano, o fluxo de caixa se repetirá desde então até o vigésimo ano.

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Demonstrativo Resultado (R\$000's)							
Receita de Vendas		8.968	9.865	10.851	11.937	13.130	14.016
Impostos Diretos (3,65%)		327	360	396	436	479	512
Receita Líquida		8.641	9.505	10.455	11.501	12.651	13.504
Custo de Produção		841	925	1.017	1.119	1.231	1.314
Tarifa de Uso do Sist. de Distr. para Geração		71	71	71	71	71	71
Despesas Administrativas		420	462	509	560	615	657
EBITDA	-	7.309	8.047	8.859	9.752	10.734	11.463
Depreciação	-	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
EBIT		309	1.047	1.859	2.752	3.734	4.463
IR/CSLL		244	268	295	325	357	381
LL		65	779	1.564	2.427	3.377	4.082
Demonstrativo Fluxo de Caixa							
LL		65	779	1.564	2.427	3.377	4.082
Depreciação		7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
Varição Capital Giro		-	-	-	-	-	-
CAR		0	0	0	0	0	
Estoque							
CAP		0	0	0	0	0	
Capital Operação	-	7.065	7.779	8.564	9.427	10.377	11.082
Desembolsos capital	-	70.000					
Atividade Investimento	-	70.000	-	-	-	-	-
Empréstimos							
Dividendos							
Contribuições Capital							
Atividade Financeira							
Fluxo de Caixa	-	70.000	7.065	7.779	8.564	9.427	10.377
							11.082

Tabela 7 - Demonstrativo de resultado do exercício e fluxo de caixa livre do projeto.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.

Custo médio ponderado de capital

O custo médio ponderado de capital (WACC) é obtido a partir da composição do capital que financia a empresa (capital próprio e de terceiros), ponderado por seus pesos (participações), e respectivos custos. Do custo da dívida extrai-se o seu benefício fiscal quando no Regime do Lucro Real, como o regime adotado é o do Lucro Presumido, este benefício não será capturado³.

$$WACC = KdB/(B + S) + KeS/(B + S) \quad (13)$$

A composição do capital se dará por 35% de capital de terceiros (B) e de 65% de capital próprio (S), mantendo a estrutura de capital da empresa e nível

³ Quando o regime de tributação é o Lucro Real, onde a base de cálculo do IR e CSLL é o EBIT, toda despesa paga a título de juros gera um benefício fiscal à empresa ao reduzir o lucro tributável e consequentemente o valor pago com os impostos federais. Neste caso o cálculo do WACC é dado por: $WACC = Kd(1 - T)B/(B + S) + KeS/(B + S)$

de alavancagem atual, não se tratando de um *Project Finance*. O Kd foi estabelecido como 8,45% a.a. nominal e descontado à inflação, considerada como centro da meta estabelecida pelo governo, de 4,5% a.a., por tratar-se de projeto de longo prazo. A taxa real obtida foi de 3,78% a.a.. O custo de 8,45% a.a. segue o custo de linhas de crédito obtidas pela empresa, acessando o fundo constitucional para o desenvolvimento do Norte (FNO – Amazônia Sustentável).

O Ke é obtido seguindo a fórmula do CAPM⁴:

$$K_e = R_f + \beta(R_m - R_f) + \text{Risco País} \quad (14)$$

Onde:

Rf = taxa livre de risco (*RiskFree*) e considerado como média aritmética do título da dívida norte-americana dos últimos 10 anos (5,31% nominal) descontado à inflação, CPI (*Consumer Price Index*), de mesmo período (2,38%). O Rf real encontrado é igual a 2,96%.

β = coeficiente de risco e o que foi utilizado é o do setor de utilidades norte-americano (*utilities general*) e da ordem de 0,57. Como o projeto está alavancado com 35% de dívida, utilizaremos o β alavancado na mesma proporção.

(Rm-Rf) = prêmio livre de risco, parcela de juros cobrada pelo mercado para assumir algum risco na tentativa de obter uma remuneração acima do risco livre (Rf). O prêmio de risco considerado foi a média aritmética mais longa (1928-2015) do prêmio de risco americano (*Stocks-T.Bonds*), para capturarmos diversos ciclos econômicos, crises e períodos de stress. O valor obtido é de 6,25%.

Risco País = parcela de risco considerada para ajustar o modelo ao mercado onde o projeto será realizado, neste caso o Brasil. O valor é obtido do índice EMBI+, no modelo considerando a média do índice para o ano de 2015, de 3,55%.

Desta forma temos que o Ke é de 10,06% a.a., Kd de 3,78% a.a. e WACC de 7,86% a.a., taxa que será utilizada para descontar os fluxos de caixa futuros à valor presente para obtermos seu valor presente líquido, VPL.

⁴Capital Market Asset Market (CAPM)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) independe do WACC, sendo ela a taxa de retorno do projeto analisado, que deve ser comparada ao custo de capital da empresa. A TIR do projeto sem flexibilidade foi de 12,69% e superior aos 7,86% do custo de capital, demonstrando que o projeto gera retorno aos acionistas e deveria ser levando adiante, mesmo sem flexibilidade.

De forma similar, o VPL demonstra a atratividade do projeto analisado. VPL acima de zero (positivo), é tido como um bom investimento, gerando valor aos acionistas. VPL abaixo de zero (negativo) significa destruição de valor do acionista, o projeto não remunerando o seu custo de capital. VPL neutro (zero) demonstra uma remuneração igual ao capital dos acionistas e sem geração de valor incremental. O VPL do projeto foi de R\$29,65M demonstrando sua atratividade aos acionistas e geração de valor.

