

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM APLICAÇÃO NO APROVEITAMENTO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

ROSANA CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**TD 03 / 2015**

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ROSANA CAVALCANTE DE OLIVEIRA

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM APLICAÇÃO NO APROVEITAMENTO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

TD: 03 / 2015

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ROSANA CAVALCANTE DE OLIVEIRA

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM APLICAÇÃO NO APROVEITAMENTO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

Tese submetida à Banca Examinadora  
do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica da UFPA para a  
obtenção do Grau de Doutor em  
Engenharia Elétrica na área de Sistema  
de Energia Elétrica.

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Oliveira, Rosana Cavalcante de, 1983-  
Metodologia de análise de risco de investimento em  
projetos de eficiência energética com aplicação no  
aproveitamento da biomassa residual do dendê na amazônia  
/ Rosana Cavalcante de Oliveira. - 2015.

Orientadora: Maria Emília de Lima Tostes.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do  
Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém,  
2015.

1. Energia - fontes alternativas. 2.  
Recursos energéticos. 3. Biomassa. 4. Política  
energética - aspectos econômicos. 5. Dendê. I.  
Título.

CDD 22. ed. 333.47621.31

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM APLICAÇÃO NO APROVEITAMENTO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

AUTOR: ROSANA CAVALCANTE DE OLIVEIRA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA  
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA  
ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA

APROVADA EM \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dra. Maria Emília de Lima Tostes  
(ORIENTADORA - PPGEE/UFPA)

---

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra  
(MEMBRO - PPGEE/UFPA)

---

Prof. Dr. João Paulo Abreu Vieira  
(MEMBRO - PPGEE/UFPA)

---

Prof. Dra. Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte  
(MEMBRO - FAQUI/UFPA)

---

Prof. Dr. André Cristiano da Silva Melo  
(MEMBRO - UEPA)

VISTO:

---

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes  
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

Obs: Esta folha de rosto é entregue ao discente pela Secretaria do PPGEE no momento da defesa.

**DEDICATÓRIA**

*Ao meu amigo, namorado e marido Rogério pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza.*

*Sem você nenhuma conquista valeria a pena.*

*Max's mind stretched by a new idea  
never goes back to its original dimensions.*

*(Oliver Wendell Holmes)*

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVO .....	4
1.2.1. Objetivo geral.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. TRABALHOS ANTERIORES.....	5
1.4. ESTRUTURAÇÃO DA TESE .....	9
CAPÍTULO 2. A ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	10
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	10
2.2. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL .....	11
2.3. BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA .....	12
2.3.1. Contexto global .....	12
2.3.2. Contexto nacional.....	15
2.4. A CULTURA DO DENDÊ NA AMAZÔNIA.....	17
2.5. LEILÕES DE ENERGIA .....	22
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	24
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS.....	26
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	26
3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS E INDICADORES (C&I) DE SUSTENTABILIDADE PARA A CADEIA DO DENDÊ NA AMAZÔNIA .....	29
3.3. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO .....	31
3.4. ANÁLISE DE RISCO .....	33
3.4.1. Identificação dos riscos .....	34
3.4.2. Análise qualitativa dos riscos .....	34
3.4.3. Análise quantitativa dos riscos .....	35
3.5. OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO .....	36
3.5.1. Conceitos básicos de otimização multiobjetivo .....	36
3.5.2. Formulação do problema de otimização multiobjetivo .....	38
3.6. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	39
3.6.1. Simulação de Monte Carlo.....	39
3.6.2. Construção de cenários prospectivos .....	43
3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	47
CAPÍTULO 4. CRITÉRIOS E INDICADORES (C&I) DE SUSTENTABILIDADE.....	48
4.1. ANÁLISE AMBIENTAL.....	48
4.1.1. Áreas aptas para expansão do dendê .....	48
4.1.2. Sequestro de carbono .....	50
4.2. ANÁLISE ECONÔMICA.....	51

4.2.1. Produtividade .....	51
4.2.2. Fluxo de caixa .....	53
4.2.3. Doenças e pragas .....	55
4.3. ANÁLISE SOCIAL.....	55
4.3.1. Geração de renda.....	56
4.3.2. Empresas e contratos.....	57
4.3.3. Substituição de outras culturas.....	58
4.3.4. Comunidades tradicionais .....	59
4.4. ANÁLISE TECNOLÓGICA.....	60
4.4.1. Tecnologias .....	60
4.4.2. Mapeamento tecnológico através da análise de patentes .....	61
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	63
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA DA BIOMASSA DO DENDÊ.....</b>	<b>65</b>
5.1. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PROJETOS .....	65
5.1.1. Desenvolvimento do modelo de energia .....	66
5.1.2. Análise ambiental.....	68
5.1.3. Análise econômica .....	69
5.2. ANÁLISE DE RISCO DE PROJETOS .....	72
5.2.1. Identificação dos riscos .....	72
5.2.2. Análise qualitativa dos riscos.....	73
5.2.3. Análise quantitativa dos riscos.....	75
5.3. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS .....	76
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	79
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS RISCOS SEVEROS .....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2 - O fruto do dendê .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3 - As etapas da fase agrícola e suas respectivas durações.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4 – Fluxograma de massa da extração dos óleos de palma e de palmiste (em %).....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5 - Cadeia produtiva do dendê na Amazônia.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 6 - Metodologia proposta.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7 - Identificação dos critérios e indicadores (C&amp;I) de sustentabilidade .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8 - Esquema de um sistema de produção de uma usina de cogeração .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9 - Análise da eficiência energética do projeto.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10 - Matriz probabilidade X impacto dos riscos identificados .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11 - Dominância de Pareto no espaço objetivo .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12 - Exemplo de distribuição de probabilidade aderente à distribuição PERT .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 13 - Convergência para a Distribuição Normal.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14 - Crescimento da Energia Total (Mtep)/ano.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 15 - Aptidão agroclimática para a cultura do dendê no estado do Pará .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 16 - Plantação de palma de óleo em Tomé Açú.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17 - Quantidade produzida (ton.CFF) de 1990 a 2012 .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 18 - Palma de óleo consociada com cacau.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 19 - Patentes depositadas nos EUA relacionadas à cadeia do dendê .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 20 – Evolução da taxa básica de juros – Selic (em % ao ano).....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 21 - Fluxo de caixa cumulativo.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 22 – Impacto das variáveis de custo na Taxa Interna de retorno.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 23 - Matriz probabilidade x impacto.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 24 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação das emissões de GEE” .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 25 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação da quantidade de energia produzida” .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 26 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação do Preço da energia” .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 27 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos custos operacionais” .....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 28 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos custos de investimento” .....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 29 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação da renda média do agricultor familiar” .....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 30 - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos tipos de cultivo na região” .....</i>	<i>93</i>

**LISTA DE TABELAS**

<i>Tabela 1 - Potencial de geração de energia elétrica (MW) no Pará.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2 - Estimativa de evolução da oferta interna bruta - OIB.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 3 - Cenários de crescimento econômico do País .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 4 - Cenários de crescimento propostos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 5 - Cenários prospectivos 2035.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 6 - Aumento da área de cultivo no estado do Pará.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 7 - Produtividade média (kg de óleo/hectare) das principais culturas oleaginosas.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 8 - Potencial geração de energia (por tcff) utilizando biomassa de dendê .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 9 - Principais agroindústrias de óleo de palma no estado do Pará.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 10 - Parâmetros de simulação do modelo.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 11 – Modelo energético do caso proposto .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 12 - Aspectos ambientais Emissão de GEE (tCO<sub>2</sub>/MW).....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 13 - Principais custos de investimento.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 14 - Comparativo dos três cenários elaborados .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 15 - Parâmetros da distribuição de probabilidade dos riscos severos.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 16 - Modelagem dos C&amp;I com riscos severos.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 17 - Fluxo de caixa considerando as incertezas analisadas como distribuição de probabilidade .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 18 - Resultado da simulação multiobjetivo nos cenários propostos .....</i>	<i>78</i>

**LISTA DE QUADROS**

<i>Quadro 1 - Classificação de fontes energéticas.....</i>	<i>11</i>
<i>Quadro 2 - Requisitos para os C &amp; I.....</i>	<i>30</i>
<i>Quadro 3 - Critérios e indicadores de sustentabilidade.....</i>	<i>30</i>
<i>Quadro 4 - Avaliação qualitativa de probabilidade dos riscos.....</i>	<i>34</i>
<i>Quadro 5 - Meses de picos e vales das sazonalidades médias regionais.....</i>	<i>67</i>
<i>Quadro 6 - Riscos identificados.....</i>	<i>73</i>
<i>Quadro 7 - Avaliação qualitativa dos riscos.....</i>	<i>74</i>

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV: Análise do Ciclo de Vida  
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica  
ACL: Ambiente de Contratação Livre  
ACR: Ambiente de Contratação Regulada  
BEN: Balanço Energético Nacional  
CCEAR: Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado  
CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  
CCF: Cacho de Coco de Fruta  
CENBIO: Centro nacional de referência em biomassa  
CFF: Cacho de Fruta Fresca  
CGEE: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
CNI: Confederação Nacional da Indústria  
EPE: Empresa de Pesquisa Energética  
EPO: *European Patent Office*  
GD: Geração Distribuída  
GEE: Gases do Efeito Estufa  
GOC: Geração Operada Centralizadamente  
INPI: Instituto Nacional da Propriedade Industrial  
IPCA: Índice de Preços ao Consumidor Amplo  
IRHO: *Institut de Recherches Pour Les Huiles et Les oleagineux*  
MDA: Ministério do Desenvolvimento Agrário  
MME: Ministério de Minas e Energia  
OIB: Oferta Bruta Interna de Energia  
PAYBACK: Tempo de retorno  
PCHS: Pequenas Centrais Hidrelétricas  
PNE: Plano Nacional de Energia  
PROINFA: Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
RSPO: *Roundtable Sustainable Palm Oil*  
RSU: Resíduos Sólidos Urbanos  
SIN: Sistema Interligado Nacional  
SPVEA: Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia  
SUDAM: Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia  
TIR: Taxa Interna de Retorno  
TMA: Taxa Mínima de Atratividade  
TRC: Tempo de Retorno de Capital  
UFV: Universidade Federal de Viçosa  
USPTO: *United States Patent and Trademark Office*  
VPL: Valor Presente Líquido

## RESUMO

A promoção das energias renováveis, como estratégias para mitigar as alterações climáticas é um grande desafio mundial, principalmente para países em desenvolvimento como Brasil que busca diversificar sua matriz energética a partir de fontes renováveis, mas possui restrições de custo de investimentos. Neste contexto, são necessárias ferramentas que mensurem os riscos de investimento em projetos de fontes de energia renovável. Este trabalho contribui para o desenvolvimento sustentável da Amazônia através do desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética aplicada no aproveitamento da biomassa do dendê. A crescente produção de dendê na região amazônica para geração de produtos alimentícios e biodiesel está gerando um grande volume de biomassa. Verificou-se que a utilização do resíduo da biomassa de dendê para a geração de energia e comercialização no mercado aumenta o seu valor econômico, para tanto se identificou os Critérios e Indicadores (C&I) de sustentabilidade da cadeia do dendê agrupando-os em: econômicos, ambientais, sociais e técnicos. Qualificando e quantificando os riscos que afetam os indicadores identificados. A metodologia desenvolvida foi analisada em três cenários futuros de crescimento econômico para o Brasil que foram construídos balizados nos cenários contidos no Plano Nacional de Energia 2030.

**PALAVRAS-CHAVES:** Análise de risco, biomassa, dendê (óleo de palma), desenvolvimento sustentável, planejamento energético, construção de cenários.

## ABSTRACT

The promotion of renewable energies in search of strategies to mitigate climate change is a major global challenge, especially for developing countries like Brazil looking to diversify its energy mix from renewable sources, but has an investment cost constraints. In this context, we need tools that measure the risks of investing in alternative energy sources projects. This work contributes to the sustainable development of the Amazon through the development of a risk analysis methodology of investment in energy efficiency projects applied the use of biomass from palm oil. The increasing production of palm oil in the Amazon region to generate food and biodiesel is generating a large volume of biomass. It was found that the use of the residue of the oil palm biomass for power generation and trading in the market increases its economic value, for both identified the criteria and indicators (C & I) of sustainable palm oil chain grouping them into: economic , environmental, social and technical. Qualifying and quantifying the risks affecting the identified indicators. This procedure was analyzed in three future scenarios for economic growth in Brazil that were built in the scenarios marked present in the National Energy Plan 2030.

**KEYWORDS:** Risk analysis, biomass, palm oil, sustainable development, energy planning, scenario building.

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A energia é um dos vetores básicos de infraestrutura necessária ao desenvolvimento humano; o desenvolvimento de um país requer quantidades crescentes de energia. É necessário realizar um planejamento energético que permita conciliar o aumento da oferta interna de energia e a redução dos custos e impactos causados pelos diferentes processos de produção e uso da energia. Este trabalho investiga o que existe na literatura acerca de energia e desenvolvimento sustentável com foco na biomassa como alternativa energética; e propõe uma metodologia de análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética. A metodologia proposta foi aplicada na análise de projetos de aproveitamento de energia da biomassa de dendê.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

A matriz de energia elétrica brasileira é composta, em grande parte, por fontes renováveis, ocorrendo a predominância da fonte hidroelétrica o que deixa o país suscetível a variações climáticas. De acordo com o Balanço Energético Nacional - BEN (2014), pelo segundo ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução da oferta de energia hidráulica, para poupar água, todas as termelétricas disponíveis estão sendo usadas. Entretanto, a energia térmica contratada de forma emergencial, em geral, utiliza fontes não renováveis, o que explica o aumento da geração de energia elétrica a partir de não renováveis de 15,5% em 2012 para 20,7% em 2013, apesar do incremento de 1.724 MW na potência instalada do parque hidrelétrico (BEN, 2014). As térmicas também costumam ter maior custo; a conta de energia elétrica aumentou 17% em média no Brasil em 2014. No estado do Pará o reajuste médio de energia foi de 34% ocasionando o maior aumento da inflação do Brasil no mês de agosto de 2014 de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA, 2014).

A energia é uma necessidade humana, logo não se pode pensar em desenvolvimento sustentável sem um planejamento energético coerente com as características regionais. A Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), regulamentado pelo Decreto 4.541 de 23 de dezembro de 2002. Nesta lei foi estabelecida a meta de que 10% do consumo de energia elétrica do país seja atendido por fontes renováveis: (i) eólica, (ii) pequenas centrais hidrelétricas e (iii) biomassa.

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi aplicada na análise de projetos de aproveitamento da biomassa residual do dendê para a geração de energia elétrica, por ser uma fonte abundante na Amazônia e em grande expansão. A biomassa é uma fonte de energia renovável que apresenta flexibilidade, devido às várias aplicações e pode ser usada na produção de diversos combustíveis. Pode ser queimada diretamente para produzir eletricidade ou calor, ou pode ser convertida em combustíveis sólidos, gasosos e líquidos por meio de tecnologias de conversão como a fermentação, empregada para produzir álcoois, a digestão bacteriana, para produzir biogás, e a gaseificação, para produzir um substituto do gás natural (ROSILLO-CALLE et al., 2005).

A Amazônia é uma grande produtora de biomassa, e dentre as culturas produzidas destaca-se o dendê (*elaeis guineenses*) também conhecido como palma de óleo. Palmeira oleaginosa de origem africana foi introduzida no Brasil por volta do século XVI, por ocasião do tráfico negreiro. Os primeiros estudos sistemáticos sobre as oleaginosas da Amazônia são do início do século XX, o Instituto Agrônomo do Norte (IAN), precursor da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, importou, no início da década de 50, algumas linhagens do continente africano com o objetivo de levantar informações básicas para avaliar suas possibilidades de cultivo na Amazônia (PANDOLFO, 1981).

Segundo Santos et al. (1998), o cultivo em escala comercial foi iniciado em 1967, por meio de um convênio firmado entre a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), atual Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e o *Institut de Recherches Pour Les Huiles et Les oleagineux* (IRHO) da França. O governo Brasileiro, na década de setenta, criou uma política de colonização agrária na Amazônia que incentivou a exploração desenfreada dos recursos naturais cujo lema era “terras sem homens para homens sem terra” e, neste período o plantio da palma de óleo passou a ser subsidiado como parte desta política de colonização. Este tipo de política pública incentivou a ocupação ilegal da Amazônia com a formação de bolsões de pobreza, a falta de infraestrutura e problemas ambientais causados pela redução de áreas de floresta. No final dos anos 80 já não havia nenhum interesse político no financiamento da produção de óleo de palma, levando a cessar definitivamente a alocação de verbas para o programa (HOMMA et al., 2000).

Em 2010, o governo brasileiro lançou o Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma e o programa Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC) que apoiam atividades de implantação e manutenção de florestas de palma de óleo, prioritariamente em áreas produtivas

degradadas. Esses programas buscam o “triplo ganho”, isto é, um cenário em que o setor de óleo de palma, a proteção ao meio ambiente, assim como desenvolvimento rural sejam igualmente beneficiados.

De acordo com a USDA (2014), a Indonésia é o maior produtor de óleo de palma no mundo com produção em 2013/2014 de 31 milhões de toneladas seguido da Malásia com produção de 20,161 milhões de toneladas, entretanto o Brasil que há quatro anos não possuía produção expressiva óleo de Palma apresentou uma produção em 2013/2014 de 0,34 milhões de toneladas ocupando a 11ª posição no *ranking* mundial. Segundo o IBGE (2014), no ano de 2012 foi produzido no Brasil 1.240.992 (ton.CCF), com o valor da produção de R\$ 322.296 milhões de reais. O estado do Pará se destaca como maior produtor nacional com uma produção de 1.034.361 (ton.CCF) em 2012 (IBGE, 2014), tendo na mesorregião nordeste paraense os fatores edafoclimáticos apropriados e o maior volume produzido.

A extração do óleo de palma tem como resíduo a biomassa, que pode ser aproveitada para a geração de energia. A biomassa produzida em 2012 poderia ter produzido 546.137MWh/ano. As empresas produtoras de óleo de palma pretendem duplicar sua produção até 2018 (MONTEIRO, 2013), logo o potencial de geração de energia a partir da biomassa residual da palma de óleo também tende a duplicar até 2018.

De acordo com Duarte et al. (2007), entre todas as fontes renováveis de energia disponíveis na região amazônica, a biomassa produzida tem, sem dúvida, o maior potencial para a geração de energia elétrica. Segundo Buytaerta et al. (2011), a biomassa deverá desempenhar um papel cada vez mais significativo no fornecimento de energia, entretanto, as preocupações estão crescendo sobre a sustentabilidade da produção de culturas energéticas em grande escala.

A eletricidade gerada no processo pode ser utilizada na própria agroindústria, pode-se também vender o excedente de energia gerado para distribuidoras, ou criar uma empresa de geração de energia elétrica para participar dos leilões de energia coordenados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Segundo Bazmi et al. (2011), a geração de eletricidade descentralizada, utilizando biomassa pode ser uma alternativa para comunidades em áreas remotas. Isso ajudaria a transformar toda a economia, atividades e estilo de vida das pessoas.

Neste contexto, propõe-se uma metodologia para a análise de risco de investimentos em projetos de eficiência energética considerando Critérios e Indicadores (C&I) de sustentabilidade com aplicação na utilização da biomassa residual do dendê. Verifica-se neste

trabalho se a utilização desse resíduo para geração de energia e comercialização no mercado aumenta o valor econômico deste bem ambiental.

## 1.2. OBJETIVO

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é apresentar uma metodologia de análise de risco e viabilidade de investimentos em projetos de eficiência energética considerando Critérios e Indicadores (C&I) de sustentabilidade. Com aplicação em projetos de aproveitamento de biomassa de dendê como alternativa energética, visando contribuir para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Este objetivo se desdobra em sete objetivos específicos:

- Revisar a literatura sobre a energia e o desenvolvimento sustentável na Amazônia, apresentando um panorama mundial e nacional da biomassa;
- Elaborar uma metodologia de análise de risco de investimento em projetos de usinas de cogeração considerando variáveis econômicas, sociais e ambientais, tais como o custo de energia verde;
- Identificar critérios e indicadores (C&I) de sustentabilidade da cadeia produtiva de dendê na Amazônia Brasileira;
- Realizar mapeamento tecnológico através da busca de patentes;
- Analisar a eficiência energética do projeto;
- Construir cenários prospectivos para a Amazônia tendo como base os cenários presentes no Plano Nacional de Energia 2030;
- Aplicar a metodologia de análise de risco de investimento desenvolvida nos três cenários elaborados, simular e analisar os resultados.

### 1.3. TRABALHOS ANTERIORES

Nas últimas décadas tem sido crescente o interesse em avaliar as incertezas e o risco em projetos na área de planejamento energético. Nos anos 90, foram publicados vários estudos envolvendo cenários globais de energia que incluem questões como a eficiência na produção e consumo de energia e as energias renováveis.

Análise de risco e incerteza está estreitamente ligado à teoria da decisão. Raiffa e Schlaifer (1961) se destacam neste tema que aborda diversos conceitos como valor esperado, árvore de decisão, teoria das preferências, técnicas de simulação etc.

Nagaoka (2005) analisou a viabilidade econômica de um projeto de investimento em cogeração de energia elétrica em uma usina sucroalcooleira na região oeste do estado de São Paulo, com vistas à comercialização de excedentes, sob condições de risco, utilizando um algoritmo de Redes Neurais Artificiais. Na tese desenvolvida por Nagaoka (2005), testou-se a convergência dos resultados obtidos com outro mais tradicionalmente utilizado em análise de risco para a determinação dos indicadores de viabilidade econômica do investimento. A análise foi realizada considerando seis cenários, e verificando a possibilidade ou não de obtenção de financiamento e diferentes níveis de eficiência de queima do bagaço.

Mariano (2007) apresentou uma proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas *offshore*. A metodologia proposta por Mariano (2007) foi baseada em metodologias clássicas de planejamento, como a técnica de cenários e na metodologia de avaliação de impactos e riscos ambientais, utilizada pela agência ambiental australiana – EA (*Environment Australia*).

Campos e Carmélia (2007) avaliaram dois modelos de unidades de extração de óleo de palma/palmiste no estado do Pará. Para avaliação da viabilidade econômico-financeira de tais projetos utilizou-se o Sistema Biosoft (*software* de apoio à tomada de decisão de projetos de produção de óleo e biodiesel), desenvolvido pela parceria UFV/MDA. Pela análise dos indicadores financeiros do elo industrial constatou-se que os modelos propostos eram viáveis, pois a Taxa Interna de Retorno (TIR) era maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada no projeto, 12%, o Tempo de Retorno de Capital (TRC), apesar de ser elevado, ainda era inferior ao período de análise do projeto adotado, de 10 anos, e o Valor Presente Líquido (VPL) foi positivo.

Marreco (2007) propôs um modelo de expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais, em que apontou para maior participação da biomassa, da geração nuclear e das termelétricas a carvão no Brasil.

Duarte (2009) propôs uma metodologia de análise de viabilidade, assim como parâmetros que indicam a sustentabilidade em sistemas de geração de energia elétrica através da utilização de óleos vegetais, mais especificamente o dendê, em substituição parcial ao diesel de petróleo nas comunidades isoladas na Amazônia.

Lora e Andrade (2009) apresentaram uma visão geral dos programas, projetos e tecnologias relacionadas com a utilização de biocombustíveis no Brasil, além de uma avaliação da disponibilidade de biomassa e energia elétrica potencial de geração para diversos setores industriais e agrícolas. Tendo como resultado uma estimativa do potencial técnico geral para a geração de eletricidade com base em biocombustíveis no Brasil.

Evans et al. (2010) avaliaram a sustentabilidade da produção de energia elétrica a partir de biomassa de acordo com os principais indicadores de preço, eficiência, as emissões de gases de efeito estufa, disponibilidade, limitações, uso da terra, uso da água e os impactos sociais. De acordo com Evans et al. (2010), o tipo e a localização crescente da fonte de biomassa são fundamentais para a sua sustentabilidade.

Duarte et al. (2010), se concentraram no fornecimento de energia elétrica para comunidades isoladas da Amazônia brasileira que utilizam a biomassa regional, especificamente biomassa da palma de óleo como fonte de energia primária. Constataram que o uso de óleo vegetal como combustível é indicado para as comunidades isoladas, onde as usinas hidrelétricas ou a instalação de linha de transmissões são impraticáveis. Os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais foram analisados indicando a viabilidade de abastecimento nessas comunidades.

Bazmi et al. (2011) investigaram os avanços e desafios para a produção descentralizada de eletricidade a partir da biomassa da palma de óleo. De acordo com os referidos autores, a energia renovável é a solução para reduzir o aquecimento global e endossar o desenvolvimento sustentável. A descentralização, gerada pelo aproveitamento da biomassa, permite a geração de eletricidade mais perto dos centros de demanda, atendendo às necessidades de energia locais. Uma crescente descentralização do fornecimento de energia contribui para a proteção do clima.

Favaro (2011) analisou a possibilidade de plantio sustentável de dendê e o uso de sua biomassa residual como combustível em uma usina termelétrica para o provimento de energia elétrica em parte do sistema isolado, ao sul do estado de Roraima. O trabalho de Favaro (2011) realiza uma análise quantitativa da redução de emissões de gases de efeito estufa decorrente da substituição das termelétricas a óleo diesel prevalentes na região pela biomassa residual do dendê.

Buytaerta et al. (2011) realizaram uma análise e comparação do desempenho e aplicabilidade de uma seleção de ferramentas existentes que são potencialmente úteis para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de bioenergia. As ferramentas avaliadas foram: Critérios e Indicadores (C & I), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e Análise de Custo Benefício (ACB). As ferramentas foram então avaliadas usando os dados da literatura e com a ajuda de um painel de peritos de Delphi. Finalmente, uma análise estatística foi realizada sobre a matriz de dados resultante para detectar diferenças significativas entre as ferramentas. Segundo os autores, as ferramentas selecionadas não são capazes de sozinhas realizarem uma avaliação de sustentabilidade abrangente dos sistemas de bioenergia. Todas as ferramentas apresentaram vantagens e desvantagens específicas. Logo, deve-se buscar um equilíbrio entre precisão científica e tomada de decisão. Buytaerta et al. (2011) sugerem a criação de uma metodologia que combine C & I e AIA, suplementadas com algoritmos de cálculo da ACB para indicadores de sustentabilidade, respectivamente, ambientais e econômicos.

Duarte (2011) apresentou uma metodologia baseada nos modelos de decisão multicritério, os principais critérios usados na sua avaliação foram: eficiência, investimento, estágio tecnológico, emissões de CO<sub>2</sub>, impacto social, diversidade.

Souza et al. (2011), propuseram a utilização de uma ferramenta de simulação computacional em análise de risco, avaliação de desempenho e melhoria de sistemas de gestão ambiental. Segundo Souza et al. (2011), as análises de simulação computacional podem ser úteis na prevenção e/ou mitigação dos riscos e impactos ambientais, na avaliação do desempenho ambiental dos produtos, processos e serviços e na melhoria do Sistema de Gestão Ambiental.

Queiroz et al. (2012), realizaram a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção de biodiesel a partir do dendê na Amazônia. A avaliação foi realizada para as três fases da produção

de biodiesel a partir do dendê: a agricultura, a produção de óleo e a produção de biodiesel. Os resultados mostram os custos energéticos em cada fase da produção de biodiesel.

Yui e Yeh (2013) desenvolveram três cenários diferentes para medir o impacto da produção de palma de óleo na Amazônia. Os autores afirmam que a conversão de 22,5 milhões de hectares de terra pode produzir cerca de 29 bilhões de galões (110 bilhões de litros) de biodiesel por ano. E que, 22-71% da área pode vir de terras florestais, unidades de conservação, zonas úmidas e áreas indígenas, emitindo 14-84 g CO<sub>2</sub>. Esta emissão decorrente do uso da terra pode ser maior do que a intensidade de carbono do diesel.

Uma abordagem genérica para a seleção de critérios e indicadores (C & I) de sustentabilidade, utilizando uma metodologia participativa foi desenvolvida por Kurka e Blackwood (2013). A metodologia, que consiste de dois processos: a pré-seleção de critérios e indicadores C & I pelos pesquisadores; e uma seleção final por especialistas da área de bioenergia regionais em um fórum multilateral. Essa metodologia fornece uma abordagem capaz de selecionar sistematicamente critérios e indicadores e justificar essa seleção.

A *Roundtable Sustainable Palm Oil* (RSPO) é uma organização sem fins lucrativos, composta por grandes produtores de óleo de palma espalhados no mundo, ambientalistas e algumas ONGs. Segundo RSPO (2014), a sustentabilidade pode ser descrita em três dimensões: a ambiental, a social e a econômica, sendo essa tridimensionalidade denominada *the triple bottom line*. A meta é expandir os aspectos para incluir as dimensões sociais e ambientais, criando negócios mais sustentáveis. E uma das maneiras de avaliar a sustentabilidade de toda uma atividade é através da Análise do Ciclo de Vida (ACV).

Pereira et al. (2014) utilizaram o método de Monte Carlo (MCM) para estimar o comportamento de parâmetros econômicos considerando-se o risco de sustentabilidade do projeto, e aplicaram o método em uma instalação fotovoltaica. Em sistemas de geração de energia com fontes renováveis, o uso do MCM tem vantagens quando comparado com os métodos tradicionais tais como análise de sensibilidade, pois possibilita a avaliação do risco no desenvolvimento do projeto, onde os custos, condições do mercado financeiro e até mesmo questões de política não têm um padrão determinístico, mas variam ao longo da vida do projeto. Enquanto nos métodos tradicionais as incertezas são valores determinísticos, o MCM os considera como um comportamento probabilístico, tornando os resultados mais próximos realidade (PEREIRA et al., 2014). Os casos analisados por Pereira et al. (2014) mostraram que

sistemas de geração de energia fotovoltaica no Brasil ainda são economicamente inviáveis devido ao risco de obtenção de VPL negativo.

#### 1.4. ESTRUTURAÇÃO DA TESE

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 2, A energia e o desenvolvimento sustentável; primeiramente aborda o conceito de desenvolvimento sustentável e fonte de energia renovável. Em seguida, é realizada uma revisão da bibliografia acerca dos trabalhos na área da biomassa como alternativa energética e do processo de leilões de energia no Brasil;

- O Capítulo 3, Metodologia de análise de risco de investimento em projetos; corresponde a etapa de construção do modelo do processo de simulação e apresenta uma metodologia de análise de risco em projetos de eficiência energética que está dividida nas seguintes etapas: Identificação dos C&I de sustentabilidade, análise da eficiência energética do projeto, análise de risco do projeto, formulação do problema de otimização, simulação e análise de cenários.

- No Capítulo 4, Critérios e indicadores (C&I) de sustentabilidade; corresponde à coleta de dados da etapa de simulação. Os dados foram coletados através de entrevistas com produtores da região de Tomé-Açu; levantamento bibliográfico; e entrevistas com pesquisadores que atuam na área. Os C&I identificados foram agrupados em: ambiental, social, econômico e tecnológico.

- O Capítulo 5, Análise de risco de investimento em projetos de aproveitamento de energia da biomassa do dendê; traz o resultado da aplicação da metodologia correspondendo às etapas de análise do modelo, simulação e análise de cenários.

- O Capítulo 6, Resultados e conclusões; traz os principais resultados e conclusões advindas da realização da tese e apresenta sugestões para trabalhos futuros no tema e, seguindo-se a estes, as referências bibliográficas e o apêndice.

## **CAPÍTULO 2. A ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Este capítulo está dividido em quatro seções. Na primeira seção, apresentam-se os principais conceitos de desenvolvimento sustentável e sua relação com o consumo de energia. Na segunda seção, apresentam-se as principais fontes de energia renováveis. Na terceira seção, foca-se na biomassa como uma das possíveis soluções energéticas para a Amazônia. Por fim, os conceitos de leilões de energia no Brasil são discutidos na última seção.

### **2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, enfatizou a importância da questão ambiental e a necessidade de reaprender a conviver com o planeta Terra, preservando-o para garantir a continuidade da vida e da história (REIS et al., 2012). O relatório Brundtland publicado em 1987 definiu o desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

A partir dos anos 1990, o aquecimento global começou a ganhar maior destaque nas reuniões mundiais sobre meio ambiente, mais especificamente em 1995, quando foi realizada em Berlim, a primeira Conferência das Partes da Convenção Quadro da ONU sobre a Mudança do Clima, a COP-1. Em escala global, o maior desafio atual é lidar com as mudanças climáticas. Paralelamente ao desenvolvimento do conceito de desenvolvimento sustentável e das formas de buscá-lo, têm-se discutido também as metodologias para se medir o grau de desenvolvimento de uma sociedade e da sustentabilidade de seus sistemas produtivos. A complexidade das dimensões envolvidas sugere que o acompanhamento do processo de sustentabilidade deve incluir diversos fatores, sejam eles sociais, políticos, econômicos ou ecológicos. Neste caso, quanto maiores os valores dos indicadores, maior é o nível de desenvolvimento alcançado (REIS e SILVEIRA, 2011).

A questão energética tem um significado bastante relevante no contexto da questão ambiental e da busca do desenvolvimento sustentável. O setor energético produz impactos ambientais em toda a sua cadeia de desenvolvimento, desde a captura de recursos naturais básicos para seus processos de produção, até seus usos finais por diversos tipos de consumidores (REIS e SILVEIRA, 2011).

A principal causa dos problemas ambientais decorrentes do uso de energia é o uso de combustíveis fósseis na produção de eletricidade, no setor de transportes, nas indústrias e nos edifícios. Segundo Goldemberg (1998), a energia renovável vem ganhando cada vez mais importância tanto no Brasil quanto no mundo devido, entre outros fatores, à sua capacidade de fomentar o desenvolvimento sustentável.

## 2.2. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

De acordo com Goldemberg e Lucon (2008), uma fonte de energia primária pode ser considerada renovável quando as condições naturais permitem sua reposição em um curto horizonte de tempo, por exemplo, a energia solar, a energia eólica e a biomassa. As fontes não renováveis de energia são aquelas que a natureza não tem condições de repor em um horizonte de tempo compatível com seu consumo pelos seres humanos, tais como: carvão mineral, petróleo e gás natural. Um exemplo de classificação das fontes energéticas pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Classificação de fontes energéticas**

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não-Renováveis	Fósseis	Carvão mineral, petróleo e derivados, gás natural.	Termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
	Nuclear	Materiais fósseis	Termoeletricidade, calor	
Renováveis	“Tradicionais”	Biomassa primitiva: lenha de desmatamento	Calor	
	“Convencionais”	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte	Hidroeletricidade	
	“Modernas” (ou “novas”)	Potenciais hidráulicos de pequeno porte	Biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor
		Outros		
		Geotermal	Calor e eletricidade	
		Eólica	Eletricidade	
		Mare motriz e das ondas		

Fonte: Goldemberg e Lucon (2008)

O desenvolvimento tecnológico recente, aliado às políticas que favorecem o uso de fontes renováveis, vem diminuindo gradualmente as barreiras existentes ao uso de fontes

renováveis de energia. As tecnologias, à base de fontes renováveis, são atrativas não só devido às suas vantagens ambientais, mas também sociais. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para a busca do desenvolvimento sustentável tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (REIS e SILVEIRA, 2011). O Plano Nacional de Energia 2030 considera possível implementar as seguintes fontes renováveis: biomassa; aerogeradores, pequenas centrais hidrelétricas (PCHS); resíduos sólidos urbanos (RSU) e solar fotovoltaica.

Segundo Magalhães et al. (1996), a região amazônica tem uma grande capacidade energética, mas enormes dificuldades para o fornecimento de energia que suporte o desenvolvimento de pequenas comunidades locais. Esse fato deve-se, em parte, à ênfase dada aos grandes aproveitamentos hidrelétricos, que tornam economicamente inviável o atendimento das pequenas demandas. A vocação da região, para o atendimento das pequenas demandas, é a geração descentralizada, usando fontes naturais renováveis, engajando a população local no projeto, na construção, na operação e até mesmo na manutenção dos aproveitamentos energéticos. Vê-se como promissor o uso de energia solar, eólica, da biomassa florestal, do biogás, de pequenas centrais hidrelétricas, de óleos combustíveis vegetais, entre outras.

## 2.3. BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

### 2.3.1. Contexto global

A madeira e a biomassa constituem uma fonte de energia vital para o homem desde a descoberta do fogo pelos nossos ancestrais, quer seja para a preparação de alimentos e aquecimento, entre outros. Utilizada de forma intensiva até a primeira revolução industrial, a energia oriunda da biomassa foi em seguida massivamente substituída pelas formas de energia fósseis. Atualmente, a preocupação com as mudanças climáticas permitiu redescobrir as inúmeras vantagens dessa forma de energia.

O conceito geral abordado pelo CENBIO (2014) é que biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia.

Porém, não são todos os tipos de biomassa que são considerados recursos renováveis. A biomassa moderna é definida por Goldemberg (1998) como sendo a biomassa produzida de uma maneira sustentável, excluindo o uso da biomassa tradicional como lenha e incluindo a

geração de energia elétrica e produção de calor assim como combustível para transporte, provenientes de resíduos de florestas e da agricultura e também de resíduos sólidos. Diferentemente, a biomassa tradicional é produzida de uma forma não sustentável, na maioria das vezes proveniente de fonte não comercial e, quando utilizadas, apresentam baixos índices de eficiência. Exemplo de biomassa tradicional é a proveniente de desmatamento, seja para consumo doméstico ou para consumo industrial.

A biomassa é atualmente a principal fonte de energia em muitos países em desenvolvimento e, por diferentes razões, sejam elas ambientais, sociais ou econômicas também está crescendo em muitos países industrializados. Segundo Rosillo-Calle et al. (2005), um quinto de toda a energia mundial é gerado a partir de recursos renováveis: de 13% a 14% a partir de biomassa e 6% a partir de água. Nos países em desenvolvimento a biomassa é a fonte de energia mais importante (33% do total) para seus habitantes.

Por se tratar de um combustível barato e acessível, a biomassa tradicional é muito utilizada em países e regiões mais pobres. Em países da África Subsaariana, por exemplo, a lenha é coletada pelas mulheres e queimada dentro de casa, em fogões primitivos que fornecem energia e calor para cocção e aquecimento do lar. Na Ásia, a utilização de biomassa também é evidente, cerca de 80% da população do meio rural e 20% das áreas urbanas utilizam biomassa para cocção. Lenha, resíduos animais (esterco) e resíduos agrícolas são importantes combustíveis e respondem por cerca de 50% do consumo de energia no setor residencial em muitos países asiáticos (JINGJING, 2001).

Conforme Briceño et al. (2001), na Colômbia, o setor de açúcar e álcool produz em média quatro milhões de toneladas de bagaço por ano. O volume de energia elétrica cogenerada proveniente da biomassa do setor de açúcar e álcool é de 80MW sendo 65MW destinado ao consumo próprio do setor e são vendidos 15MW para o sistema nacional. Conforme os mesmos autores, os projetos para a produção de eletricidade proveniente de resíduos da cana-de-açúcar são utilizados na Tailândia, Costa Rica, Jamaica, Filipinas, Brasil e Cuba.

A biomassa geralmente é considerada um combustível inferior e poucas vezes incluída nas estatísticas oficiais, e quando o é, tende a ser desvalorizada. Usos tradicionais de bioenergia – por exemplo, na forma de lenha, carvão, esterco de animais e resíduos agrícolas – são erroneamente associados com os problemas do desmatamento e da desertificação. Por exemplo, na região central de Zâmbia, a principal área de produção de carvão vegetal do país, não há

evidências de degradação da terra devido ao desmatamento causado pela produção de lenha para ser queimada ou para a produção de carvão (ROSILLO-CALLE et al., 2005).

Conforme os padrões de vida sobem, muitas pessoas nas áreas rurais e urbanas, nos países em desenvolvimento, passam a usar biomassa de formas diferentes, como exemplo, o uso do carvão vegetal e madeira em vez de resíduos e gravetos, o emprego da biomassa na produção de materiais de construção e em casas pré-fabricadas, além de outros usos. Por conseguinte, a urbanização não leva necessariamente a uma substituição da biomassa por combustíveis fósseis.