WACC	7,862%
Kd - Real	3,78%
Ke - Real	10,06%
RF real	2,96%
Beta desalavancado	0,42
Dívida/capital próprio	35,00%
Beta alavancado	0,57
Prêmio Risco (RM-RF)	6,25%
Risco Brasil	3,55%
Taxa interna de retorno (TIR)	12,69%
Valor Presente Líquido (VPL)	29.665,5

Tabela 8 - Custo médio ponderado de capital (WACC), TIR e VPL.
Fonte: Elaboração própria.

4.3. Opções reais

No caso de a taxa de desconto exigida pelos acionistas for maior que 12,69%, o Valor Presente Líquido do projeto passaria para o campo negativo e, seguindo as métricas tradicionais de avaliação de investimento, o projeto seria descartado. Da mesma forma, diversos projetos atrativos são rejeitados por serem avaliados sob a ótica estática do fluxo de caixa descontado, enquanto a ótica dinâmica das opções reais captura possíveis mudanças de curso, a

possibilidade de a administração atuar no desenvolvimento do ativo e maximizar seus retornos mediante ações corretivas que acontecem no mundo real.

Seguindo o modelo de quatro etapas para o cálculo das opções reais sugerido por Copeland & Antikarov (2001), consegue-se identificar e precificar o valor das opções reais do projeto e otimizar a tomada decisão sobre o investimento analisando, maximizando o valor aos acionistas. O projeto em questão possui a opção de expansão de capacidade, esta opção é análoga à opção de compra (adquirir mais capacidade mediante investimento de capital) e será precificada a seguir.

O primeiro passo já fora realizado, o que facilita a introdução do modelo das Opções Reais ao ambiente corporativo, uma vez que o ponto de partida para a precificação das opções reais é o tradicional método de desconto de fluxos de caixa à valor presente, sem levar em consideração a flexibilidade.

Em seguida inserem-se as incertezas ao modelo determinístico (distribuição das premissas) e compara-se o valor do ativo no instante zero e o valor do ativo no instante um, esta última adotando a premissa que o investimento atrasaria um ano para ser realizado. A partir disto calcula-se a taxa de retorno entre os valores encontrados, através da equação (5). Esta taxa de retorno torna-se o output de uma simulação de Monte Carlo, com 10.000 iterações, onde obtém-se a volatilidade intrínseca do projeto, que é necessária para determinar os movimentos de subida e descida do ativo que resultarão em uma árvore de possíveis eventos.

Na terceira etapa identificaremos na árvore de eventos onde estão as opções reais (onde o valor da empresa aumenta se o exercício da opção for efetuado) e maximizaremos os resultados financeiros para a empresa de acordo com elas, incorporando as flexibilidades às tomadas de decisões ótimas.

A última etapa é o desconto destes resultados encontrados do exercício ou não das opções reais à valor presente, utilizando os modelos do portfólio replicante ou da abordagem neutra a risco.

4.3.1. Volatilidade

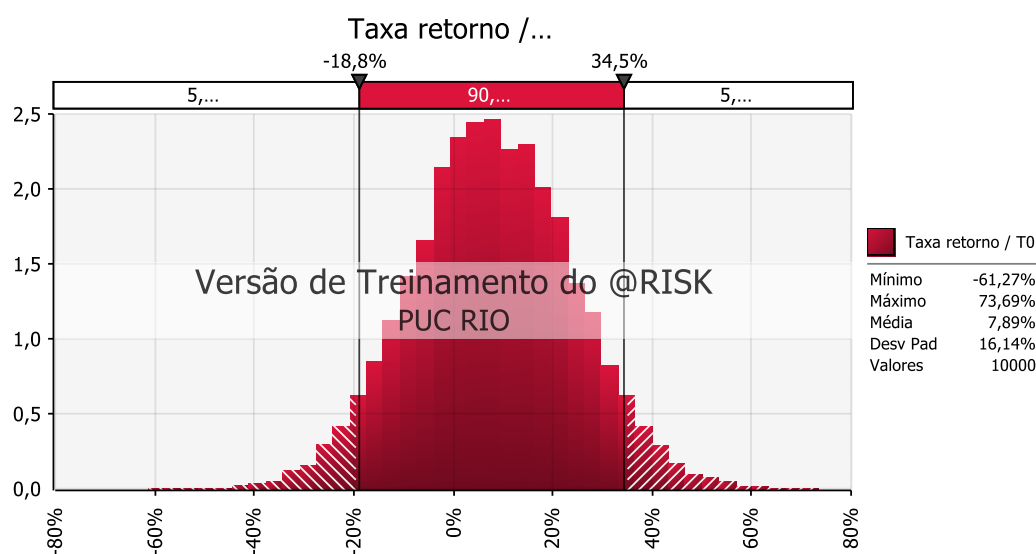
Para identificar a volatilidade de um ativo é preciso, inicialmente, calcular o valor do ativo em seu momento inicial ($\overline{VP}_0$, valor estático do VP inicial). O valor

do ativo é o valor presente dos seus fluxos de caixa esperados, sem considerar os investimentos de capital (CAPEX) e descontados ao custo médio de capital da companhia. Obtemos o valor do projeto em estudo como R\$99,65 milhões no instante zero.

No segundo momento, calculamos o valor do mesmo ativo no instante $t=1$ ($\widetilde{VP}_1$, valor estocástico da simulação do VP em $t=1$), no cenário do projeto ser atrasado em um ano. Encontramos o valor de R\$107,49 milhões.

Em seguida, utilizamos o software de simulação @Risk, para definir as distribuições das premissas que não são estáticas. Neste trabalho elas são o crescimento da receita, o preço da energia elétrica, os custos operacionais e despesas administrativas. Encontramos a variável estocástica z como: $\tilde{Z} = \ln\left(\frac{\widetilde{VP}_1}{\widetilde{VP}_0}\right) = 7,56\%$.

Estabelecidas as incertezas e inseridas no modelo, definimos a variável que será analisada, a variável que sofrerá alterações de valor devido às incertezas adicionadas ao modelo. A taxa de retorno do ativo no ano um em relação ao valor do ativo no ano zero, a variável estocástica z obtida acima, é a métrica que desejamos analisar no intuito de obter a volatilidade em função das incertezas acrescentadas ao modelo. Simulamos os resultados através de 10.000 iterações na simulação de Monte Carlo e observamos na figura 14 o resultado obtido:



Observamos uma volatilidade de 16,14% no ativo estudado. A partir desta volatilidade é possível definir os movimentos de subida e descida do valor do ativo ao longo da vida útil do projeto.

A abordagem GCE de BDH (2001) não foi utilizada uma vez que o preço da energia elétrica é fixo, foi utilizado uma tarifa de longo prazo obtido através de uma curva futura (*forward*) que não será reajustado anualmente, sendo assim trabalhar com uma volatilidade fixa é apropriado.

4.3.2. Árvore de eventos

O relacionamento entre os movimentos de subida e descida estabelecido por CRR nos permite montar uma árvore dos eventos possíveis a partir da volatilidade (desvio padrão) da taxa de retorno anual do ativo de risco estudado. Este resultado foi demonstrado nas equações (4.1) e (4.2).

Como o T, número de anos, e n, número de subintervalos, são o mesmo, o movimento de subida u, é calculado no Excel como $= \text{EXP}(\text{volatilidade})$ e o movimento de descida é dado por $1/u$. Encontramos o valor de subida, u, de 1,18 e de descida, d, de 0,85.

Partindo do valor do ativo no ano zero de R\$99.655e obedecendo aos movimentos de subida e descida para os anos subsequentes, montamos a seguinte árvore de eventos:

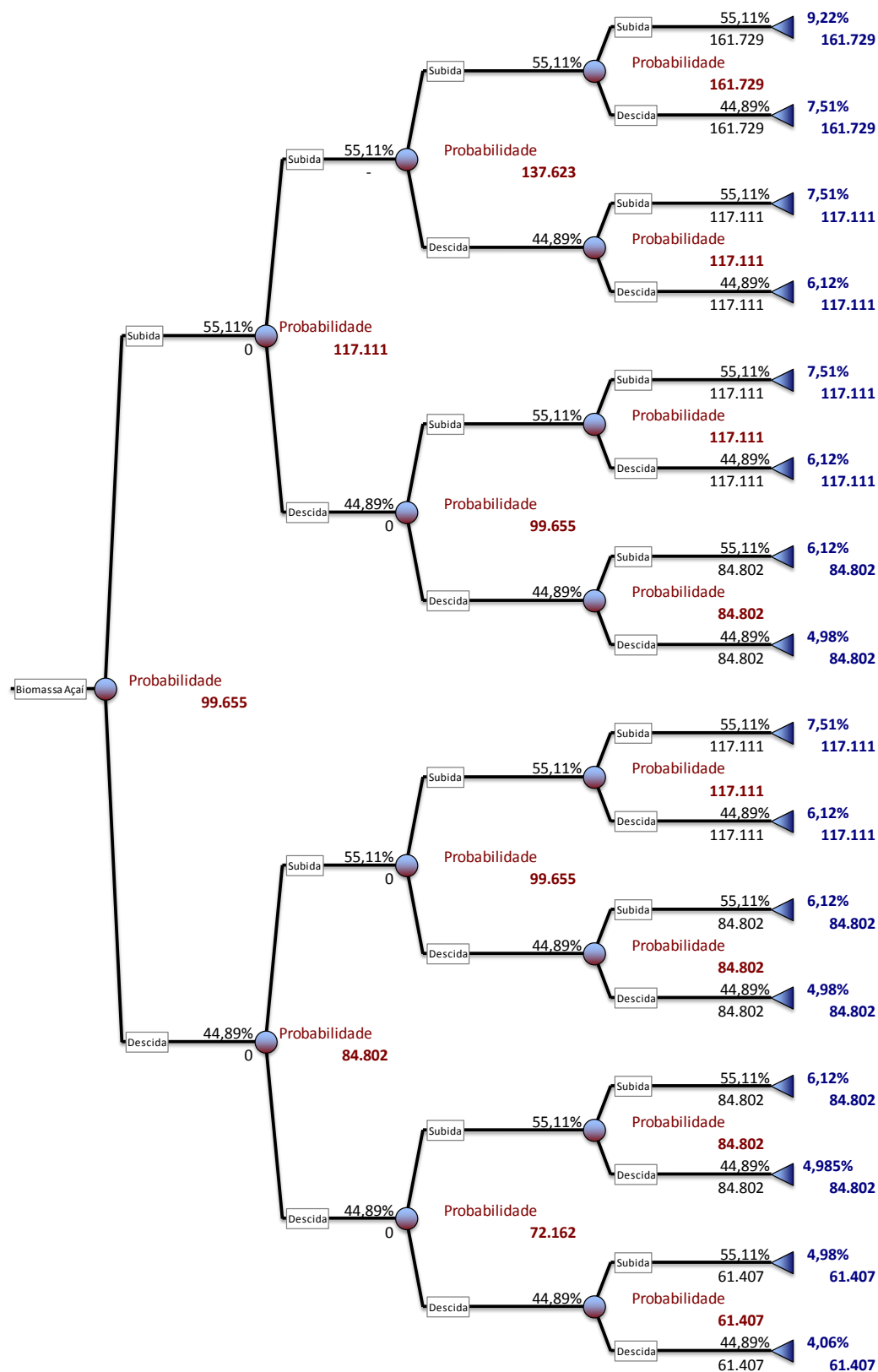


Figura 14 - Árvore de eventos.
Fonte: Elaboração própria.

4.3.3. Árvore de decisão

Com a árvore de eventos estabelecida e sabendo que no sexto ano o projeto chega a sua capacidade máxima, de 10MW de potência, temos a opção de expandir a capacidade da termoeletrica com investimento de outros R\$70M (preço de exercício da opção) e incrementar a capacidade em outros 10MW.