Nos países desenvolvidos, a utilização da biomassa tem um caráter diferente da apresentada pelos países em desenvolvimento porque provém predominantemente da racionalização do uso de resíduos agroflorestais resultantes de processos industriais. Estes países têm investido no desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de biomassa, não só para aumentar a eficiência destes processos, mas também para atender às pressões relacionadas às questões ambientais (NAGAOKA, 2005).

Em relação às fontes de biomassa, elas se diferenciam de acordo com suas características ou origens. Esta diferenciação deve ser considerada quando se pretende utilizá-las como fonte eficiente para geração de energia.

De acordo com o CENBIO (2014), o aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio de diversas formas, desde combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

Algumas biomassas são de difícil classificação, como o caso de resíduos vegetais na etapa inicial de transformação em carvão vegetal, ou mesmo os óleos vegetais produzidos a partir de produtos derivados de árvores, como é o caso do dendê. Outras formas de classificação da energia da biomassa consideram as rotas tecnológicas a serem adotadas para sua utilização ou seu nível de desenvolvimento tecnológico, como o caso das fontes de biomassas tradicionais e modernas (NOGUEIRA e LORA, 2003).

A biomassa para usos energéticos pode ser classificada em três linhas de biocombustíveis: os sólidos, os líquidos e os gasosos. Todos eles têm em comum o fato de serem formados a partir da fotossíntese, que fixa o carbono contido no CO<sub>2</sub> da atmosfera e

libera o oxigênio. Em consequência, a combustão da biomassa é um processo reversível, renovável e sustentável.

A biomassa tem um potencial de produção de energia muito maior do que é explorado hoje. Ela pode integrar-se a uma matriz de fontes de combustíveis, oferecendo maior flexibilidade de suprimento e segurança na produção, distribuição e consumo de energia. A criação de empregos através do cultivo da biomassa propiciará o uso economicamente viável da terra improdutiva.

A energia da biomassa, entretanto, deve ser ambientalmente aceitável para que seja assegurada a difusão de seu uso como uma fonte de energia moderna. A implementação de projetos de uso de biomassa exige iniciativas políticas governamentais que internalizem os custos econômicos, sociais e ambientais externos das fontes convencionais de combustível, de modo que os combustíveis produzidos a partir da biomassa possam competir com fontes energéticas oriundas de combustíveis fósseis.

### 2.3.2. Contexto nacional

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

A utilização da biomassa, sobretudo da lenha, é antiga no Brasil. De acordo com Rosillo-Calle et. al (2005), até a primeira metade do século XX a lenha foi responsável por mais de 50% da energia consumida no país, sendo utilizada diretamente como combustível para fins domésticos e industriais e também para a produção carvão vegetal.

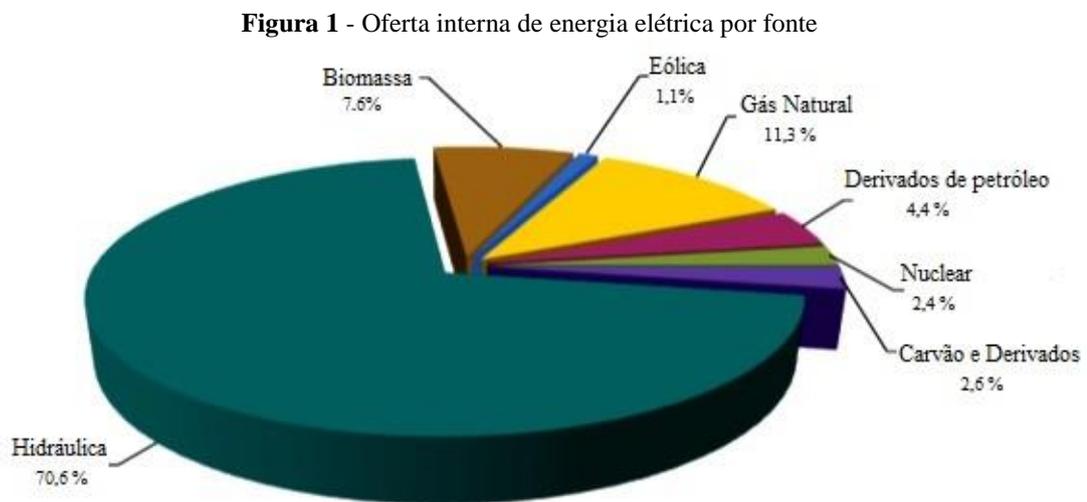
O uso do álcool combustível teve início por volta de 1900, mas somente nos 70, com a crise de energia, houve a criação do Proálcool em 1975, com a produção de grandes quantidades de etanol. Os usos modernos da biomassa passaram a ganhar peso na matriz energética brasileira, ao mesmo tempo em que a biomassa tradicional perdia espaço para os combustíveis fósseis (ROSILLO-CALLE et. al, 2005).

Além de fornecer matéria-prima e energia para a indústria, as práticas da agricultura e da silvicultura deveriam também ter a função de reabilitar o solo, impedir a desertificação,

propiciar melhor drenagem e preservar a biodiversidade. Assim, programas baseados na sustentabilidade da biomassa deveriam começar de um ponto de vista estratégico, incorporando o desafio de melhorar a qualidade do ar e das áreas rurais no país (AB' Saber, 1990).

No que diz respeito aos instrumentos de regulação direta do governo, como licenças, padrões para emissões, padrões de qualidade e zoneamento ambiental, há a possibilidade de implementação de políticas públicas na área de energia motivadas por questões ambientais, que poderiam favorecer o uso da biomassa.

De acordo com BEN (2014), a biomassa corresponde a 7,6% da oferta interna de energia elétrica por fonte, considerando a biomassa oriunda de lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações (Vide Figura 1).



Fonte: BEN (2014)

O desenvolvimento da produção de energia da biomassa em larga escala depende de plantios energéticos específicos como, árvores, cana-de-açúcar, herbáceas perenes, capins perenes, colza e dendezeiro. Para que esse processo seja bem sucedido, a produção da biomassa, que é geralmente baixa, deve ser melhorada. Segundo o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011, foram quatro as plataformas prioritárias: cana-de-açúcar e etanol; oleaginosas e biodiesel; florestas energéticas; resíduos e coprodutos.

A questão energética nas áreas isoladas da Amazônia está relacionada ao suprimento de eletricidade e ao fornecimento de combustíveis, para os quais a disponibilidade do recurso e a viabilidade técnica são essenciais na determinação de opções tecnológicas adequadas e eficientes. O uso de grupos-geradores movidos a óleo diesel apresenta uma tecnologia

consolidada, contudo, sua sustentabilidade econômica é difícil. Torna-se então necessário alcançar alternativas energéticas adequadas para a região.

A biomassa pode ser utilizada como fonte primária em áreas isoladas ou como complemento de sistemas tradicionais, pois além de ser uma energia renovável essa alternativa tem como grande vantagem ativar a economia local pela geração de postos de trabalho em razão do uso de produtos energéticos nativos ou cultivados. Seus equipamentos mais comuns são a caldeira e a turbina a vapor, que apresentam tecnologia perfeitamente dominada pelo Brasil, e a produção nacional comercializa modelos bastante adequados à realidade amazônica.

Segundo Fraga (2014), somente no estado do Pará há 8 milhões de toneladas de matéria prima não aproveitada que poderiam ser utilizadas para a produção de energia. O estado do Pará tem oito projetos de bioparque para recolhimento da biomassa de forma sustentável. Na Tabela 1 observam-se os tipos de biomassa com seus respectivos potenciais de geração de energia elétrica, analisando somente o estado do Pará fica evidente o potencial da energia oriunda da biomassa do dendê em relação aos demais tipos de biomassa com potencial para geração de energia elétrica no estado do Pará.

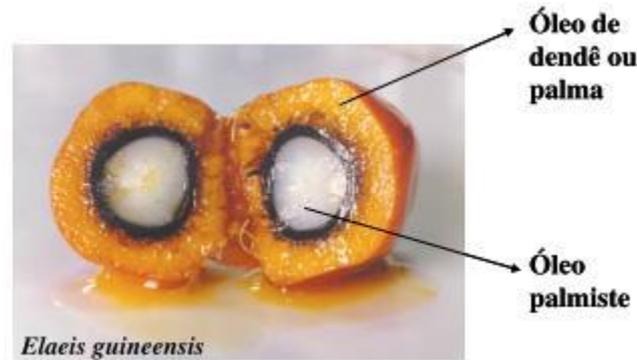
**Tabela 1** - Potencial de geração de energia elétrica (MW) no Pará

<b>Tipo de Biomassa</b>	<b>Potencial de geração de energia elétrica (MW) – estado do Pará</b>
Silvicultura	6,80 a 18,13
Sucroalcooleiro	1,99 a 95,47
Dendê	157,29
Casca de arroz	10, 17 a 12,67
Casca de Castanha de Caju	0,16 a 0,45
Casca de coco Baía	5,22 a 7,27

Fonte: Adaptado de ANEEL (2014)

## 2.4. A CULTURA DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

O dendezeiro é uma palmeira de cultura permanente e possui uma vida útil na faixa de 20 a 30 anos, sendo que a produção de cachos tem início três anos e meio após o plantio (VIANNA, 2006). A partir dos frutos do dendê é possível extrair dois tipos de óleo. Por meio da polpa (mesocarpo), obtêm-se o óleo de dendê ou óleo de palma e, com base na amêndoa, extrai-se o óleo de palmiste (vide Figura 2).

**Figura 2 - O fruto do dendê**

Fonte: Vianna (2006)

Sendo uma planta perene e de grande porte, o dendê, quando adulto, oferece perfeito recobrimento do solo, podendo ser considerado um sistema de aceitável estabilidade ecológica e de baixos impactos negativos ao ambiente. Por ser cultivada próxima ao Equador, o dendê consegue absorver na biomassa e nos frutos, através da fotossíntese, uma quantidade de energia química superior à quantidade de energia necessária durante o período de plantação (BAZMI, 2011).

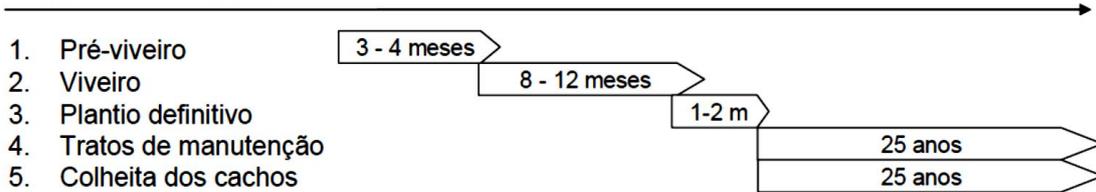
O cultivo do dendezeiro é caracterizado por duas fases principais: a de implantação e a de produção. A fase de implantação inclui as seguintes atividades: i) preparo de mudas; ii) pré-viveiro; iii) viveiro; iv) desmatamento e preparo do terreno; v) plantio definitivo; vi) manutenção do período não-produtivo. A fase de produção compreende as operações de manutenção do período produtivo. As principais etapas cronológicas para implantação e manutenção da cultura de dendê, se distribuem da seguinte forma (LIMA et al., 2002):

- Ano -1: Aquisição de sementes e pré-viveiro
- Ano 0: Viveiro e preparo da área
- Ano 1: Plantio e manutenção
- Anos 2 e 3: Manutenção
- Ano 4: Manutenção e início da colheita.

As etapas da fase agrícola e suas respectivas durações, observando todo o ciclo de vida do dendê, podem ser observadas na Figura 3.

**Figura 3** - As etapas da fase agrícola e suas respectivas durações

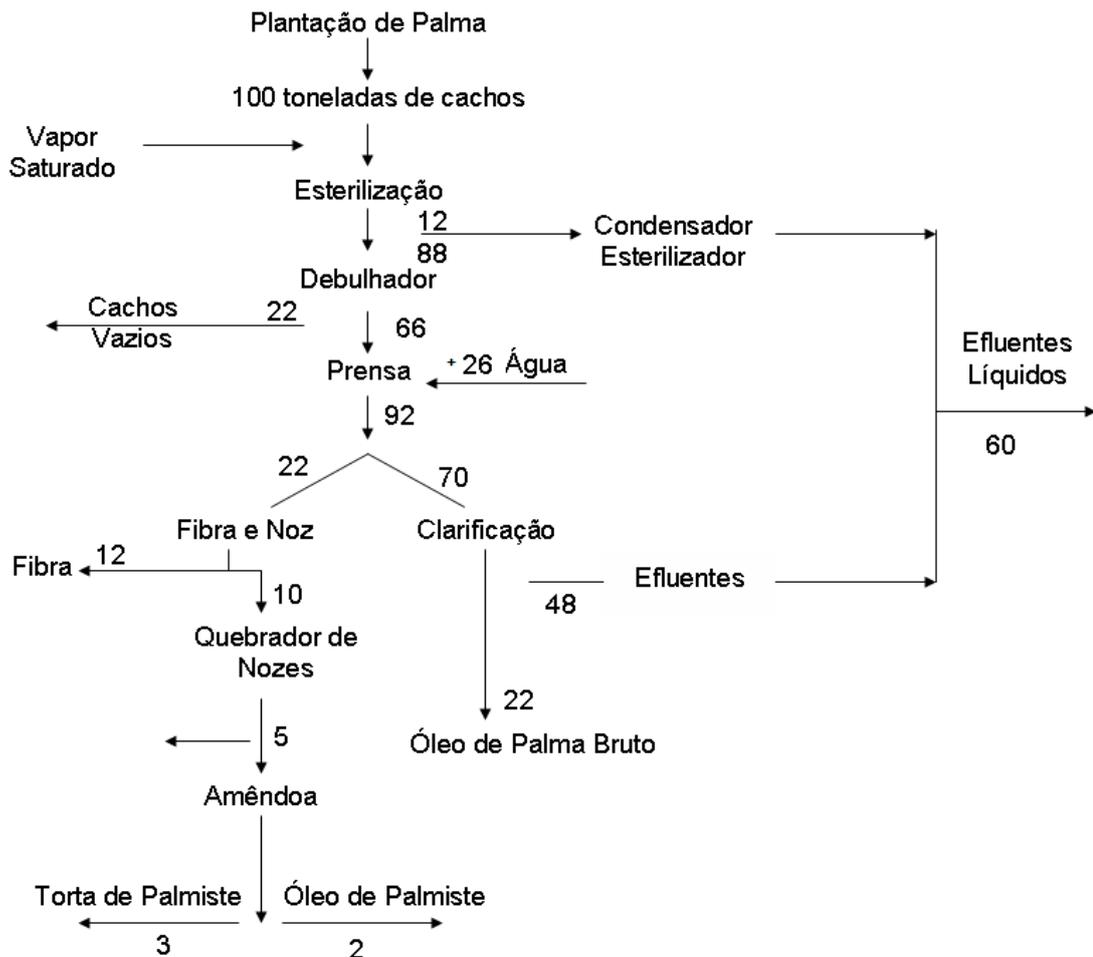
### FASE AGRÍCOLA



Fonte: Muller et al. (1994)

Após a etapa agrícola inicia-se a etapa de produção agroindustrial. A Figura 4 apresenta o Fluxograma de massa da extração dos óleos de palma e de palmiste (em %). Do processamento dos cachos para a extração dos óleos de palma e palmiste são obtidos, adicionalmente, uma série de subprodutos (fibras, cachos vazios, casca das amêndoas, torta de palmiste e efluentes líquidos), todos com amplas aplicações.

**Figura 4** – Fluxograma de massa da extração dos óleos de palma e de palmiste (em %)

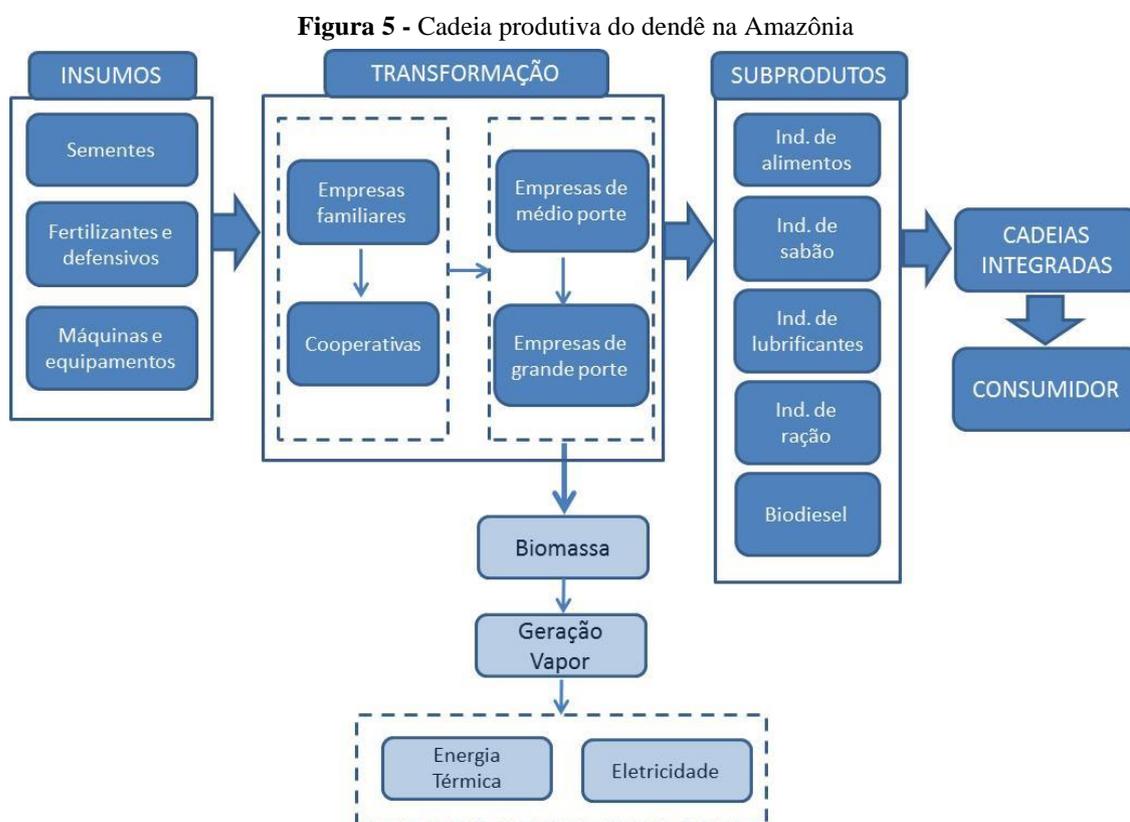


Fonte: KALTNER et al. (2004)

A torta de palmiste, massa branca resultante do esmagamento da semente do fruto da palma para obtenção do óleo de palmiste, apresenta metade de seu peso constituído, em média, por carboidratos, e é largamente empregado como ração animal ou adubo orgânico ou, eventualmente, combustível de caldeira (FURLAN Jr., 2006).

Os cachos de frutos vazios (cfv) e as cascas da amêndoa da palma, em decorrência do alto poder calorífico, são utilizadas como combustível de caldeira para a geração de vapor. Por possuir alto valor energético, as fibras do mesocarpo (polpa) constituem na principal fonte de combustível de processo (FURLAN Jr., 2006).

Na Figura 5 apresenta-se um modelo para a cadeia produtiva do dendê na Amazônia cuja principal diferença para os modelos tradicionais consiste na inclusão de etapas de aproveitamento do resíduo de dendê para geração de energia. No modelo proposto o fluxo de materiais se inicia pelo fornecimento de insumos que abrange: sementes, fertilizantes e defensivos, bem como máquinas e equipamentos. A etapa de transformação abrange empresas familiares que podem estar agrupadas em cooperativas, bem como empresas de médio e grande porte. Como subproduto desta etapa gera-se biomassa residual de dendê através do processo de geração de vapor (processo conhecido no Brasil) obtém-se a energia térmica e eletricidade.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O modelo proposto na Figura 2 termina com a entrega dos possíveis produtos da cadeia do dendê que variam desde produtos alimentícios até o biodiesel, ressalta-se que a Amazônia localiza-se geograficamente mais próximo aos mercados consumidores da Europa e EUA o que pode diminuir os custos logísticos.

Em relação ao desenvolvimento tecnológico, muito ainda precisa ser desenvolvido, principalmente quanto à gaseificação, produção de óleos vegetais e emprego contínuo e confiável desses combustíveis em motores de combustão interna. É preciso avançar nas pesquisas de óleos vegetais na geração elétrica. Ressalta-se o trabalho desenvolvido por Pinheiro et al. (2005) que avaliou a eficiência do ciclo a vapor, utilizando os diversos tipos de biomassa de resíduos florestais e de agroindústrias disponíveis na região Amazônica, como também suas misturas, a partir dos dados obtidos em usina piloto implantada do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, em ensaios de laboratório e simulações computacionais.

Segundo Favaro (2011), com o aumento da produção de biocombustíveis em todo o mundo, começaram a aparecer diversas críticas sobre a sustentabilidade dos mesmos. A principal é sobre a competição entre o uso da terra para a produção de alimentos e para a produção de biocombustíveis. Evans et al (2010) aponta ser esta competição o ponto central a ser resolvido, apesar de possuir outras questões importantes que dependem do tipo de plantação e como e por que ela é cultivada, além da tecnologia a ser utilizada e da forma como a energia gerada é distribuída. Isto porque os agricultores, visando obter um maior lucro a partir de um mesmo pedaço de terra, comparam a sua lucratividade produzindo alimentos com a da produção de biocombustíveis.

A Amazônia apresenta grande potencial de geração de energia a partir da biomassa que pode ir além do atendimento às comunidades isoladas. A energia gerada a partir da biomassa pode ser oferecida ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através de leilões de energia coordenados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para tanto algumas considerações devem ser verificadas:

- A existência de mercado para comunidades isoladas, observando a densidade elétrica;
- A existência de rede elétrica e as condições para acessar a rede básica;
- O acesso para manutenção;

- Cenários a partir da disponibilidade de biomassa.

Apesar dos benefícios ambientais que podem ser obtidos com o seu uso, a biomassa, se não for produzida e empregada de forma sustentável, com políticas adequadas e esquemas de manejo, pode causar impactos ambientais adversos, que podem ser de ordem econômica, social ou ambiental e interferir na produção de alimentos.

## 2.5. LEILÕES DE ENERGIA

Os leilões de energia estão em conformidade com as resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que regem a comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre (ACL), tendo os seguintes parâmetros legais: Lei nº9074/95, Lei nº9427/96, Lei nº9648/98, Decreto nº2655/98, Lei nº10438/02, Lei nº10848/04 e Decreto nº5163/04.

Os leilões são a principal forma de contratação de energia no Brasil. Por meio desse mecanismo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Quem realiza os leilões de energia elétrica é a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da ANEEL.

Fazem parte dos ambientes de Contratação Regulada (ACR) ou Mercado Regulado todas as empresas concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional. São obrigadas a participar dos leilões aquelas com mais de 500 GWh/ano de mercado de consumo. Para as Distribuidoras menores a participação é facultativa, uma vez que podem continuar a ser atendidas pela sua supridora tradicional (MME, 2014).

O processo de leilões de energia começa com a identificação das fontes de geração de mais baixo custo e a aplicabilidade dela no atendimento ao sistema consumidor, para otimizar o conjunto de custos tanto da geração como dos sistemas de transmissão. Esse trabalho é realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sob coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME). Ganha o leilão quem oferecer energia elétrica pelo menor preço por Megawatt/hora para atendimento da demanda prevista pelas distribuidoras. A compra e venda de energia é formalizada por meio de contratos bilaterais, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR).

O critério de menor tarifa é utilizado para definir os vencedores do leilão. Segundo Martins (2008), os leilões de energia ocorrem com periodicidade anual e são subdivididos em duas categorias principais: os leilões de energia existente e os leilões de energia nova. Os leilões de energia existentes têm por objetivo a venda de energia de empreendimentos cujo investimento inicial em sua construção já tenha sido plenamente amortizado. Estes leilões são usualmente classificados como leilões do tipo “A-1”, isto é, são leilões organizados no ano anterior ao ano de entrega física de energia (“A”), e esta, por sua vez, deverá ser inicialmente fornecida sempre a partir do primeiro dia do ano contratado. O prazo destes contratos de energia existente é, usualmente, estabelecido em oito anos de duração.

Os leilões de energia nova, por sua vez, se destinam ao atendimento das necessidades de mercado das distribuidoras mediante a venda de energia elétrica proveniente de empreendimentos que, em geral, ainda não iniciaram sua etapa de construção. Estes leilões são organizados sob a formatação do tipo “A-5” e “A-3”, também ocorrem com periodicidade anual, e os contratos têm vigência de 15 anos para a energia advinda de empreendimentos termelétricos e de 30 anos para os empreendimentos hidrelétricos (MARTINS, 2008).

O leilão de fontes alternativas, regulamentado por meio do Decreto nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007, foi instituído com o objetivo de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis – eólica, biomassa e energia proveniente de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) – na matriz energética brasileira.

As empresas distribuidoras têm a opção de compra de energia. Uma delas se refere à aquisição de energia da chamada Geração Distribuída (GD), que se caracteriza pela geração de usinas de pequeno porte conectadas a redes locais de distribuição. A vantagem sobre a compra de energia de usinas que fazem parte do grupo da Geração Operada Centralizadamente GOC (usinas maiores de 30MW) é a economia na transmissão e na redução de perdas justamente por estarem localizadas em áreas próximas ao distribuidor. Essa opção pode ser contratada diretamente pela distribuidora até o limite de 10% de sua carga total a partir somente de chamadas públicas promovidas diretamente pelas distribuidoras.

A medida provisória nº 579 de 2012 mudou o cenário do setor elétrico brasileiro. Quase metade das novas usinas termelétricas previstas para 2012 não entraram em operação (ANEEL, 2014). No total, 27 das 57 usinas desse tipo que deveriam estar disponíveis para começar a gerar energia em 2012 não conseguiram cumprir o cronograma.

Com o atraso das 27 usinas, o país deixou de contar com até 3.154,17 megawatts (MW) de energia térmica nova justamente quando os reservatórios das hidrelétricas do país atingiram, no fim de 2012, o menor nível dos últimos dez anos. No início de janeiro de 2013, os índices de armazenamento foram semelhantes ao do período de pré-acionamento de energia ocorrido em 2001 (MME, 2014).

No Brasil, uma usina térmica normalmente só é acionada quando os lagos das hidrelétricas estão baixos. Entretanto, nos últimos dois anos o país foi obrigado a despachar todas as termelétricas disponíveis para dar conta da demanda por energia e ajudar a encher os reservatórios. Este cenário mostra uma grande demanda por usinas térmicas para abastecer o SIN.

De acordo com MME (2014), boa parte das térmicas, que atrasaram a operação são movidas a carvão, contratadas em leilão chamado A-5, e que deveriam começar a gerar a energia depois de cinco anos, mas, acabaram contando com prazo inferior e insuficiente. Isso ocorreu porque o governo adiou esse tipo de leilão para tentar garantir o máximo de participação de usinas hidrelétricas, que têm energia mais barata. Entretanto, o prazo para a entrega da energia não muda com os adiamentos, e as usinas acabam tendo menos tempo para concluir as obras.

As usinas térmicas ganham cada vez mais importância, de acordo com a ANEEL (2014), o Brasil tem hoje 1.623 usinas térmicas, movidas a combustíveis como óleo, gás natural e biomassa, com potência somada de 35,5 mil MW – valor que equivale a 27,5% do total da energia gerada no país (121,7 mil MW). Os atrasos nesses empreendimentos causam preocupação adicional, já que a tendência, segundo MME (2014) é que nos próximos anos o Brasil passe a utilizar – e a depender – cada vez mais energia térmica.

## 2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma visão geral sobre fontes de energia renovável, biomassa e leilões de energia. A crescente produção de dendê na região amazônica para geração de produtos alimentício e biodiesel acarretará em um grande volume de biomassa. Este trabalho analisa o potencial de geração de energia elétrica a partir dessa biomassa residual do dendê, observando os critérios e indicadores de sustentabilidade ambientais, sociais, econômicos e técnicos; e avalia como esta ação pode contribuir para agregar valor a esta atividade agroindustrial, além de representar uma alternativa na diversificação da matriz energética

brasileira, caracterizada pela geração hidrelétrica, o que fragiliza o setor em períodos com baixa incidência de chuva.

A energia gerada a partir da biomassa pode ser vendida via leilões de energia ao Sistema Interligado Nacional, aproveitada localmente para abastecimento da indústria produtora de dendê ou através de políticas públicas de incentivo, distribuídas a comunidades isoladas próximas a agroindústria.

Neste contexto, no próximo capítulo, apresenta-se uma metodologia de análise de viabilidade e de risco de investimento em projetos de utilização da biomassa residual dos processos de extração do óleo de palma, como fonte primária de energia, para geração de calor e eletricidade na Amazônia.

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS**

Este capítulo apresenta a metodologia desenvolvida e está dividido em sete seções. Na primeira seção apresenta-se uma visão geral da metodologia proposta; a partir da segunda seção as etapas da metodologia são descritas iniciando-se por identificação de critérios e indicadores; seguido de análise de eficiência energética do projeto; análise de risco; formulação da função de otimização multiobjetivo; simulação e análise de cenários.

### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

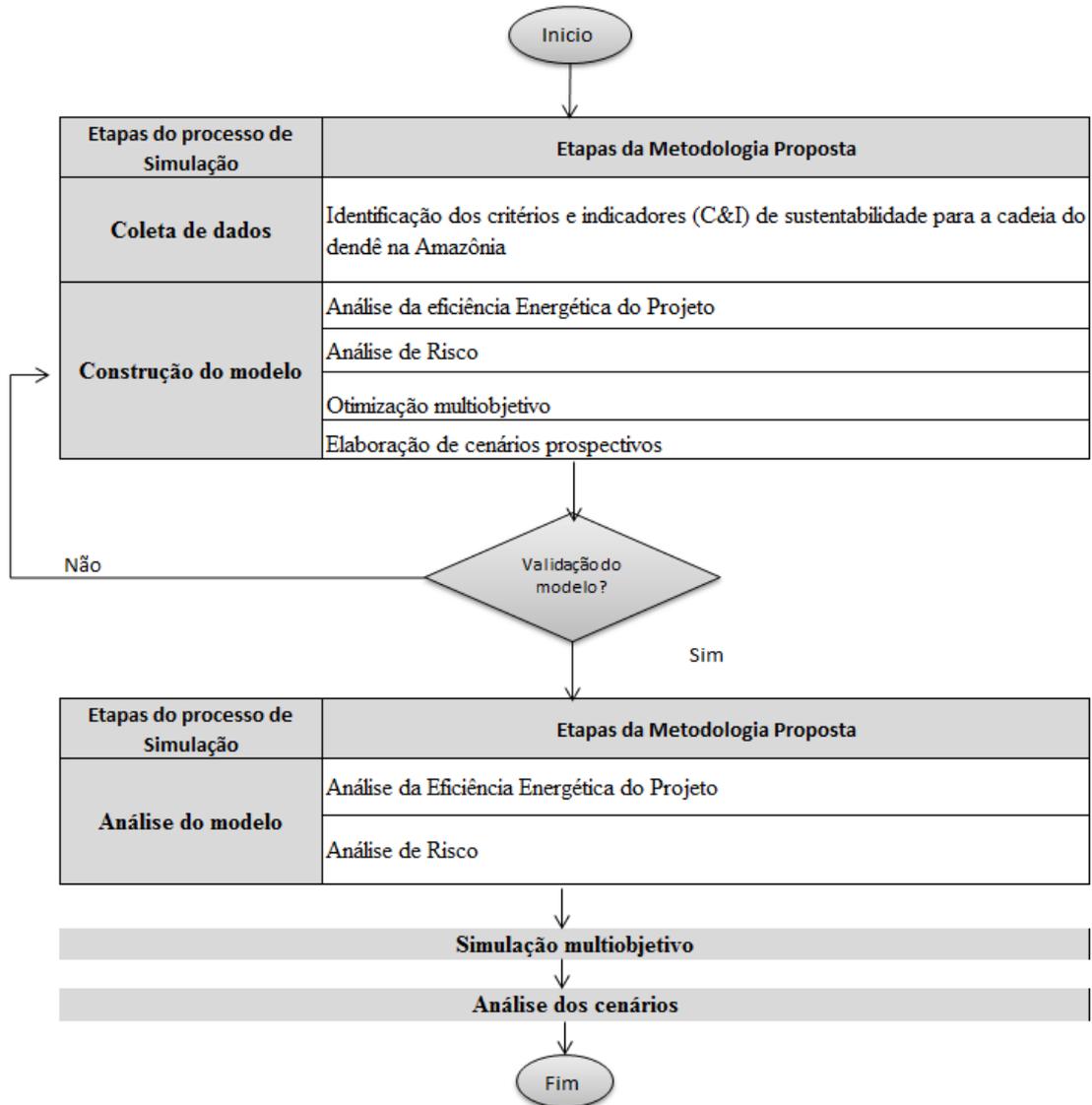
O planejamento energético realiza estudos e análises para a geração e utilização de energia. Um problema de planejamento energético é um problema de tomada de decisões sob incerteza. Segundo Schubert (1989), as circunstâncias que prevalecem em tomadas de decisão são divididas em três categorias: certeza, incerteza e risco.

Segundo Ewald (1993), a noção de risco apareceu associada à insegurança marítima e aos perigos que podiam comprometer as viagens. Atualmente o conceito de risco está relacionado a probabilidade de um evento ocorrer ou não, combinado com a magnitude das perdas e ganhos envolvidos na ação realizada. A diferença da incerteza para o risco está no fato de as probabilidades de ocorrência de um dado acontecimento ser conhecida (risco), ou não (incerteza). A gestão de risco pode ser entendida como o processo de identificar, mensurar e atuar nos fatos denominados de risco.

O ministro de Minas e Energia do Brasil, Edison Lobão, reconheceu dia 14 de fevereiro de 2014, que há um risco de desabastecimento de energia no Brasil, caso as condições climáticas sejam "absolutamente adversas". A oferta interna de energia elétrica por fonte hidráulica em 2013 foi de 70,6% (BEN, 2014) tornando a matriz elétrica nacional predominantemente renovável, porém suscetível ao desabastecimento em períodos de baixa incidência de chuva. De acordo com o MME (2014), no período de 2005 até 2013 do total de energia elétrica negociada nos leilões 44,74% são oriundas de hidrelétricas e 24,76% são oriundas de termelétricas movidas a carvão ou óleo diesel, ou seja, a matriz energética brasileira está se tornando menos renovável. Neste cenário, apresenta-se uma metodologia para auxiliar a tomada de decisões no investimento em projetos de energia renovável considerando o risco de investimento no projeto.

Um resumo da metodologia proposta pode ser visualizado na Figura 6; observa-se que a mesma está alinhada às etapas do processo de simulação. A primeira etapa da metodologia corresponde à coleta de dados que consistiu na identificação dos critérios e indicadores (C & I) de sustentabilidade da agroenergia através de levantamento bibliográfico e pesquisa de campo.

**Figura 6 - Metodologia proposta**



Fonte: Elaborado pelo Autor

A etapa de simulação correspondente à construção do modelo abrange: análise da eficiência energética do projeto, análise do risco do projeto, construção da função multiobjetivo a ser otimizada e elaboração dos cenários. Esta etapa pode ser adaptada para análise de diferentes fontes de energia renováveis. Neste trabalho, o modelo proposto foi aplicado na análise do aproveitamento da biomassa residual do dendê na Amazônia.

A Eficiência Energética (EE) e a Energia Renovável (ER) são os dois pilares da energia sustentável sendo, portanto, estratégicas no planejamento energético. A análise de eficiência energética utiliza o método de Análise de Ciclo de Vida (ACV) parcial, no caso foram consideradas as fases da cadeia produtiva apresentada na Figura 5: insumos, transformação, geração de energia (térmica e/ou eletricidade), subprodutos e consumidor. A análise do ciclo de vida do projeto, produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do mesmo. A metodologia proposta está de acordo com as normas internacionais ISO 9000 Gestão da Qualidade, ISO 14000 Gestão Ambiental e ISO 14040 referente à Avaliação do Ciclo de Vida – ACV.

A análise dos riscos está subdividida nas atividades: identificação dos riscos, análise qualitativa e quantitativa dos riscos. Já a função objetivo elaborada considera a otimização dos critérios ambientais, sociais e econômicos visando maximizar a sustentabilidade do projeto analisado.

A elaboração dos cenários prospectivos teve como base: o Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2008); e a Estimativa de evolução da oferta interna bruta de energia (BEN, 2014). O planejamento por cenários auxilia a considerar a incerteza no processo de tomada de decisão.

A simulação do modelo proposto foi desenvolvida com o auxílio de dois *softwares*. O *software RETScreen*<sup>1</sup> foi selecionado por facilitar de forma objetiva a análise do ciclo de vida do projeto com ênfase na viabilidade financeira e gases de efeito estufa; já o *software @Risk*<sup>2</sup> foi selecionado pela sua flexibilidade em se adequar as variáveis de interesse, visto que foram identificados critérios e indicadores (C&I) de sustentabilidade da cadeia do dendê na Amazônia e realizou-se a análise dos riscos que afetam esses C&I identificados. O método de simulação utilizado por ambos os *softwares* é o Método de Monte Carlo (MMC), método probabilístico adaptável ao problema analisado. Para a validação da metodologia os resultados gerados foram comparados aos existentes na literatura. As próximas seções irão detalhar cada etapa da metodologia.

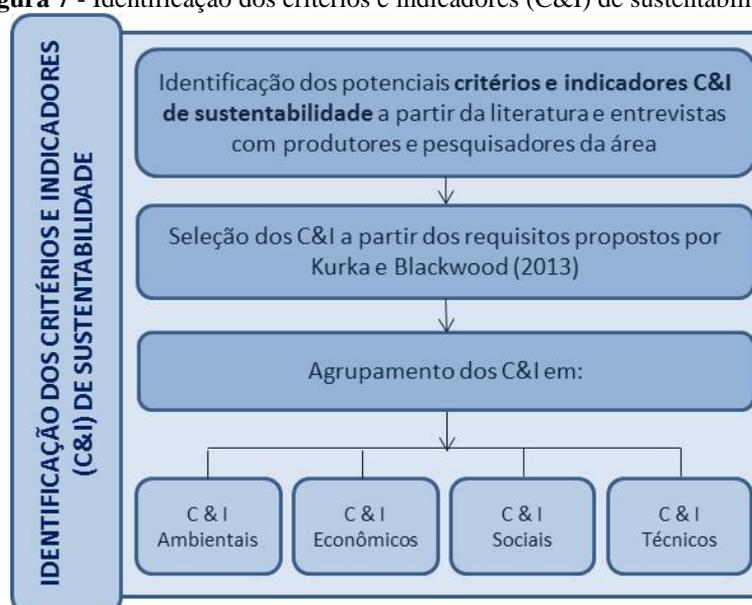
<sup>1</sup> *RETScreen*: Software canadense de análise de projetos de energia limpa - <http://www.etscreen.net/>

<sup>2</sup> *@Risk*: Software que executa análise de risco por meio da simulação de Monte Carlo apresentando os resultados possíveis e informando a probabilidade de ocorrência dos mesmos - <http://www.palisade-br.com/risk/>

### 3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS E INDICADORES (C&I) DE SUSTENTABILIDADE PARA A CADEIA DO DENDÊ NA AMAZÔNIA

Nesta etapa, coletaram-se dados da cadeia produtiva do dendê na Amazônia, a partir dos quais se identificou os critérios e indicadores que refletem as principais questões das partes interessadas e podem ser usados para medir e comunicar a sustentabilidade dos projetos ou progresso do desenvolvimento sustentável. Na Figura 7 observam-se as atividades desta etapa da metodologia.