Determina-se o ano para exercer esta opção de expansão e então o valor do exercício da opção é calculado, maximizando o valor encontrado na árvore de eventos, vide figura 15, descontado o valor do exercício da opção (investimento em expandir a capacidade) e zero, valor de não fazer um novo investimento e manter a capacidade atual de 10MW. Faz-se isso para todos os valores encontrados no ano de exercício da opção.

Em seguida, calcula-se o portfólio que servirá de hedge para o projeto, definindo-se as probabilidades para que o projeto seja neutro a risco.

$$\frac{(1+rf)-d}{u-d} + \frac{u-(1+rf)}{u-d} = 1 \quad (15)$$

Sendo p o primeiro termo da equação e q o segundo, temos que p é igual a 55,11% e que q é 44,89%, onde q equivale a 1-p. Obedecendo a estas probabilidades e a taxa livre de risco real de 2,96% a.a. para trazer os resultados dos anos no futuro para o valor presente das tomadas ótimas de decisão, a árvore de decisão segue apresentada no diagrama abaixo, considerando o exercício da opção em T=3, terceiro ano do projeto estudado.

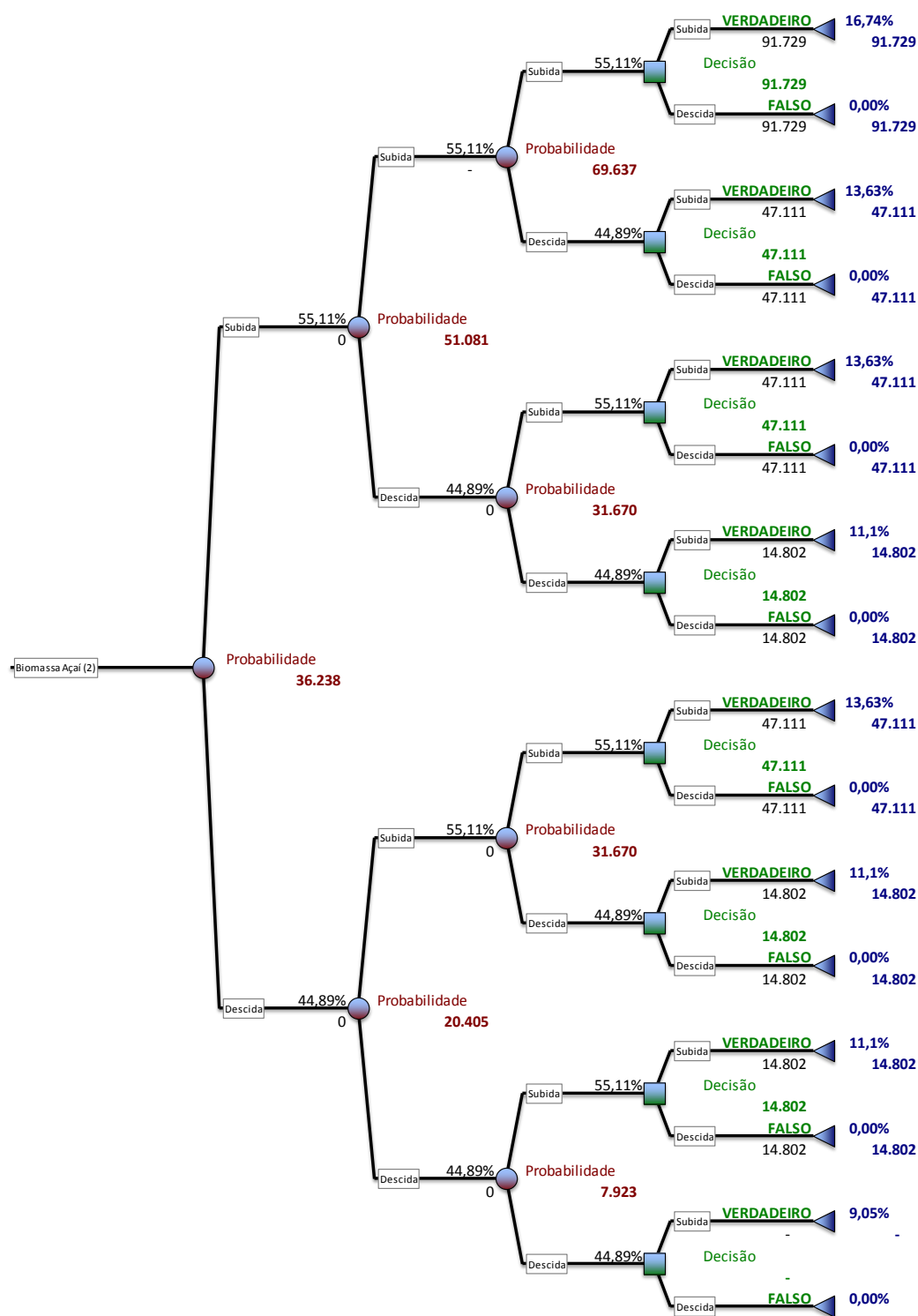


Figura 15 - Árvore de decisão e exercício da opção.
Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que onde aparece VERDADEIRO as decisões de investimentos são consideradas enquanto as denominadas FALSO são preteridas. Além disso, os ramos da árvore que indicam valores zerados demonstram que para estes

casos o projeto não deve ser ampliado, a opção não deve ser exercida, como a extremidade inferior da árvore, caso de subseqüentes eventos de descida, ano após anos. Por outro lado, nos ramos da árvore onde encontram-se valores positivos, estes demonstram que o exercício das opções reais adiciona valor ao projeto, indo de R\$14,8M até R\$91,7M. A probabilidade de exercício da opção é de 90,95% e estes valores descontados à valor presente, obedecendo a probabilidade neutra a risco e respeitando a taxa livre de risco e a equação (11), adicionam R\$36,24M ao projeto, quando exercemos a opção de expansão no terceiro ano de vida do projeto.