**Figura 7** - Identificação dos critérios e indicadores (C&I) de sustentabilidade



Fonte: Elaborado pelo Autor

A primeira atividade consiste na identificação dos potenciais C & I para a avaliação da sustentabilidade da utilização do resíduo da biomassa do dendê como alternativa energética na Amazônia e foi realizada através de levantamento de dados no campo, onde foram visitadas fazendas da microrregião de Tomé-Açu em que foram entrevistados pequenos e médios agricultores da região; também foram realizadas entrevistas com especialistas (*stakeholders*) da área.

Os C&I foram selecionados observando os parâmetros propostos por Kurka e Blackwood (2013), ou seja, para cada potencial C&I verificou-se se o mesmo possuía: Relevância, Praticidade, Confiabilidade, independência, comparabilidade e Simplicidade (vide

Quadro 2). Os C&I selecionados foram agrupados em ambientais, econômicos, sociais e técnicos.

**Quadro 2 - Requisitos para os C & I**

Requisitos	Descrição
Relevância:	Qual é a relevância do C & I para a tomada de decisão?
Praticidade:	Existem escalas e / ou unidades de medida? Os dados podem ser facilmente obtidos e medidos em relação a custo e / ou tempo
Confiabilidade:	Quão confiável / reproduzível são os resultados da avaliação?
Independência:	Os C & I são independentes o suficiente que refletem as alternativas de desempenho para diferentes pontos de vista?
Comparabilidade:	Os C & I são capazes de discriminar entre as alternativas?
Simplicidade:	Os C & I são de fácil compreensão pelas partes interessadas?

Fonte: Kurka e Blackwood (2013)

No Quadro 3, pode-se visualizar o resultado resumido, os principais trabalhos consultados para a identificação dos C & I podem ser visualizados no Quadro 3 na coluna *Fonte*.

**Quadro 3 - Critérios e indicadores de sustentabilidade**

Critério	Indicador	Fonte
<b>Ambiental</b>	Áreas aptas para palma de óleo	Lora e Andrade (2009), Furlan (2006), Kato et al. (2011), Gan e Smith (2006), Bastos et al. (2001)
	Gases do Efeito Estufa (GEE)	Kurka e Blackwood (2013), Kato et al. (2011), Dornburg et al. (2007), Yui e Yeh (2013)
<b>Econômico</b>	Produtividade	IBGE (2014), Bazmi et al. (2011), Kurka e Blackwood (2013), Evans et al. (2010), Lora e Andrade (2009)
	Fluxo de Caixa (VPL, TIR, Payback) <sup>3</sup>	IBGE (2014), Bazmi et al. (2011), Evans et al. (2010), Alves (2011), Silva et al. (2011), Favaro (2011), Odone (2001)
	Doenças e Pragas	Furlan (2006), Kato et al. (2011) Gan e Smith (2006)
<b>Social</b>	Geração de renda	Kato et al. (2013), Alves (2011)
	Substituição de outras culturas	Kurka e Blackwood (2013), Silva et al. (2011)
<b>Técnico</b>	Tecnologias	Isaias (2001), Santos (2008),
	Mapeamento tecnológico	INPI (2014), EPO (2014), USPTO (2014)

Fonte: Elaborado pelo Autor

<sup>3</sup> VPL: Valor Presente Líquido é uma fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. TIR: Taxa Interna de Retorno é uma taxa de desconto que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas sejam iguais aos valores dos retornos dos investimentos, ambos trazidos ao valor presente. *Payback*: tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

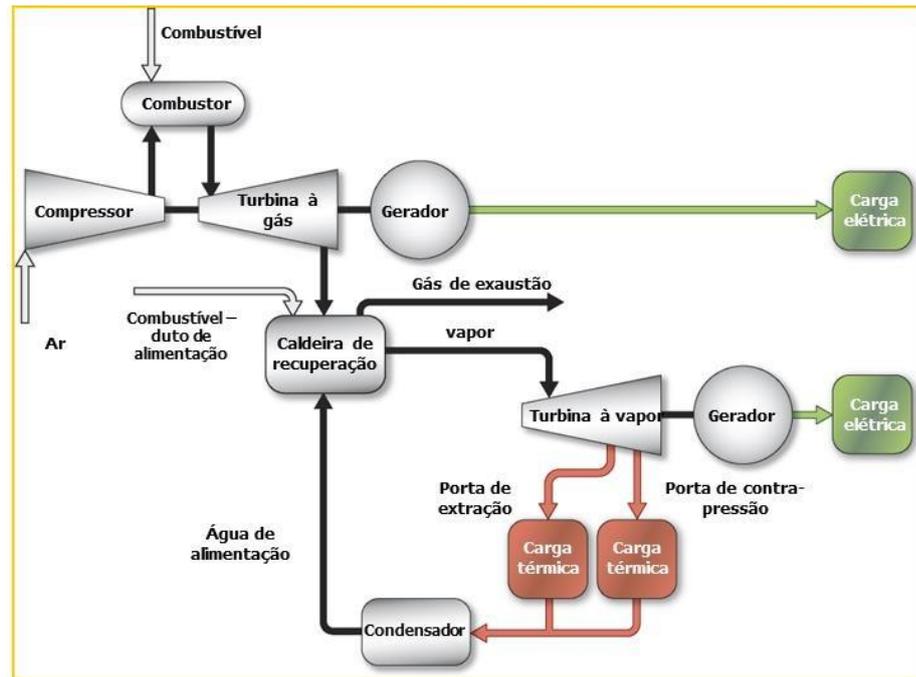
### 3.3. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO

O Brasil carece de uma política de eficiência energética de longo prazo específica para o setor industrial. As duas iniciativas federais que apresentam maior atenção ao setor industrial são o PROCEL – Indústria que visa minimizar perdas em sistemas motrizes já instalados na indústria brasileira; e o PROESCO, linha de crédito do BNDES (CNI, 2009). Apesar das poucas iniciativas nacionais estimulando ações de eficiência energética, as metas de eficiência energética no Plano Nacional de Energia 2030 e a iniciativa do Ministério de Minas e Energia em desenvolver uma estratégia nacional de eficiência energética tornam o cenário atual mais atrativo para investimentos em projetos de eficiência energética.

A produção e o consumo de energia geram diferentes tipos de impactos sociais e ambientais, dependendo da fonte primária escolhida e das respectivas tecnologias de conversão adotadas, a cogeração, ou produção combinada de energia térmica e elétrica a partir da queima de um mesmo combustível, representa uma tecnologia de conversão energética com alto desempenho e reduzidas perdas (MARQUES et al., 2006).

Um projeto de usina de cogeração que busca a eficiência energética em seus processos e tecnologias realiza o mesmo ou mais trabalho com menos energia. Um sistema de cogeração pode fornecer: eletricidade, calor, redução de resíduos e emissões e redução de perdas.

Um sistema de energia central tradicional é ineficiente, pois grande parte da energia é perdida em calor. Esse calor pode ser utilizado em processos industriais, aquecimento de água ou ambiente, refrigeração etc. Em geral, eletricidade tem mais valor do que o calor, a cogeração permite a produção simultânea de dois ou mais tipos de energia, a partir de uma única fonte de energia. Na Figura 8 observa-se um esquema de produção de uma usina de cogeração de empresas que produzem resíduos que podem ser utilizados para gerar calor e eletricidade.

**Figura 8** - Esquema de um sistema de produção de uma usina de cogeração

Fonte: Marques et al. (2006)

Nesta etapa do modelo, analisa-se a eficiência energética do projeto através da Análise do Ciclo de Vida (ACV) que quantifica o uso de energia e as emissões ambientais associados com a fabricação, uso e descarte de produtos específicos. A ACV é conceituada como uma ferramenta de gerenciamento ambiental para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto (ABNT, 2001).

A viabilidade do projeto em análise depende de diversos fatores, ressalta-se: recursos energéticos no local do projeto, desempenho das tecnologias utilizadas, custos do projeto (iniciais, anuais e periódicos), financiamento, impostos, créditos ambientais ou subsídios, e definição do tomador de decisão sobre custos efetivos (*payback*, TIR, VPL, custos de produção de energia). Esta etapa está dividida em três atividades (vide Figura 9).

**Figura 9** - Análise da eficiência energética do projeto

Fonte: Adaptado de RETScreen (2014)

Na atividade *modelo de energia*, irá se desenvolver o modelo energético analisado no estudo de caso, observando entre outros parâmetros a tecnologia utilizada na geração de eletricidade, a eficiência do equipamento, a potência instalada etc.

Na atividade *análise ambiental*, irá se compara o fator de emissão de GEE (tCO<sub>2</sub>/MWh) da termelétrica de biomassa de palma de óleo com as que utilizam carvão, óleo diesel e com o Sistema Interligado Nacional (SIN) que usa predominantemente fonte hidrelétrica de energia.

Por fim a atividade *análise econômica*, irá analisar a viabilidade econômica de investimento no projeto em diferentes cenários considerando o ciclo de vida do projeto.

### 3.4. ANÁLISE DE RISCO

Esta etapa do modelo busca identificar, quantificar e qualificar as incertezas. A metodologia de análise de risco compreende a combinação de técnicas qualitativas e quantitativas. A análise e simulação do risco visa substituir estimativas pontuais por distribuições de probabilidade quando há incertezas associadas às variáveis.

O objetivo da análise de risco, em projetos de unidade de cogeração de biomassa é avaliar o efeito das incertezas na viabilidade do projeto considerando questões relacionadas à sustentabilidade do mesmo.

De acordo com Securato (1996), o cálculo do risco do projeto é dado em função dos riscos individuais. A maior complexidade das variáveis requer uma abordagem das incertezas via probabilidades e simulação (dependência linear) que considere todas as incertezas e o ciclo de vida do projeto. Segundo Andrade (1998), os principais métodos quantitativos para análise de risco são:

- Trabalhar com tempo de retorno do capital investido menor para os projetos considerados mais arriscados;
- Utilizar critérios analíticos de decisão em situações de incerteza, os quais possibilitem escolher a opção que garanta o maior retorno ou a menor perda esperada;
- Fazer uso da Simulação de Monte Carlo; e
- Trabalhar com uma taxa de desconto que reflita o valor associado ao risco.

Esta etapa foi dividida nas seguintes atividades de análise de risco: identificação dos riscos, análise qualitativa (priorização dos riscos) e análise quantitativa.

#### 3.4.1. Identificação dos riscos

As variáveis de sustentabilidade identificadas foram apresentadas no Quadro 3, na modelagem do sistema os indicadores foram tratados como variáveis. Exemplo, no critério econômico o indicador VPL foi tratado como uma variável com uma função distribuição probabilidade e riscos associados.

Os riscos associados a essas variáveis foram identificados através de levantamento de referência bibliográfica, entrevistas com produtores e especialistas na área, e análise de dados históricos.

#### 3.4.2. Análise qualitativa dos riscos

A análise qualitativa do risco visa classificar e priorizar os riscos associados às variáveis de sustentabilidade. Identifica-se a probabilidade e o impacto de cada risco, a partir dessa identificação priorizam-se os riscos.

Os riscos foram classificados quanto ao impacto como: intolerável, substancial, moderado, tolerável e trivial. A classificação dos riscos quanto à probabilidade obedecerá às definições do Quadro 4.

**Quadro 4 - Avaliação qualitativa de probabilidade dos riscos**

<b>Definições de probabilidade</b>	
Muito Alto (MA)	Quase certo que acontecerá
Alto (A)	Provavelmente acontecerá
Médio (M)	Eventualmente pode acontecer
Baixo (B)	Pouco provável que aconteça
Muito Baixo (MB)	Difícilmente acontecerá

Fonte: Adaptado PMBOK (2013)

A partir da identificação das probabilidades e dos impactos de cada risco, elabora-se a matriz probabilidade x impacto, um exemplo desta matriz pode ser observado na Figura 10. Os riscos que estiverem na faixa vermelha, denominados de riscos severos, deverão ser analisados

mais profundamente, suas probabilidades ou funções de distribuição, e considerados na construção das árvores de decisão de cada variável.

**Figura 10** - Matriz probabilidade X impacto dos riscos identificados

Muito Alto (MA)	Amarelo	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Alto (A)	Amarelo	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Médio (M)	Amarelo	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
Baixo (B)	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Muito Baixo (MB)	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
	Trivial	Tolerável	Moderado	Substancial	Intolerável

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3.4.3. Análise quantitativa dos riscos

A análise probabilista, das variáveis e dos riscos a elas associados na análise qualitativa, permite identificar a probabilidade de alcançar o objetivo do projeto e a probabilidade do projeto perder dinheiro e/ou prazo.

A cada risco identificado e classificado como severo, classifica-se como estático ou dinâmico. Se o risco analisado como estático:

- For contínuo, as variáveis assumem valores contínuos, como o conjunto de números reais. Neste caso, verifica-se na literatura qual a distribuição que represente da melhor forma o comportamento do risco.

- For discreto, ou seja, as variáveis assumem valores discretos (num domínio de valores finitos ou enumeráveis). Neste caso, usa-se o valor mais provável;

Se o risco analisado for dinâmico, através de informações da literatura e consulta a especialistas, identifica-se a distribuição típica do fenômeno para o tipo de risco. Após a classificação dos riscos teremos as seguintes informações sobre o risco e sua distribuição: nome, tipo de distribuição, unidade, mínimo, moda e máximo.

### 3.5. OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

No dia a dia, depara-se com situações em que se precisa tomar uma decisão considerando objetivos conflitantes entre si, como comprar alimentos com qualidade, mas economizar na despesa doméstica. Problemas dessa natureza são chamados de problemas de otimização multiobjetivo por envolverem minimização (ou maximização) simultânea de um conjunto de objetivos satisfazendo a um conjunto de restrições. Neste caso, na tomada de decisão, devem-se ponderar os objetivos globais e escolher uma das soluções possíveis.

#### 3.5.1. Conceitos básicos de otimização multiobjetivo

A otimização multiobjetivo pretende resolver problemas com objetivos múltiplos representados por funções  $f_1, f_2, \dots, f_n$  cujo domínio é um conjunto  $\Omega \subset R^n$ . Basicamente, estabelece uma forma de tomar decisão que seja razoável aos objetivos mensurados. Em geral, não existem soluções ótimas no sentido de minimizarem (ou maximizarem) simultaneamente todos os objetivos, há um conjunto de objetivos quantificáveis, um conjunto de restrições e um processo para obter informações sobre o compromisso entre os objetivos (OLIVEIRA e DROGUETT, 2008).

Os métodos multiobjetivos são mais adequados quando se avalia a sustentabilidade de projetos, pois neste tipo de análise considera-se uma multiplicidade de objetivos e/ou critérios. Na otimização multiobjetivo identifica-se um conjunto de soluções não-dominadas, estas soluções são conhecidas como conjunto ótimo de Pareto ou ponto eficiente, em que um ponto é considerado Pareto eficiente quando não é possível melhorar nenhum objetivo sem piorar algum outro. A escolha de uma solução eficiente particular depende das características próprias do problema. De acordo Oliveira e Droguett (2008), Arroyo (2002) e Coello et al. (2002), representa-se um problema multiobjetivo da seguinte forma:

$$\text{Minimizar(ou maximizar): } Z = f(x) = [f_1(x), f_2(x)], \dots, f_k(x) \quad (1)$$

Sujeito a:

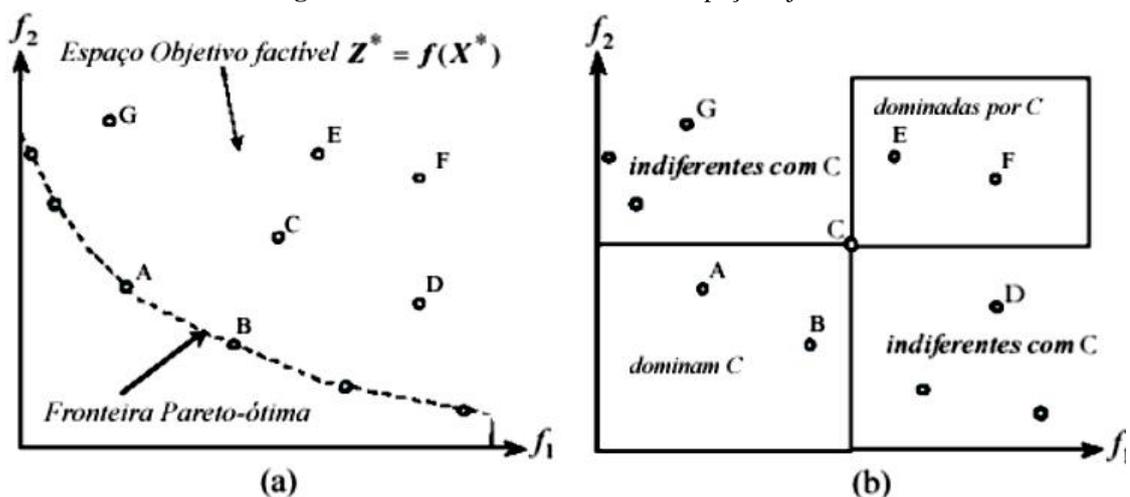
$$g_i(x) = 0 \quad i = 1, \dots, j \quad h_i(x) \leq 0 \quad i = j + 1, \dots, l \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \quad z = (z_1, z_2, \dots, z_k) \in Z$$

Onde,  $\mathbf{x}$  é o vetor n-dimensional de variáveis de decisão,  $\mathbf{z}$  é o vetor formado por k funções-objetivo, X denota o espaço de decisões,  $Z = f(X)$  é a imagem de X, j é o número de restrições de igualdade e l-j é o número de restrições de desigualdade. As restrições e o espaço

de busca  $X$  determinam o conjunto das soluções factíveis  $X^*$ . A imagem de  $X^*$  é denominada espaço objetivo factível e é denotada por  $Z^* = f(X^*) = \{f(x) : x \in X^*\}$ . Note que, a imagem de uma solução  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X^*$  no espaço objetivo é um ponto  $z = (z_1, z_2, \dots, z_k) = f(x)$  tal que  $z_j = f_j(x), j = 1, \dots, k$ .

O espaço objetivo factível para um dado problema de minimização com dois objetivos pode ser visualizado na Figura 11. O conjunto viável:  $\underline{P}$  será um conjunto ótimo de Pareto local se para todo  $x \in \underline{P}$  não existe solução  $x' \in X^*$  satisfazendo  $\|x' - x\| < \varepsilon$  que domine qualquer membro do conjunto  $\underline{P}$  ( $\|\cdot\|$  é distância entre os dois pontos e  $\underline{P}$  é um número positivo pequeno); e  $\bar{P}$  será um conjunto ótimo de Pareto global se para todo  $x \in \bar{P}$ , não existe  $x' \in X^*$  tal que  $x'$  é uma solução não-dominada e  $x$  é uma solução dominada para o mesmo problema. A fronteira global de Pareto é obtida quando se aplica as soluções pertencentes ao conjunto  $\bar{P}$  nas funções-objetivo.

Figura 11 - Dominância de Pareto no espaço objetivo



Fonte: Arroyo, (2002)

Para muitos autores, como Coello et al. (2002), Fonseca e Fleming (1993) e Arroyo (2002), os métodos de otimização multiobjetivo podem ser classificados dentro de três categorias:

- Método a-priori ou tomada de decisão antes da busca: neste caso, o decisor participa da busca de soluções antes da resolução do problema;
- Método a-posteriori ou tomada de decisão depois da busca, a tomada de decisão é feita após a realização da busca de soluções;

- Método iterativo ou tomada de decisão durante a busca: neste caso, há uma interferência durante o processo de busca de soluções, subordinando as preferências para nortear a busca na direção das regiões onde existem soluções relevantes.

### 3.5.2. Formulação do problema de otimização multiobjetivo

Neste trabalho, optou-se pelo método dos pesos para a formulação e solução do problema, proposto por Zadeh (1963). Neste método, todas as funções objetivo são combinadas em uma única função objetivo usando um vetor de pesos  $w \geq 0$ , com  $\|w\| = 1$ . Dessa forma, o problema original transforma-se num problema de um único objetivo com as restrições originais como problema dos pesos ou como  $P(w)$ . O método dos pesos serve para obter uma aproximação da fronteira eficiente.