O valor adicionado de R\$36,24M ao exercer-se a opção de expansão da capacidade da planta de energia, incrementa o valor do ativo em 36,4%. Se a opção for exercida no ano cinco, o valor adicionado passa a ser R\$40,40M, equivalente a 40,5% do valor do ativo.

Logo, constata-se que o método de precificação por opções reais incorpora substancial resultado à avaliação deste investimento, apresentando um valor 22% superior ao fluxo de caixa descontado, dando maior respaldo à organização para a tomada de decisão de investir-se no projeto ora apresentado.

Da mesma forma que o projeto chega a capacidade máxima no sexto ano do projeto e se mostra vantajoso ampliar a capacidade adquirindo outros 10MW, o mesmo se observa no ano doze e dezesseis, onde o limite de 20MW e 30MW seriam obtidos, respectivamente, vide figura 18 abaixo, sugerindo que novas expansões seriam necessárias para o total aproveitamento dos resíduos gerados durante a vida útil deste projeto.

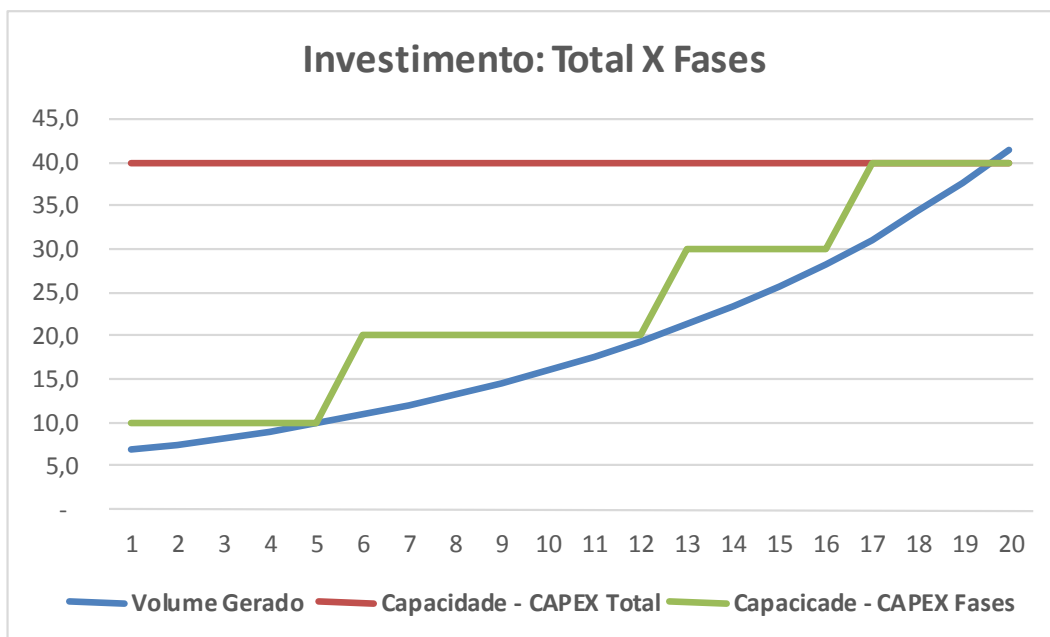


Figura 16 - Investimento total vs. Investimento em fases.
Fonte: Elaboração própria.

4.4. A sensibilidade do modelo

Quando se analisa o valor das opções em função da variação de suas principais premissas consegue-se verificar algumas características importantes do método de avaliação por opções reais, uma delas demonstrada pelo crescimento do valor da opção conforme mais volatilidade é adicionada ao modelo.



Figura 17 - Valor da opção por % de volatilidade.
Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que com a volatilidade de 5% a opção de expansão vale R\$39,2M no ano 5, ou 39,3% do valor do ativo. Quando esta passa para níveis mais altos, entretanto, como 40% por exemplo, seu valor de exercício da opção passa a ser de R\$50,4M, ou 50,6% do valor do ativo objeto, um aumento de 29% no valor da opção.

Outra característica importante das opções reais é sua variação em relação ao preço de exercício, que no caso da opção de expansão equivale ao CAPEX necessário para adquirir mais capacidade para a planta energética. Quanto menor o CAPEX, mais propensa estará a empresa à expansão, enquanto que mais CAPEX significa que a probabilidade de executar a opção diminui. Para um CAPEX de R\$35M o valor da opção é de R\$69,4M, enquanto para um CAPEX de R\$105M, o valor da opção cai para R\$18,9M, uma redução de 73% no valor da opção para um aumento de 200% do CAPEX.

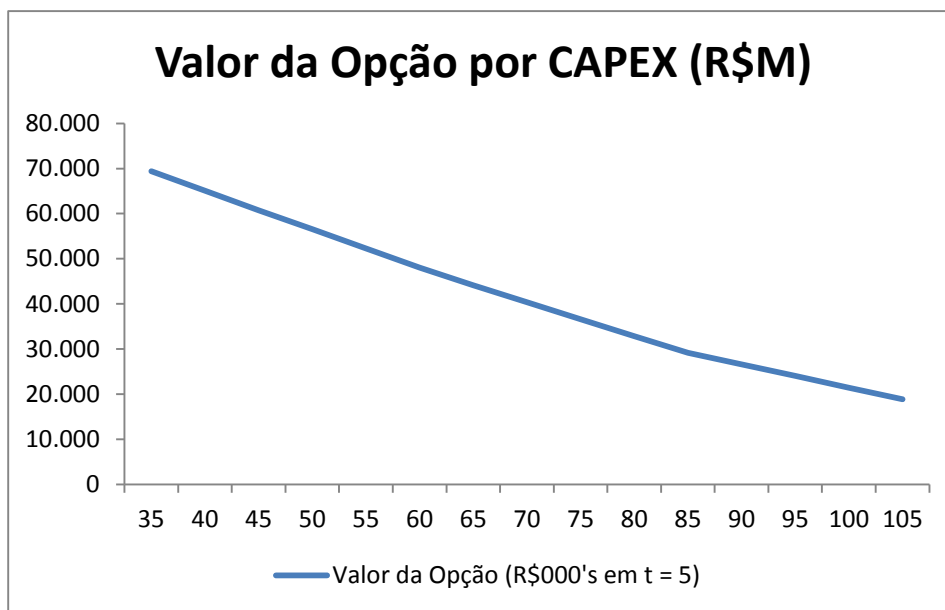


Figura 18 - Valor da opção por CAPEX.