Na Equação 2 observa-se o problema da Equação 1 escalarizado, usando este método com um dado vetor de pesos  $w \geq 0$ , com  $\|w\| = 1$ :

$$\text{Maximizar: } P(w) = \sum_{k=1}^p w_k f_k(x) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

A solução ótima do problema escalarizado é uma solução eficiente para o problema da Equação 1. A solução ótima também seria a solução de melhor compromisso se o vetor  $w$  fosse escolhido a priori pelo tomador de decisão.

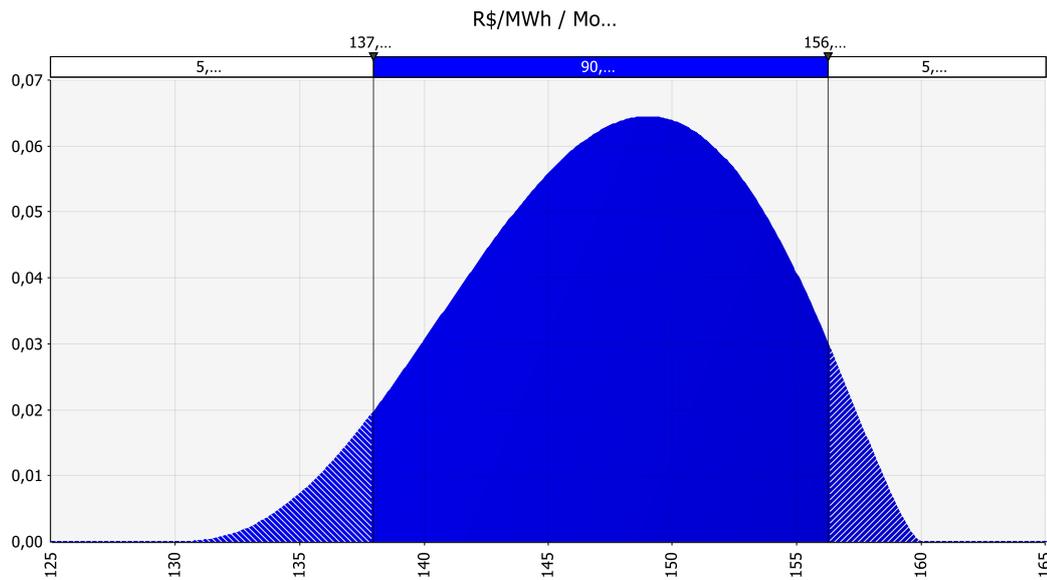
Neste trabalho busca-se maximizar a sustentabilidade do projeto através da maximização do retorno econômico, social e ambiental, em que:

Maximizar retorno ambiental:  $f_1(x)$

Maximizar retorno econômico:  $f_2(x)$

Maximizar retorno social:  $f_3(x)$

As funções  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_3$  são distribuições de probabilidades aderentes à distribuição PERT, a Figura 12 ilustra uma distribuição PERT.

**Figura 12** - Exemplo de distribuição de probabilidade aderente à distribuição PERT

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na metodologia proposta (vide Figura 3), utiliza-se o método a-priori, ou seja, se definirá os pesos ( $w \geq 0$ ) antes da simulação do modelo. O critério “Análise Tecnológica” foi relevante para identificação, qualificação e quantificação dos riscos que afetam o projeto (como se observará no Capítulo 5), entretanto, seus indicadores estão refletidos no fluxo de caixa (custo tecnologia, custo capacitação etc.), logo essa distribuição de probabilidade tem informações sobre esse Critério. A próxima seção apresenta o modelo de simulação proposto.

### 3.6. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS

Nesta etapa, apresenta-se o modelo de simulação utilizado e a construção dos cenários em que a simulação será analisada. As informações geradas nas etapas anteriores são analisadas em três diferentes cenários. O planejamento por cenários preenche uma lacuna de informações estratégicas facilitando a compreensão da área de planejamento energético pelas partes interessadas, beneficiando clientes, empresas, organizações e seus *stakeholders*.

#### 3.6.1. Simulação de Monte Carlo

O *Value at Risk* (VAR) é definido por Silva Neto (1998) como o valor monetário das perdas a que uma operação ou projeto está sujeita, dado determinado intervalo de confiança e de tempo. O VAR significa a perda máxima esperada, num horizonte de tempo definido, com

determinado grau de confiança. Neste sentido, três variáveis passam a ser fundamentais para o cálculo e a análise do VAR:

1. Perda máxima esperada;
2. Horizonte de tempo;
3. Grau de confiança.

O cálculo do VAR pode ser realizado através da simulação de Monte Carlo. A Simulação de Monte Carlo não utiliza os dados históricos, e sim modelos para simular diversos valores para cada um dos fatores de risco que influenciam o preço dos ativos do projeto. Dessa forma, obtém-se a distribuição de probabilidade das variáveis e calcula-se o VAR.

De acordo com Andrade (1998), a simulação de Monte Carlo pode ser definida como:

“Seja  $x$  uma variável aleatória com Função de distribuição de probabilidades:  $f(x)$ ; e uma Função cumulativa de probabilidades:  $F(x)$ . Dado  $F(x)$ , gera-se um número aleatoriamente no intervalo (0,1) e usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável  $x$  que corresponde ao número aleatório gerado.”

Os valores das distribuições de probabilidades são probabilidades e as variáveis aleatórias devem tomar um de seus valores. As regras a seguir se aplicam a qualquer distribuição de probabilidades:

A soma de todos os valores de uma distribuição de probabilidades deve ser igual a 1:

$$\sum P(x) = 1 \quad (3)$$

A probabilidade de ocorrência de um evento deve ser

$$0 \leq P(x) \leq 1 \text{ para todo } x \quad (4)$$

A função cumulativa de probabilidade  $F(b)$  é tal que:

$$F(b) = P(X \leq b) = \int_{-\infty}^b f(X) dX \quad (5)$$

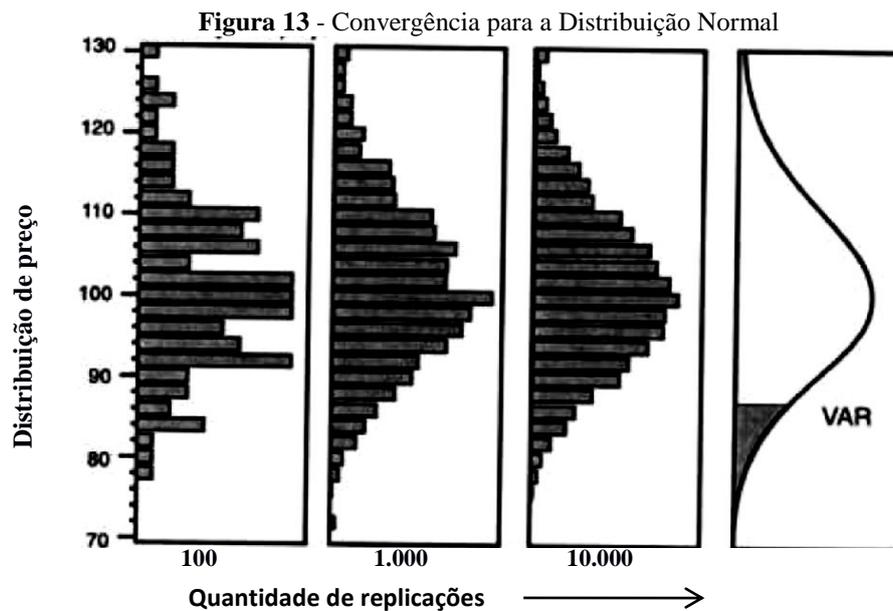
A Função  $f(x)$ , por sua vez, relaciona a probabilidade de ocorrência de um valor da variável aleatória:

$$P(X = x) = f(x) \quad (6)$$

A função  $f(\mathbf{X})$  é aquela cuja integral de  $X = a$  até  $X = b$  ( $b \geq a$ ) dá a probabilidade de que  $\mathbf{X}$  assumira valores compreendidos no intervalo  $(a, b)$ , ou seja:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(X)dX = F(b) - F(a) \quad (7)$$

O Teorema do Limite Central estabelece que a distribuição de frequência da média amostral de uma população tende à distribuição normal quando o número de amostras  $n$  tende ao infinito. Ao se determinar o número de simulações, deve-se levar em consideração a precisão e o esforço computacional. Sempre haverá erro na estimação, porém ao elevar a quantidade de simulações, o valor estimado converge para o valor real a uma velocidade proporcional a  $k$ , onde  $k$  é o número de simulações (JORION, 1998). Na Figura 13, observa-se a convergência de uma distribuição empírica para a distribuição normal.



Conforme o número de simulações aumenta, a distribuição formada tende a distribuição normal e o VAR é determinado pelo valor que excede o intervalo de confiança. Este resultado está em consonância com o Teorema do Limite Central.

Ludwig e Cardoso (2003) apresentam o conceito de Função Utilidade como uma ferramenta matemática para auxiliar a empresa na tomada de decisão frente a uma operação de risco. A referida função atribui uma unidade de medida aos resultados de um problema

decisório, a qual mensura seu nível de satisfação ou utilidade com valores no intervalo entre 0 e 1, caracterizando assim o perfil do *decisor*.

Andrade (1998) apresenta os Critérios: *Maximin*, *Maximax* e *Hurwicz* para auxiliar a escolha da melhor alternativa, considerando-se a ocorrência dos eventos possíveis e os resultados esperados. O critério *Maximin* reflete uma visão pessimista do problema, ou seja, considera-se a ocorrência do pior evento possível. O critério *Maximax* apresenta uma visão otimista do problema, ou seja, supõe-se que acontecerá o melhor resultado possível. Já o critério de *Hurwicz* propõe uma regra de decisão que expressa uma visão intermediária entre os dois casos extremos anteriores através do cálculo da média ponderada H entre o pior e o melhor dos resultados possíveis, escolhendo-se a opção que maximiza o valor de H:

$$H = (1 - \alpha)m + \alpha M \quad (8)$$

Onde:

**m** é o pior resultado;

**M** é o melhor resultado; e

**$\alpha$**  é um coeficiente que varia entre 0 e 1, representando o grau de otimismo do decisor.

Para  $\alpha = 0$ , tem-se o critério *Maximin*, e com  $\alpha = 1$ , o critério *Maximax*. Para valores entre 0 e 1, obtém-se uma solução ponderada para cada alternativa, devendo-se buscar aquela que fornece o maior valor de H.

Uma função distribuição de probabilidade que auxilia no critério de decisão quando as informações são insuficientes para modelar através de uma normal é a PERT. Na distribuição PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), o usuário define os valores: mínimo (pior resultado m), mais provável (Moda) e máximo (melhor resultado M). Valores ao redor do mais provável (Moda) têm maior probabilidade de ocorrência. Entretanto, valores entre o mais provável e os extremos têm maior probabilidade de ocorrência do que na triangular, por exemplo; ou seja, os extremos não são tão enfatizados.

As etapas do processo de simulação podem ser observadas na Figura 3 (primeira coluna) e foram implementadas por etapas, a análise da eficiência energética do projeto foi implementado no *software Retscreen* através de três atividades: desenvolvimento do modelo de energia, análise ambiental e análise econômica, o resultado dessa etapa pode ser visualizado na seção 5.1. Já a análise de risco foi implementada utilizando o *software @Risk*, inicialmente identificando, qualificando e quantificando os riscos (resultado pode ser visualizado na seção

5.2); posteriormente foi proposto um funcional multiobjetivo, composto de distribuições de probabilidade, visando otimizar a sustentabilidade do sistema considerando os indicadores identificados e priorizados na seção 5.2. Através da metodologia de Monte Carlo foram simuladas as funções distribuições de probabilidade e analisados em diferentes cenários.

### 3.6.2. Construção de cenários prospectivos

Para a validação da metodologia desenvolvida foram utilizados diferentes cenários, a validação foi feita pela constatação dos resultados obtidos estarem em conformidade com aqueles esperados na literatura. Um cenário é um estudo prospectivo acerca do futuro aliado à organização das informações obtidas, de modo a oferecer um conjunto de informações coerente, sistemático, compreensível e plausível, com o objetivo de descrever um determinado evento e oferecer instrução e suporte à tomada de decisões (COATES, 2000).

De acordo com Wright e Spers (2006), elaborar cenários não é um exercício de predição, mas sim um esforço de fazer descrições plausíveis e consistentes de situações futuras possíveis, apresentando as condicionantes do caminho entre a situação atual e cada cenário futuro, destacando os fatores relevantes às decisões que precisam ser tomadas. Assim, mesmo o cenário sendo uma representação parcial e imperfeita do futuro, entendido como instrumento de apoio à decisão, precisa abranger as principais dimensões relevantes do problema.

As variáveis analisadas (indicadores de sustentabilidade) estão relacionadas entre si, a análise de cenários procura examinar algumas combinações consistentes. Nesta etapa, foram gerados três cenários prospectivos para o setor de energia, visando analisar o retorno dos investimentos em projetos de geração de energia a partir do aproveitamento da biomassa.

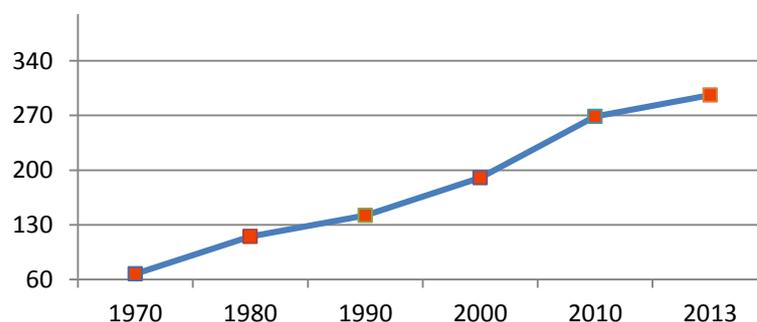
Os cenários propostos tiveram como base os cenários do Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2008), que serão atualizados a partir dos dados de produção de energia de 2013 (BEN, 2014) e o crescimento projetado para o Brasil de 5,1 % do PIB e 1,0 % da População (CGEE, 2014) que atualizaram os coeficientes setoriais de “intensidade energética”, e daí à evolução da Oferta Bruta Interna de Energia (OIB) até 2035. Apresenta-se na Tabela 2 a previsão realizada para a evolução da Oferta Bruta Interna de Energia (OIB) por fonte no período (2013-2035) em termos de participação na energia total.

**Tabela 2** - Estimativa de evolução da oferta interna bruta - OIB

	2013 (%)	2035 (%)
Petróleo e derivados	39	32
Biomassa <sup>4</sup>	24	28
Gás natural	13	19
Hidráulica <sup>5</sup>	13	11
Carvão mineral	6	4
Outras renováveis	4	5
Urânio	1	1

Fonte: Adaptado de BEN, (2014) e CGEE, (2014)

Para obter a estimativa dos seguintes parâmetros: energia total disponibilizada (Mtep), energia elétrica (Twh), biomassa - Geração Elétrica (GWh) e emissões de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>-eq) para 2035; partiu-se dos dados passados e atuais do BEN (2014) identificando-se a curva de crescimento do comportamento histórico de cada parâmetro, a partir dessa análise elaborou-se três cenários prospectivos para 2035. A Figura 14 ilustra o crescimento do parâmetro energia total disponibilizada (Mtep) elaborada a partir dos dados coletados. Os demais parâmetros foram analisados da mesma forma.

**Figura 14** - Crescimento da Energia Total (Mtep)/ano

Fonte: Adaptado dos dados do BEN (2014)

Na Tabela 3, observa-se um resumo dos resultados macroeconômicos para o Brasil no período de 2005-2035 proposto pela EPE (2008). Os cenários 1, 2 e 3 são respectivamente, os cenários denominados: “Na crista da onda”, “Navegando de pedalinho” e “Naufragando”, do Plano Nacional de Energia 2030.

<sup>4</sup> Inclui biomassa de cana, lenha, carvão vegetal e outros.

<sup>5</sup> Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

**Tabela 3 - Cenários de crescimento econômico do País**

<b>PIB Brasil</b>	<b>Crescimento Médio Anual 2005 – 2035 (%)</b>
Cenário 1	5,0%
Cenário 2	3,4%
Cenário 3	2,5%

Fonte: EPE (2008)

Cenário 1: cenário otimista, que pressupõe manutenção das tendências de integração internacional e o avanço das medidas que permitirão acelerar o processo de convergência da economia brasileira para os padrões dos países desenvolvidos.

Cenário 2: cenário menos favorável para a economia mundial. Crescimento da economia brasileira igual ou pouco acima da média mundial.

Cenário 3: cenário pessimista, no qual a economia mundial apresenta pouco avanço e, até mesmo retrocesso, com taxas de crescimento semelhantes às existentes hoje nos países desenvolvidos, sendo que o Brasil mantém a participação na economia mundial.

Neste trabalho, propõe-se uma adaptação dos cenários propostos pelo EPE (2008) utilizando as taxas de crescimento dos últimos anos, visto que o crescimento do Brasil em 2014 foi de menos de 1% e o crescimento médio do período de 2010 à 2014 foi de aproximadamente 1,7% ao ano (vide Tabela 4).

**Tabela 4 - Cenários de crescimento propostos**

<b>PIB Brasil</b>	<b>Crescimento Médio Anual 2015 – 2035 (%)</b>
Cenário A1 e A2	4,0 %
Cenário B	2,5%
Cenário C	1,0%

Fonte: Elaborado pelo Autor

O cenário A estima maior desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico, no mundo; A1 com abundância de petróleo e gás natural, neste cenário aumentou-se em 4% a inclinação da curva dos parâmetros: energia total disponibilizada, energia elétrica e emissões de CO<sub>2</sub>; esta porcentagem é uma adaptação da expectativa de crescimento do Plano Nacional de Energia 2030 para o cenário “Na crista da onda”, e aumentou-se a inclinação da curva em 2,5% para o parâmetro Biomassa - Geração Elétrica porcentagem adaptada do cenário “Navegando de pedalinho” EPE (2008), pois esse cenário é otimista quanto ao crescimento econômico, mas com foco no uso derivados de petróleo.

O cenário A2 estima maior crescimento da energia renovável devido a restrições ecológicas, conservação e uso eficiente de energia; neste caso adaptou-se o modelo dos parâmetros: energia total disponibilizada, energia elétrica e biomassa - geração elétrica para crescimento de 4% (adaptado do cenário “Na crista da onda”); já o parâmetro emissões de CO<sub>2</sub> teve aumento de 2,5%, pois este cenário é otimista em relação ao crescimento econômico mais com foco no crescimento das renováveis.

O Cenário B estima taxas menores para avanços tecnológicos e crescimento econômico; desigual nos países menos desenvolvidos. O comportamento dos parâmetros analisados foi modelado com aumento de inclinação de 2,5%.

O Cenário C é o mais pessimista e teve como base o cenário “Naufragando” do Plano Nacional de Energia 2030 atualizado com as taxas de crescimento do país dos últimos anos. O comportamento dos parâmetros analisados foi modelado com aumento de inclinação de 1,0%. Na Tabela 5 visualizam-se os parâmetros nos cenários propostos neste trabalho.

**Tabela 5 - Cenários prospectivos 2035**

Parâmetros analisados	Produção 2013 <sup>6</sup>	Produção 2035			
		Cenário A1	Cenário A2	Cenário B	Cenário C
Energia total disponibilizada (Mtep)	296,2	556,9	556,9	459,1	361,364
Energia Elétrica (Twh) <sup>7</sup>	609,9	1.146,6	1.146,6	945,3	744,1
Biomassa - Geração Elétrica (GWh)	39.679	61.502,5	74.596,56	61.502,5	48.408,4
Emissões de CO <sub>2</sub> (MtCO <sub>2</sub> -eq)	459	862,9	711,5	711,5	560,0

Fonte: Elaborado pelo Autor

Nos cenários elaborados (Tabela 5) observa-se o crescimento na produção de energia, o cenário B apresenta uma taxa de crescimento de 2,5% ano. O cenário A apresenta crescimento anual de 4%; sendo que no cenário A1 considera-se que a energia disponibilizada tem grande crescimento das fontes de energia fósseis, com aumento das importações e produção do pré-sal, o que implica em maior emissão de CO<sub>2</sub>. No cenário A2 considerou-se maior participação das fontes renováveis de energia de forma geral, em particular a biomassa, o que implica em uma menor taxa de emissão de CO<sub>2</sub> prevista para este cenário.

<sup>6</sup> Fonte: BEN, 2014.

<sup>7</sup> Inclui importação

O modelo probabilístico dos indicadores de sustentabilidade será avaliado nos cenários apresentados na Tabela 5. Ressalta-se que o cálculo de *Value at Risk* (VAR) diário será o valor de mercado do ativo (Energia Elétrica (GWh) a partir da biomassa) multiplicado pelo índice do grau de confiança e pelo desvio-padrão do retorno do ativo (Equação 9).

$$VAR = \text{valor do ativo} \times \text{grau de confiança} \times \text{desvio-padrão do retorno do ativo} \quad (9)$$

A medida do VAR considera um determinado horizonte de tempo. Logo, pode-se ajustar a fórmula simplificada acima para do cálculo do VAR diário para o tempo desejado. Para tanto, multiplica-se o valor do VAR diário pela raiz quadrada do número de dias desejado.

### 3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma metodologia de análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética. A metodologia proposta busca auxiliar no processo de tomada de decisão através da quantificação dos riscos de forma probabilística a partir de informações qualitativas e quantitativas.

A metodologia proposta apresenta maior usabilidade à medida que utiliza ferramentas disponíveis na literatura como a Análise do Ciclo de Vida e Método de Monte Carlo (MMC), bem como *softwares* existentes (*@Risk* e *RETScreen*). Abordaram-se técnicas existentes de forma sistemática e inovadora para a geração do produto deste trabalho.

Nos Capítulos 4 e 5, a metodologia apresentada foi aplicada em um estudo de caso, onde foram analisados os riscos e a viabilidade econômica e ambiental de um projeto de utilização da biomassa residual dendê para geração de calor e eletricidade na Amazônia.

## **CAPÍTULO 4. CRITÉRIOS E INDICADORES (C&I) DE SUSTENTABILIDADE**

Neste capítulo são apresentados os C&I identificados e analisados. Os critérios de sustentabilidade estão divididos em quatro seções: análise ambiental, análise econômica, análise social e análise tecnológica. Cada seção está subdividida nos indicadores identificados para cada critério que será tratado como variáveis do problema.

### **4.1. ANÁLISE AMBIENTAL**

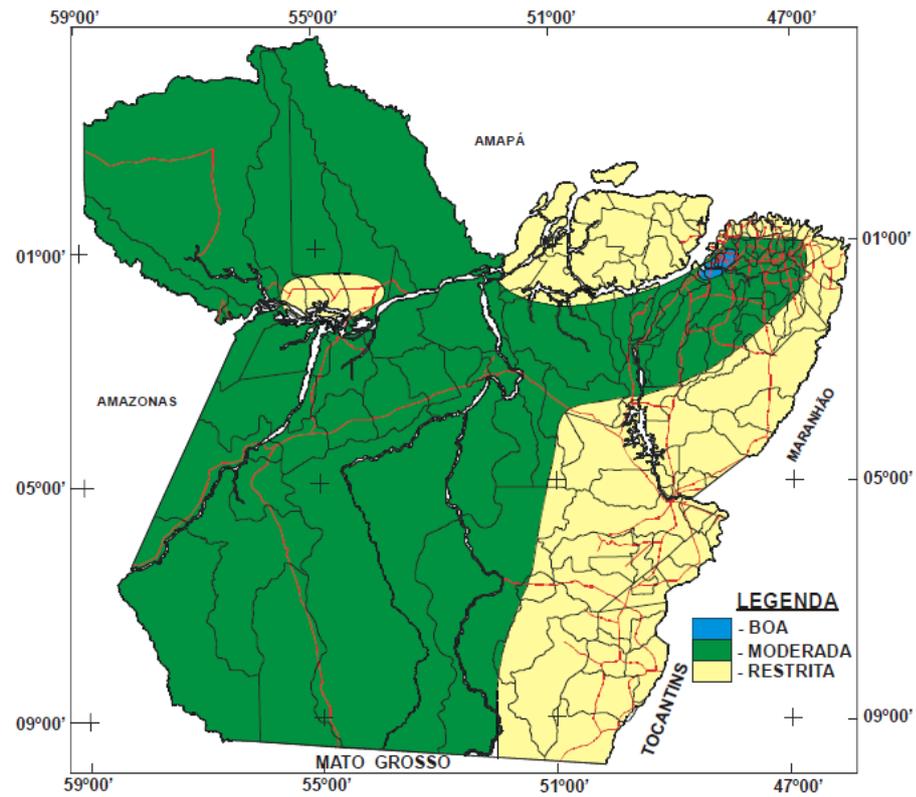
A identificação dos potenciais indicadores ambientais foi realizada através de levantamento de referências bibliográficas (vide Quadro 3); e coleta de dados no campo, onde foram visitadas fazendas da microrregião de Tomé-Açu. Neste critério selecionaram-se dois indicadores: áreas aptas para expansão do dendê e sequestro de carbono. Os principais riscos que afetam esses indicadores serão identificados no Capítulo 5 e comporão os riscos ambientais.

#### **4.1.1. Áreas aptas para expansão do dendê**

O zoneamento agroecológico consiste na avaliação da adequabilidade da terra e produtividade potencial a partir de análise técnico-científica visando à sustentabilidade social, econômica e ambiental, pela indicação das terras mais adequadas à produção agrícola. O zoneamento agroecológico da palma de óleo classificou as áreas como: boa, moderada e restrita; em relação às potencialidades para a cultura do dendê, utilizando como parâmetros dados climatológicos do estado do Pará. De acordo com (BASTOS et al, 2001), a principal área produtora está situada na mesorregião do Nordeste Paraense com cerca de 5,5 milhões de hectares apropriados ao plantio da palma de óleo, como pode ser observado na Figura 15.

A área classificada como boa, que abrange pequena faixa do estado do Pará (0,13%, cerca de 1.600 km<sup>2</sup>) se distingue em relação às áreas adjacentes (apropriadas para cultivo, mas consideradas regulares) pelo regime pluviométrico. O regime de chuvas na região é 2.200 a 2.800 mm ano, e a temperatura média de 25°C. O clima é classificado de acordo com o sistema de Köppen em Ami. Os solos da região são predominantemente Latosolos de baixa fertilidade (EMBRAPA, 2011).

**Figura 15** - Aptidão agroclimática para a cultura do dendê no estado do Pará



Na mesorregião do Nordeste Paraense, a maior parte das áreas utilizadas para implantação de novas áreas de cultivo do dendezeiro, está ocorrendo em áreas desmatadas, que em grande maioria eram utilizadas como pastos (Figura 16). A região classificada como moderada na Figura 15 abrange grande parte do estado do Pará (72,05%, cerca de 902 mil km<sup>2</sup>).

**Figura 16** - Plantação de palma de óleo em Tomé Açu



Fonte: Autor

Atualmente tem-se 140.000 hectares de área cultivada. Em treze anos (1999 a 2012), a área de cultivo de palma de óleo dobrou no estado do Pará, de acordo com os dados da Tabela 6.

**Tabela 6** - Aumento da área de cultivo no estado do Pará

Ano	Área Cultivada (hectares)
1999	63.174
2004	80.430
2008	95.293
2011	117.688
2012	140.000

Fonte: Backhouse et al., (2013) e Monteiro et al., (2013)

#### 4.1.2. Sequestro de carbono

A mudança no uso da terra na Amazônia Oriental é um dos responsáveis pela emissão dos principais gases de efeito estufa dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Desmatamento, queima e posterior uso indiscriminado do solo têm levado à diminuição dos estoques de matéria orgânica e conseqüentemente, dos estoques de carbono e nutrientes, o que reduz a sustentabilidade dos agroecossistemas (CARVALHO et al., 2011).

O plantio do dendê em larga escala e a produção de biomassa da planta dessa palmeira pode contribuir de forma substancial para o sequestro de carbono. Especialmente se for consorciado com espécies florestais para que ocorra a formação de um sumidouro de carbono, uma vez que as florestas removem parte do CO<sub>2</sub> da atmosfera através do processo de fotossíntese, promovendo o "sequestro de carbono" (SILVA et al., 2011).

Segundo resultados apresentados por Kato et al. (2011), o dendê é uma planta perene que pode aumentar a biodiversidade se convertido a partir de pastagens degradadas. Ele também pode melhorar a fertilidade do solo e reduzir o potencial de erosão do solo e lixiviação.

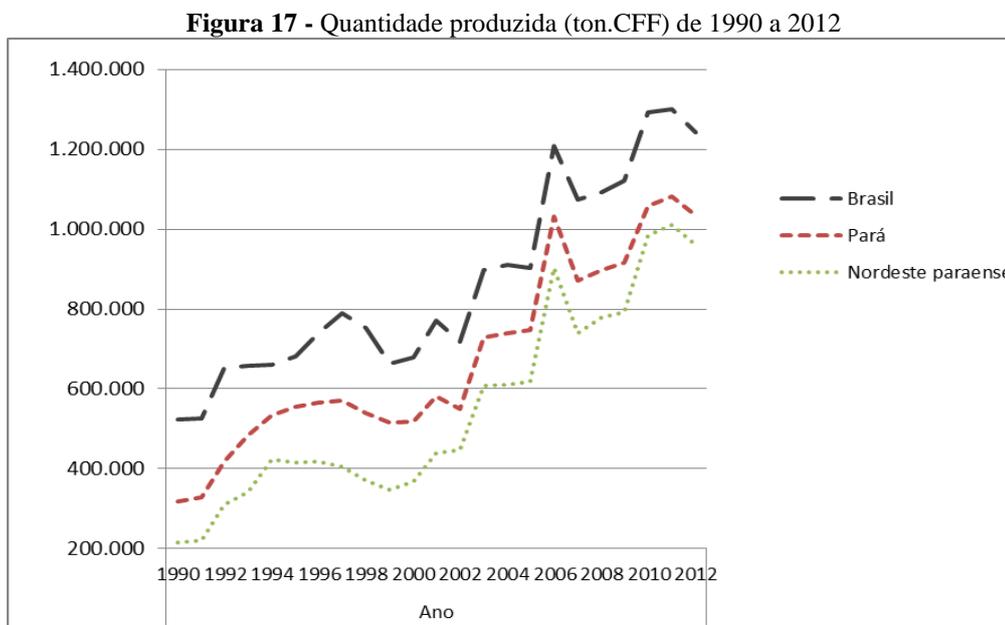
Yui e Yeh (2013) afirmam que o dendê é considerado um reservatório de carbono estimado em cerca de 35 t C ha até 55 t C ha, entretanto se a expansão da cultura ocorrer em áreas de floresta nativa, unidades de conservação ou terras indígenas o total de carbono, incluindo emissões diretas de uso da terra além de produção e uso será muito superior ao diesel.

## 4.2. ANÁLISE ECONÔMICA

Na identificação dos C & I econômicos selecionaram-se três indicadores que obedeceram aos requisitos propostos por Kurka e Blackwood (2013): produtividade, fluxo de caixa, doenças e pragas. Os principais riscos que afetam esses indicadores comporão os riscos econômicos.

### 4.2.1. Produtividade

A Figura 17 foi elaborada a partir dos dados do IBGE (2014) e apresenta o aumento da quantidade produzida (em toneladas) do cacho de fruta do dendê de 1990 a 2012 no Brasil, observa-se que essa produção está centrada no estado do Pará, especificamente no Nordeste Paraense.



Fonte: Adaptado IBGE (2014)

O rendimento médio para cada hectare, ao ano, é de 25 a 28 toneladas de cachos de dendê. Isso seria equivalente a 3.500 a 5.000 kg de óleo de palma e 200 a 350 kg de óleo de palmiste. O que indica ser a cultura de maior rendimento por hectare, como se observa na Tabela 7. O dendê utiliza uma área 6,5 vezes menor do que a soja, canola ou girassol e até 22 vezes menos, que a mamona.

**Tabela 7** - Produtividade média (kg de óleo/hectare) das principais culturas oleaginosas

<b>Culturas</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Tipo de óleo</b>
Dendê	3.000 a 5.000	Óleo de palma
	300 a 500	Óleo de palmiste
Coco	2.000 a 3.000	Óleo de coco
Oliva	1.500 a 2.500	Óleo de oliva
Soja	400 a 600	Óleo de soja
Colza	800 a 1.100	Óleo de colza
Girassol	600 a 1.000	Óleo de girassol
Amendoim	600 a 1.000	Óleo de amendoim

Fonte: Favaro (2011)

Em relação à biomassa gerada, de acordo com Embrapa (2002) para cada 100 toneladas de cff que entram no processo de extração de óleo de palma e palmiste, geram-se: 22 toneladas cachos vazios, 12 toneladas de fibra, 3 toneladas torta de palmiste. As cascas da amêndoa da palma, em decorrência do alto poder calorífico, são utilizadas primariamente como combustível de caldeira para a geração de vapor. Por possuir alto valor energético, as fibras do mesocarpo (polpa) constituem a principal fonte de combustível de processo, como pode ser visto na Tabela 8, que mostra o potencial de geração de energia com os resíduos de biomassa (inclusive os efluentes).

**Tabela 8** - Potencial geração de energia (por tcff) utilizando biomassa de dendê

<b>Biomassa</b>	<b>Kg/ton de CFF</b>	<b>PCI (Kj/Kg, matéria seca)</b>	<b>%H<sub>2</sub>O</b>	<b>Energia (MJ)</b>
Fibra	140	11.350	40	1589
Cascas	80	18.840	10	1507
CFV	230	8.160	50	1306
Biogás	14 Nm <sup>3</sup>	13.818 (60% CH <sub>4</sub> )	-	193

Fonte: FURLAN (2006)

O biogás, referido na Tabela 8, é obtido a partir de lagos de contenção/decantação de efluentes. Se o biogás for utilizado na operação da planta, então, é possível liberar parte da fibra e das cascas para geração de eletricidade ou reciclagem da própria terra (como compostagem). Este excedente energético pode ser particularmente interessante na Amazônia, onde grande área não é servida pelo sistema elétrico interligado, além de ser uma fonte de mitigação nas emissões de GEE.

O cálculo de conversão energética da biomassa pode ser observado na Equação 10. O dado apresentado é de hectares colhidos de dendê em coco. O rendimento da cultura é de, aproximadamente, 5 toneladas de óleo para cada hectare colhido. O fator de conversão energética para o dendê, é de 0,78 MWh por tonelada de dendê (COELHO et al., 2000).

$$Potencial \left( \frac{MW}{ano} \right) = \frac{(hacolidosx \frac{5t}{ha} x 0,78 \frac{MWh}{t})}{8.322} \quad (10)$$

Considera-se que o sistema opera o ano todo com o óleo gerado, e que a operação ocorra em 95% das vezes, o que resulta em 8.322 horas de operação por ano.

#### 4.2.2. Fluxo de caixa

Os projetos de investimentos têm seus fluxos de caixa construídos com estimativas, quanto maior for o tamanho e a complexidade do projeto, maiores serão as dificuldades de realizar as estimativas e, portanto, maiores poderão ser os erros das estimativas (LAPPONI, 2000).

Tanto o *payback*, como a TIR e o VPL são calculados a partir de fluxos de caixa projetados que tentam retratar as condições econômicas e financeiras do projeto. Segundo Laponi (2000), deve-se sempre, ao realizar uma análise de investimentos, levar em consideração que:

- As estimativas e os resultados do investimento não são conhecidos com certeza;
- As estimativas do fluxo de caixa do projeto de investimento são valores esperados, definidos utilizando algum critério;
- Os resultados do VPL ou da TIR do fluxo de caixa, também serão valores esperados. Quanto maior for a dispersão de cada estimativa ao redor de seu valor esperado maior poderá ser a dispersão de cada resultado do fluxo de caixa;
- Essa incerteza é o risco do projeto gerado pelas dispersões das estimativas esperadas.

A biomassa quando utilizada como fonte de eletricidade, em geral, oferece preços favoráveis, a eficiência nas emissões e disponibilidade, mas muitas vezes tem como desvantagem o acesso e o uso da água, bem como os impactos sociais. Logo, o tipo e a

localização da fonte de biomassa são fundamentais para a sua sustentabilidade (EVANS et al., 2010).

Em relação aos custos de produção, o fator mais importante para a redução de custos das energias derivadas de biomassa é a redução do custo da biomassa; este inclui os custos da coleta e transporte. Neste sentido, são estratégicas econômicas as fontes de biomassa que utilizam resíduos de outros processos produtivos, portanto, com o custo de transporte e produção já absorvidos no custo do produto principal.

O Brasil possui uma das maiores cargas tributárias do mundo, incidente em todos os setores da economia. Os encargos trabalhistas e os gastos com fertilizantes são os custos que mais oneram a cadeia de produção do dendê com 44,24% e 35,28% respectivamente (ABRANTES, 2006).

Os principais tributos são o ICMS, PIS/COFINS juntamente com as contribuições previdenciárias geram um valor de 6,42% sobre o custo de produção (ABRANTES, 2006).

As alíquotas de ICMS variam de 7%, quando a produção é vendida no próprio estado do Pará ou para região Nordeste do Brasil, ou essa alíquota pode chegar a 12%, quando esse óleo é vendido para estados da região Sul e Sudeste do Brasil.

Os principais custos identificados foram:

- Aquisição da área do plantio e da usina;
- Máquinas e equipamentos;
- Sistemas de irrigação;
- Construção de galpões, depósitos, obras de engenharia civil;
- Adubação, fungicidas, herbicidas;
- Mão-de-obra, encargos sociais;
- Preparo do solo;
- Aquisição de sementes;
- Depreciação de equipamentos;

- Operação e manutenção da usina.

O uso de resíduos e de coprodutos, na agricultura e na agroindústria, pode contribuir para reduzir custos ambientais.

Em relação às vendas dos ativos gerados, a maior produção de etanol de milho nos USA, a produção de biodiesel na União Europeia e a produção de biodiesel de palma no sudeste Asiático são fatores que podem contribuir na variação dos preços de óleo de palma. O valor da produção de óleo de palma no Brasil em 2012 foi de R\$ 322.296 milhões de reais, resultado de um total de 1.240.992 toneladas de cacho de coco de palma de óleo colhidos (IBGE, 2014).

O preço médio de venda de energia a concessionária em 2014 por leilão foi de R\$ 149/MWh (ANEEL, 2014).

#### 4.2.3. Doenças e pragas

O Amarelecimento Fatal (AF) gera grandes prejuízos, pois implica em novos plantios, que tende a reduzir o volume produtivo da cadeia em curto prazo.

A Embrapa lançou em 2010 a cultivar BRS Manicoré, híbridos resultantes do cruzamento de dendezeiro nativo da Amazônia brasileira (*Elaeis oleífera*) com o dendezeiro nativo da África (*Elaeis guineenses*), mais resistente ao ataque do Amarelecimento Fatal, porém a produção de mudas de espécies híbridas ainda não consegue atender à demanda existente. Minimizar ou exaurir esta necessidade implica a criação de empresas produtoras de sementes e mudas, uma vez que grandes áreas de plantios não viabilizados com espécies híbridas da cultura tendem a sofrer ataque da doença.

Os sistemas agrícolas biodiversificados com dendê como cultura principal fornecem recursos específicos (alimentação e abrigo) para diferentes grupos de inimigos naturais, particularmente formigas, besouros e aranhas predadoras, que poderão atuar como agentes de controle biológico de pragas da dendeicultura nesses ambientes (YUI E YEH, 2013).

### 4.3. ANÁLISE SOCIAL

A identificação dos indicadores teve como base referências bibliográficas (vide Quadro 3) e entrevistas com produtores e especialistas na área. Selecionaram-se quatro indicadores representativos deste critério: geração de renda, empresas e contratos, substituição de outras

culturas e comunidades tradicionais. Os principais riscos que afetam esses indicadores compõem os riscos sociais.