Fonte: Elaboração própria.

Outra premissa do cálculo das opções, o tempo de exercício, influencia o valor da opção na medida que novos eventos acontecem e mais certeza sobre o projeto passamos a ter. Por outro lado, em projeto com prazo limitado, o tempo de aproveitamento do incremento gerado pelo exercício da opção vai diminuindo ao passar dos anos, e sendo assim, menor aproveitamento da expansão é observado, fato que pode ser visto a partir de uma menor taxa de retorno nos anos mais avançados e menor inclinação da curva.

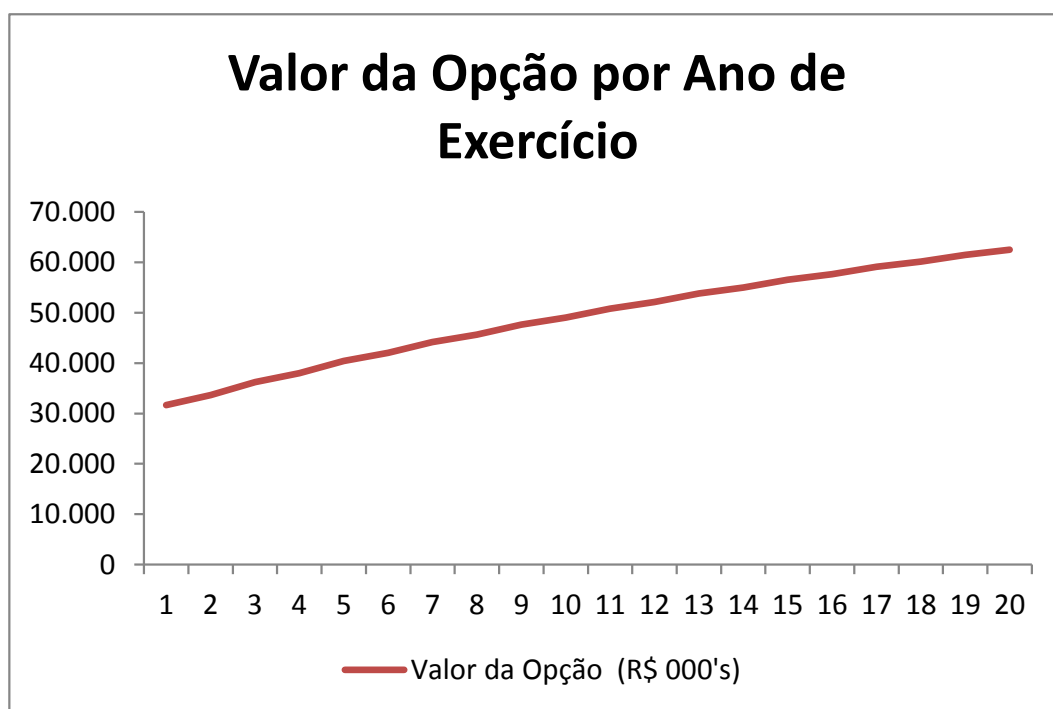


Figura 19 - Valor da opção por ano de exercício.
 Fonte: Elaboração própria.

Além das principais premissas do cálculo das opções reais, projetos desta natureza estão sujeitos a variações das condições macroeconômicas, que neste estudo poderiam se refletir sobre o preço da energia. O contrato de longo prazo considerado tem como base o ano de 2015, no caso de o projeto ser implementado posteriormente, a curva *forward* do preço de energia seria outra e por isso analisar a sensibilidade do modelo em função do preço de energia é importante. O gráfico ilustra o que intuitivamente já era esperado, o valor da opção cresce à medida que o preço de energia aumenta, mantidas as demais premissas constantes. Para um crescimento do preço da energia de 156%, o valor da opção de expansão aumenta em 2869%.

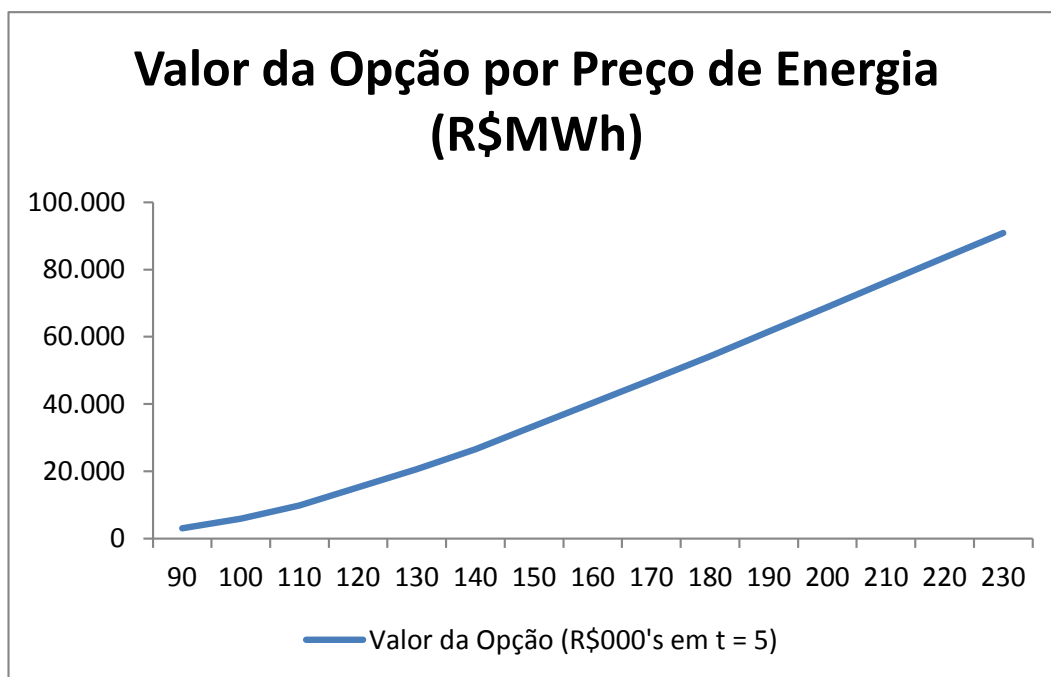


Figura 20 - Valor da opção por preço de energia elétrica.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a alavancagem financeira também é componente importante do resultado apresentado, uma vez que o valor do ativo altera-se significativamente em função da taxa de desconto considerada e esta é influenciada pelo relacionamento de capital de terceiros e capital próprio, de tal forma que analisando o valor da opção de expansão em função da estrutura de capital da empresa, nota-se que o valor de exercício da opção sobe à medida que aumenta-se a alavancagem financeira, dado que o WACC aproxima-se ao K_d real de 3,78% que é inferior ao K_e real, que aumenta ao passo que o beta alavancado vai se ajustando para a nova estrutura de capital. Um ponto relevante é a capacidade de alavancagem da empresa, que possivelmente teria sua linha de crédito revisada à medida que mais exposição assumisse à capital de terceiros.



Figura 21 - Valor da opção por nível de alavancagem.
Fonte: Elaboração própria.

5 Conclusão

Observou-se que o Brasil tem grande parcela de energia renovável em sua matriz se comparado aos demais países do cenário mundial. Entretanto, a concentração em fontes predominantemente hídricas expõe o país a riscos notavelmente desnecessários, se considerar-se as soluções apresentadas no decorrer deste trabalho, a exemplo da diversificação e intensificação de exploração de outras fontes de energia renovável, com destaque para a biomassa. Neste intuito, foi apresentado o caso do açaí e o potencial uso do seu caroço, resíduo no processo de produção de polpa.

As tradicionais ferramentas de avaliação de investimento à base de fluxo de caixa descontado, como VPL e TIR, não capturam o valor de flexibilidades inerentes aos ativos reais, como a opção de expansão existente na termoelétrica analisada. Assim sendo, terminam por subavaliar o retorno de investimentos bem como os seus riscos, além de permitirem premissas subjetivas em seus modelos. De outro lado, o modelo de precificação por opções reais utiliza primordialmente premissas do mercado financeiro e do próprio ativo objeto para avaliar investimentos, revelando-se uma ferramenta mais técnica e robusta, com menor margem para subjetividade.

A análise por opções reais pode gerar cenários favoráveis para a implementação de projetos que utilizam biomassa como fonte de energia. Nota-se que este método, além de capturar o real valor do ativo, é uma ferramenta importante para a gestão de projetos de tal sorte a elevar a discussão sobre as principais premissas consideradas (*drivers*) e riscos do projeto, podendo promover o envolvimento de todo o corpo técnico e executivo, e melhorando assim a forma das empresas avaliarem seus investimentos.

O fato de o primeiro passo da análise por opções reais ser o fluxo de caixa descontado, pode facilitar a propagação do uso deste modelo. O elevado número de trabalhos relacionados a este assunto e o grande valor extraído em diversos exemplos demonstra que esta ferramenta deve ser mais utilizada por empresas já que a complexidade matemática não é grande ao ponto de inviabilizar o seu uso.

No caso da termoeletrica à base de biomassa do caroço do açaí, ficou evidenciado que o exercício da opção no terceiro e quinto ano adicionam valor ao negócio na ordem de R\$36,2M (+36,4% sobre o valor do ativo) e R\$40,4M (+40,5% sobre o valor do ativo), respectivamente. Foi apresentado também quão sensível é a análise das opções reais à volatilidade do projeto, ao preço de exercício da opção e à sua vida útil. Ficou evidente também, no caso estudado, como negócios são alterados em razão de condições externas, como o preço de energia e a propensão à risco das instituições financeiras e empresas, representada pela alavancagem financeira.

Apresentada a viabilidade deste projeto em uma empresa privada, sugere-se replicar o modelo a fim de que este se torne uma política pública, já que, com o engajamento do Estado na união de diversas empresas, é possível tomar maiores proporções de escala e alcance. À título de ilustração, o total de energia gerada a partir da biomassa do caroço do açaí no estado do Pará, cuja produção de açaí no ano de 2012 foi de 817.246 toneladas, poderia ser da ordem de 488 MW.

Este trabalho analisou a propriedade energética do caroço do açaí, entendendo, entretanto, do valor que pode existir também na extração de óleo contido neste. Neste caso, além da opção de expansão ora apresentada, poderia ser estudada a opção de troca entre a geração energética e a extração de óleo, a depender das características do óleo contido no caroço, bem como do valor deste comparado ao valor da energia elétrica, podendo esta temática ser objeto de trabalhos futuros.

Incentivos fiscais, como os geridos pela SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia) e SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), destinados a regiões menos desenvolvidas, como a região Norte do Brasil, onde se encontra o maior volume da matéria-prima estudada, o açaí, também não foram consideradas para simplificação do modelo.

Fontes de biomassa alternativas ao caroço do açaí não foram analisadas neste trabalho, como o capim elefante, o bagaço da cana-de-açúcar, o eucalipto e outras fontes, o que pode futuramente ser fruto de trabalhos de opções de troca entre as diversas fontes de biomassa para uso em plantas termoeletricas.

6

Referências bibliográficas

ALTMAN, R.F.A. **O caroço de açaí (Euterpe oleracea Mart.)**. Belém: Instituto Agrônômico do Norte. v. 31, p.109–111, 1959.

AMRAM, M.; KULATILAKA, N. **Real Options**: managing strategic investment in an Uncertain world. Boston: Harvard Business School Press, 1999.

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

BASTIAN-PINTO, D.L.C.; BRANDÃO, T. L. E.; HAHN, J. W. Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: The ethanol case. **Energy Economics**, v. 31, p. 411-422, 2009.

BRANDÃO, T. L. E.; DYER, S. J.; HAHN, J. W. Volatility estimation for stochastic project value models. **European Journal of Operational Research**, v. 220, p. 642-48, 2012.

BRANDÃO, T. L. E.; PENEDO, M. G.; BASTIAN-PINTO, D.L.C. The value of switching inputs in a biodiesel production plant. **European Journal of Finance**, v. 211, p. 1-15, 2011.

BRANDÃO, T. L. E.; BASTIAN-PINTO, D.L.C.; GOMES, L, L.; SALGADO, S.M. Incentivos Governamentais em PPP: Uma análise por Opções Reais. **RAE, Rev. Adm. Empresas FGV**, v. 52, N. 1, p. 10-23, 2012.

Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor. **Consumer Price Index**. Disponível em: <<http://data.bls.gov/pdq/SurveyOutputServlet>>. Acesso em: 25 set. 2015.

CARNEIRO, S. J.; CAVALCANTE, S. B.; SILVA, B. D. M.; SILVA, S. R. Estudo de viabilidade do aproveitamento energético da queima de caroços de açaí produzidos no município de Castanhal-PA. **Amazônia em foco**, v. 1, p. 47-63, 2013.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Real Options**: a practitioner's guide. UK: Cengage Learning, 2003.

COX, C. J.; ROSS, A. S.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: A simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, p. 229-263, 1979.

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

Damodaran Online. **Annual Returns on Stock, T.Bonds and T.Bills: 1928 – Current**. Disponível em: <pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Acesso em: 25 set. 2015.

DEL POZO-INSFRAN, D.; BRENES, C. H.; TALCOTT, S. T. Phytochemical Composition and pigment Stability of Açaí (Euterpe oleracea Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1539-1545, 2004.

DIAS, A. M. A. C.; BASTIAN-PINTO, D.L.C.; BRANDÃO, T. E. L.; GOMES, L. L. Flexibility and Uncertainty in Agribusiness Projects: Investing in a Cogeneration Plant. **RAM, Rev. Adm. Mackenzie**, v. 12, N. 4, p. 105-126, 2010.

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

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional (BEN), 2015**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2015.

Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia (PNE), 2030**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2015.

FONTOURA, F. C.; BRANDÃO, T. L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass bio refineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, xxx, p. 1-9, 2014.

Goddard Insitute for Space Studies – NASA. **Global Annual Mean Surface Air Temperature Change, 2016**. Columbia, 2016. Disponível em: <data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/>. Acesso em: 10 jan. 2016.

HODGE, W.H. Palm cabbage. **Principes**. v. 9, p. 124-131, 1965.

International Energy Agency. **Key World Statistics, 2015**. Paris, 2015. Disponível em: <www.iea.org/publications/freepublications/publications/key-world-energy-statistics-2015.html>. Acesso em: 10 jan. 2016.

IPEA Data. **EMBI+ Risco-Brasil**. Disponível em: <www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=40940&module=M>. Acesso em: 25 set. 2015.

LICHTENTHÄLER, R.; RODRIGUES, R.; MAIA, J.; PAPAGIANNOPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F. Total oxidant

scavenging capacities of açai (*Euterpe oleracea Mart.*) fruits. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 1, n. 56, p. 53-64, 2005.

LIU, S.; ABRAHAMSON, P. L.; SCOTT, M, G. Bio refinery: Ensuring biomass as a sustainable renewable source of chemicals, materials, and energy. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 1-4, 2012.

MARCHIORI, J.N.C. **Elementos de dendrologia**. Santa Maria: UFSM, 1995. 163p.

NOGUEIRA, O. L. **Sistema de Produção do Açaí**. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, Dezembro. 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai_2ed/index.htm>. Acesso em: 20 dez. 2015.

OLIVEIRA, D. L. D.; BRANDÃO, T. L. E.; IGREJAS, R.; GOMES, L, L. Switching outputs in a bioenergy cogeneration project: A real options approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 74-82, 2014.

OLIVEIRA, G. R.; MARRECO, M. J. Natural gas power generation in Brazil: New window of opportunity? **ENERGY POLICY**, v. 34, p. 2361-2372, 2006.

PALENCIA, A. P. L.; TALCOTT, M. S.; TALCOTT, T. S. Chemical Composition, Antioxidant Properties, and Thermal Stability of a Phytochemical Enriched Oil from Açai (*Euterpe oleracea Mart.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 4631-4636, 2008.

REIS, O. B.; SILVA, T. I.; SILVA, O. M. I.; ROCHA, P. R. B. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açai**. Pará, 2002. 6p. Universidade Federal do Pará.

Secretaria Estadual de Desenvolvimento Agropecuário e Pesca (SEDAP). **Açaí (2003-2012): Quantidade no Estado do Pará**. Pará, 2015. Disponível em: <sedap.pa.gov.br/pagina/agricultura>. Acesso em: 10 jan. 2016.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach**. Califórnia, 1979. 103 p. Doctor of Philosophy in Business Administration – Graduate Division of University of California, Berkeley.