#### 4.3.1. Geração de renda

O governo brasileiro está buscando inserir o produtor rural como ator da integração da agricultura familiar com a agroindústria dos biocombustíveis. Segundo Santos (2008), no cultivo familiar de dendê ocorre a geração de 4 a 5 empregos em cada 7 a 8 hectares. Deste modo, tomando como base a geração de 4 empregos (ou seja, uma família de 4 pessoas que trabalham) a cada 7 ha, tem-se que: se forem plantados os 60.400 ha de palma de óleo (valor referente a área desmatada do estado do Pará em 2008), seu cultivo geraria um volume de emprego para, aproximadamente, 8.628 famílias, ou seja, serão 34.514 pessoas empregadas. E a renda que poderia ser gerada é de aproximadamente R\$700,00 a R\$1.000,00 mensais para o cultivo em três hectares.

Outros elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar devem ser considerados de acordo com Glass (2014) e Backhouse et al. (2014), como o endividamento dessas famílias, uma base de cálculo de gasto e ganho, elaborado pela Embrapa em parceria com a empresa Dendê do Pará S.A. (Denpasa) em 2010, tem ordenado os financiamentos do Pronaf Eco Dendê do Banco da Amazônia, que atualmente disponibiliza até R\$ 80 mil por família com prazo de 14 anos (prorrogáveis por mais seis) para quitação dos débitos. A estimativa das empresas é que, se manejado de acordo com as indicações técnicas, uma família poderá produzir de 80 toneladas de dendê por ano, em 10 ha, a partir do terceiro ano, e até 280 t/ano, a partir do 10º ano.

A inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva pode fortalecer o processo de geração de renda, desde que o contrato com a empresa que comprará a palma seja do tipo ganhanha, ou seja, beneficie também o agricultor familiar.

O dendê, por necessitar de renovação somente a cada 25 anos, ajuda a fixar o homem no campo, e, conseqüentemente, diminui a pressão de abertura de novas fronteiras agrícolas.

### 4.3.2. Empresas e contratos

#### *Empresas*

Existem onze agroindústrias de extração, duas de refino e uma de produção de gorduras e margarinas vegetais, sendo que somente seis empresas foram responsáveis pelo processamento do óleo de palma bruto (MONTEIRO, 2013). Na Tabela 9, observam-se as principais agroindústrias presentes na região.

**Tabela 9 - Principais agroindústrias de óleo de palma no estado do Pará**

<b>Empresa</b>	<b>Município</b>	<b>Área Plantada (Ha)</b>	<b>Metas de Expansão 2015- 2018 (Ha)</b>
Vale/Biopalma	Moju	> 60.000	80.000
Agropalma	Tailândia	42.000	51.000
Mejer	Bonito	6.500	5.000
Dentauá	Santa Izabel	5.546	5.600
Petrobras/Galp (Belém Bioenergia S.A)	Tailândia/Mocajuba	> 5.000	70.000
ADM	São Domingos do Capim	> 5.000	24.000
Marborges	Moju	4.671	5.500
Palmasa	Igarapé Açu	4.200	5.000
Denpasa	Santa Bárbara	1.750	10.000

Fonte: Monteiro, (2013)

Considerando as metas informadas pelas empresas (Tabela 9), até 2018 haverá um total de 390.767 hectares de área plantada, ou seja, um aumento de 280 %, apenas com as empresas existentes hoje no estado, sem contar a potencial implantação de novos empreendimentos.

#### *Contratos*

Em pesquisa de campo, identificou-se contratos em que a empresa é responsável pela compra de toda a produção, financiamento dos insumos agrícolas e treinamento dos agricultores e os agricultores são responsáveis pela gestão dos plantios e manutenção da cultura. Segundo Alves (2011), além da assistência técnica, a empresa também financia todos os fertilizantes utilizados pelos agricultores, sendo um total de R\$ 7.000,00/ano, cuja dívida é acertada com a associação, sendo descontados 25% do valor total/mês do que os agricultores têm a receber da empresa. Cada agricultor familiar pode plantar no máximo 10 ha da cultura, o que garante uma média de produção na safra de 25 toneladas de cachos/mês, e na entre safra de 15 toneladas/mês.

Nos contratos de compra e venda entre a Agropalma e os agricultores, a empresa paga por tonelada de fruto um percentual de 12 a 15 % do valor de óleo de dendê, que depende da variação do valor de cotação do mercado internacional de Roterдам acrescido de um adicional

de 8% sobre o valor pago pela tonelada. Este adicional somente é contabilizado quando os tratamentos culturais são realizados de maneira correta. O agricultor poderá ter seu contrato cancelado se houver atraso na colheita por mais de sessenta dias; se houver atraso por mais de doze meses nas atividades de poda e roçagem; e se atrasar na atividade de adubação por mais de 30 dias (ALVES, 2011).

#### 4.3.3. Substituição de outras culturas

No levantamento realizado em campo na microrregião de Tomé-Açu (municípios de Acará, Concórdia do Pará, Moju, Tailândia, Tomé-Açu) observou-se a plantação de monocultura de dendê em grande escala em substituição de determinadas culturas tradicionais da região como a mandioca, a fruticultura e a criação de gado. Abordados sobre a substituição, os agricultores informaram que não existem políticas que incentivem a produção da mandioca, ou seja, não há uma valorização da cadeia produtiva local.

A cultura do açaí é um caso à parte, pois vem apresentando crescimento na região desde 2008 com o lançamento da cultivar BRS Pará que pode ser cultivada em terreno não alagado com boa produtividade, desde que seja irrigada.

Existem algumas iniciativas de consórcios entre cultivares alimentares e palma de óleo na região como apresentado por Quintela et al. (2013) que analisou a produção das cultivares de arroz (BRS Monarca e BRS Pepita) consorciado com a palma de óleo em área de agricultor familiar situado no município de Tailândia obtendo resultados favoráveis ao consórcio. Na Figura 18, observa-se um consórcio entre a palma de óleo e cacau na fazenda de um agricultor familiar (20 ha) na região de Tomé-Açu.

**Figura 18** - Palma de óleo consociada com cacau



Fonte: Autor

#### 4.3.4. Comunidades tradicionais

De acordo com EMBRAPA e MAPA (2010), 31,8 milhões de hectares das chamadas “áreas antropizadas” na Amazônia e do Nordeste brasileiro foram consideradas apropriadas ao cultivo de palma de óleo. O problema é que não existe um espaço vazio sem gente e sem história.

Em entrevista Calnerin<sup>8</sup> – presidente da associação quilombola de são domingos do capim – informou que houve aumento de busca pelas terras com esmagamento das comunidades tradicionais que não tiveram oportunidade de serem reconhecidas. A comunidade que buscava a regularização fundiária do território não conseguiu por falta de apoio. A terra está na mão das pessoas que já estão fazendo projetos para a entrada de dendê na área.

Atualmente os bancos dão prioridade para empréstimos de valores mais altos e para agricultores familiares envolvidos com a cultura do dendê, há falta de transparência com os contratos das empresas com os agricultores.

<sup>8</sup> Calnerin. Entrevista concedida à Rosana Cavalcante de Oliveira. Belém, out. 2013.

## 4.4. ANÁLISE TECNOLÓGICA

Os indicadores tecnológicos selecionados foram: tecnologias e mapeamento tecnológico (rota tecnológica). Esses indicadores auxiliam na estimação do nível esforço de pesquisa e desenvolvimento (P&D) associado à cadeia produtiva do dendê, contribuindo dessa forma na identificação dos riscos que afetam toda a cadeia.

### 4.4.1. Tecnologias

De acordo com Isaias (2001), o conteúdo energético da biomassa é relativamente pouco “denso” espacialmente, exigindo coleta e transporte para concentrar o insumo; portanto, os custos do insumo crescem com a capacidade da unidade de conversão; e as tecnologias de conversão para energia elétrica convencional apresentam forte economia de escala.

Como nos combustíveis convencionais, a energia contida na biomassa é energia química associada com os átomos de carbono e hidrogênio contidos nas moléculas orgânicas oxidáveis. Para organização e assimilação dessas moléculas orgânicas e consequente produção de biomassa vegetal, ocorre o processo de fotossíntese, ou seja, a conversão do dióxido de carbono e da água para uma forma de combustível orgânico.

A geração de energia oriunda da biomassa em média ou grande escala (dezenas de MW) pode utilizar a tecnologia de ciclos a vapor, tecnologias totalmente comerciais e amplamente empregadas nas agroindústrias da cana de açúcar ou celulose. As eficiências na conversão para energia elétrica são fortemente dependentes do nível de pressão utilizado e do uso de cogeração total ou parcial. Os equipamentos são produzidos no Brasil com exceção de alguns itens de instrumentação e componentes de turbinas. Essa escala de geração (dezenas de MW) também pode utilizar ciclos de gasificação ou turbinas a gás. Estas tecnologias são mais recentes e seu estágio atual de desenvolvimento deve ser considerado na análise de risco de investimento do empreendimento.

De acordo com Santos et al. (2005), as tecnologias para a geração de energia elétrica a partir da biomassa disponíveis no Brasil são:

- Combustão direta da biomassa em caldeiras em ciclos a vapor;
- Combustão mista de biomassa/carvão;

- Gasificação da biomassa e uso do gás em ciclos combinados.

O custo da biomassa no Brasil e a alta eficiência de sistemas modernos de geração de eletricidade, especialmente através da gaseificação de biomassa e uso do gás em ciclos combinados, justificam maior atenção para o desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil.

#### 4.4.2. Mapeamento tecnológico através da análise de patentes

Os estudos prospectivos auxiliam no planejamento e gerenciamento de níveis de incerteza. O mapeamento tecnológico através da análise de patentes constitui na busca e recuperação de pedidos de patente relacionados à cultura do dendê nas duas principais bases de patentes mundiais: *European Patent Office* (EPO) e *United States Patent and Trademark Office* (USPTO); e na base de dados brasileira localizada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Abrange a sistematização e o tratamento dos dados coletados.

##### ***Coleta de dados***

A patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgado pelo estado aos inventores, autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação. Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente (INPI, 2014). As patentes depositadas podem ser consultadas nas bases de patentes, nessas é encontrado o que há de mais recente no estado da técnica.

As palavras-chave utilizadas nas buscas em base de patentes foram: dendê, palma de óleo, *oil palm*, biomassa, *biomass*. As bases de patentes consultadas foram: *European Patent Office* (EPO); *United States Patent and Trademark Office* (USPTO); e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). A contagem de patentes reflete o número de patentes, podendo abranger: o número de pedidos de residentes que reflete a atividade do país; e o número de pedidos de não residentes que reflete o interesse pelo mercado.

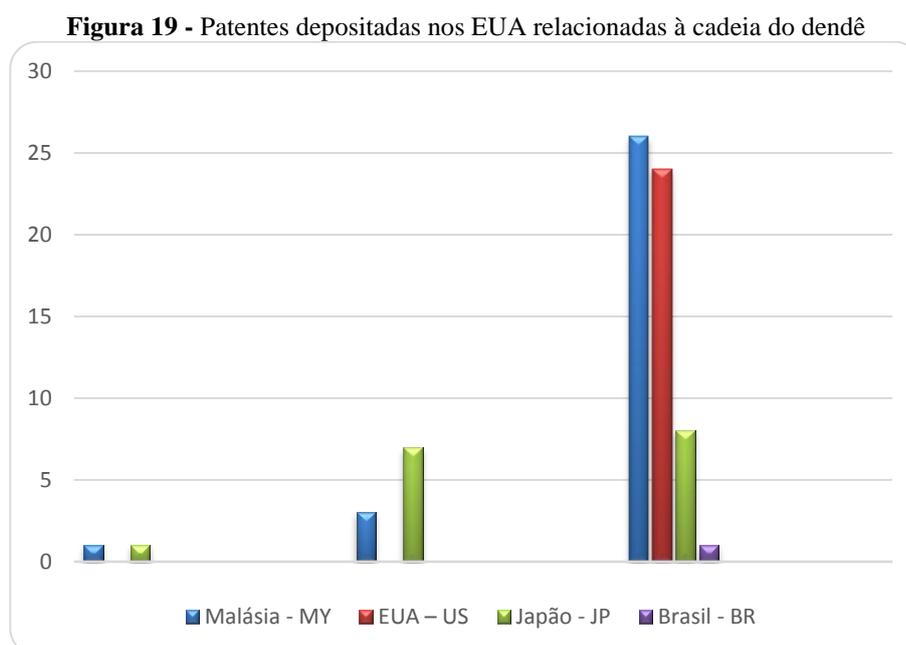
##### ***Análise estratégica de patentes***

A análise de patentes é baseada no pressuposto de que o aumento do interesse por novas tecnologias se refletirá no aumento da atividade de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e que isso, por sua vez, se refletirá no aumento de depósito de patentes (CGEE, 2014). A consulta à base de patentes do INPI retornou 69 processos, na base EPO 124 e na USPTO 193.

A base de dados com maior quantidade de patentes depositadas na área foi a USPTO (base de dados dos EUA), o que pode indicar que este mercado está mais aquecido para as tecnologias relacionadas à cadeia do dendê. Visando analisar o panorama do desenvolvimento tecnológico de países produtores de palma de óleo no mercado dos EUA, realizou-se uma análise comparativa na base de patentes USPTO.

Os países selecionados para análise foram os produtores de dendê, no caso Malásia e Brasil; e como grandes importadores selecionaram-se EUA e Japão. O objetivo é comparar entre os países selecionados, o número de patentes concedidas para instituições dos EUA, Malásia, Japão e Brasil nos EUA, no período de 1981 a 2013.

Analisando-se a quantidade de patentes depositadas pelos EUA, Malásia, Japão e Brasil no período de 1981 a 2013 (Figura 19) observa-se o crescimento do número de patentes em todos os países analisados, com ênfase nos últimos dez anos, o que pode indicar um crescente interesse neste mercado, principalmente da Malásia e EUA.



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados USPTO (2014)

A Malásia apresentou o maior número de patentes depositadas nos EUA, esse indicador também se reflete no expressivo número de artigos sobre a cadeia da palma de óleo publicados em periódicos internacionais por autores oriundos da Malásia. Os EUA é o país consumidor que mais deposita patentes em seu próprio território. O Brasil e o Japão não possuem grande representatividade nas patentes depositadas.

O governo brasileiro voltou a investir em políticas de incentivo à produção de palma, através do programa de produção sustentável de óleo de palma e do programa agricultura de baixo carbono (Programa ABC) apenas em 2010, esse fato pode estar relacionado a haver somente uma patente de propriedade de brasileiros sobre a cultura do dendê nos EUA.

Após análise das patentes depositadas sobre a cultura da palma de óleo nos EUA, identificaram-se as tendências com foco em pesquisa das tecnologias depositadas:

1. Melhoramento genético (inclusive transgênicos);
2. Produção de alimentos;
3. Produção de óleo para combustível (Biodiesel);
4. Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados;
5. Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos;
6. Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial e sistemas.

#### 4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado os Critérios e Indicadores de Sustentabilidade identificados na etapa de coleta de dados da metodologia proposta no Capítulo 3. Os Critérios de Sustentabilidade observam as dimensões proposta pela *Roundtable Sustainable Palm Oil* (RSPO), abrangendo as dimensões: ambientais, sociais, econômicas e tecnológicas. Os indicadores foram identificados a partir de levantamento bibliográfico, entrevistas a especialista na área e coleta de dados em campo.

No Critério Ambiental selecionou-se dois indicadores: áreas aptas para expansão do dendê e sequestro de carbono. O estado do Pará apresenta cerca de 1.600 km<sup>2</sup> classificados como boa e 902 mil km<sup>2</sup> classificados como moderado para a produção do dendê.

No Critério Econômico selecionou-se três indicadores: produtividade, fluxo de caixa, doenças e pragas. O indicador fluxo de caixa abrange os principais índices econômicos, como: *payback*, TIR, VPL e custos de investimento.

O Critério Social abrange três indicadores: geração de renda, empresas e contratos, substituição de outras culturas; visando contextualizar a situação social de algumas regiões adicionou-se uma seção sobre comunidades tradicionais visto este item não possuir o requisito de Praticidade necessário para se tornar um indicador (vide Quadro 2).

Um mapeamento tecnológico foi realizado no Critério Tecnológico através da análise de patentes em que se identificou as principais tecnologias que estão sendo desenvolvidas na área. O Capítulo 5 apresentará os riscos que afetam os indicadores de sustentabilidade.

## **CAPÍTULO 5. ANÁLISE DE RISCO DE INVESTIMENTO EM PROJETOS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA DA BIOMASSA DO DENDÊ**

Os investimentos em geração de energia elétrica no Brasil apresentam características particulares, como a grande variabilidade da receita estimada do produtor, incertezas regulatórias e custos irreversíveis de grande magnitude. A variabilidade da receita do produtor decorre da volatilidade do preço da energia e da quantidade de energia gerada, que são influenciados pela incerteza da afluência hidrológica brasileira. Essas características, aliadas à incerteza regulatória, depreciam os investimentos no setor (MOREIRA et al., 2003). O gerenciamento de risco permite uma redução da variabilidade dos futuros fluxos de caixa, valorizando e tornando o projeto analisado mais confiável. Neste capítulo irá se aplicar a metodologia proposta através de um estudo de caso de projeto de uma usina de cogeração que utilizará o reaproveitamento dos resíduos da biomassa de dendê para gerar energia.

### **5.1. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PROJETOS**

No Brasil, o setor industrial não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética apesar de ser o maior consumidor de energia e a economia de energia em ações de eficiência energética no setor industrial gerar benefícios para toda a sociedade. A Lei de eficiência energética (Nº 10.295/01) confere ao poder executivo a atribuição de estabelecer índices mínimos de eficiência.

Segundo o CNI (2009), considerando o valor de R\$ 138/MWh para o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica, valor estimado pela EPE (Plano Decenal 2007/2016), a eficiência energética é uma alternativa viável, porém, uma das barreiras neste processo é a aversão a riscos decorrentes de novos projetos.

Neste contexto, fazem-se necessários incentivos a projetos pilotos inovadores que associem ações de eficiência energética a ganhos ambientais, em especial, a reduções das emissões de gases de efeito estufa.

A análise de eficiência energética de um estudo de caso nesta seção utilizou como ferramenta o *software RETScreen*, que é direcionado para análise de projetos de energia

renovável e não renovável e eficiência energética, e possibilita a redução do custo dos estudos de pré-viabilidade. Avalia-se através do *software* a produção de energia, os custos durante o tempo de vida do projeto e a redução na emissão dos gases de efeito estufa.

#### 5.1.1. Desenvolvimento do modelo de energia

Apesar do potencial de geração de energia elétrica com a biomassa residual do dendê, segundo a ANEEL (2014), em 2013 apenas duas agroindústrias utilizaram este tipo de combustível renovável no estado do Pará, a indústria Palmares com uma usina de 1.640 kW e a Agropalma com uma usina de 2.710,40 kW.

Com objetivo de analisar a sustentabilidade da produção de calor e eletricidade a partir da biomassa residual do plantio do dendê no nordeste do estado do Pará, apresenta-se nesta seção o desenvolvimento de um modelo de cogeração de energia, no qual se avaliará a viabilidade da implantação em três diferentes cenários.

Este estudo de caso considera uma usina termelétrica de 14 MW que funciona 24 horas por dia, 365 dias por ano, e exigindo 0,85 toneladas de resíduos de biomassa seca por megawatt-hora (MWh) gerado. O preço de venda foi fixado em de R\$ 149/MWh, que é o preço médio em leilões de energia (ANEEL, 2014). O projeto está localizado no município de Tailândia, pois este município foi responsável pela produção de 33% do óleo de palma produzido no Brasil em 2012 e, como se enfatizou no critério econômico, indicador de custos de produção, a utilização de resíduos e subprodutos na agricultura contribui para a redução dos custos.

#### **Dados do modelo**

- Local do Projeto: Tailândia;
- Tipo de Combustível: Óleo de palma - resíduo
- Eficiência sazonal: o dendê produz o ano todo, definiu-se no modelo que o rendimento máximo ocorre entre os sete e doze anos de produção;
- Carga de base do sistema de eletricidade/ Tecnologia: Turbina a vapor;
- Fluxo de vapor: 160.000 kg/h
- Eficiência da turbina a vapor (TV): 33,0%
- Demanda de eletricidade (Quadro 5);
- Demais dados do modelo vide Tabela 10;

**Quadro 5** - Meses de picos e vales das sazonalidades médias regionais

	Sudeste	Sul	Nordeste	Centro-Oeste	Norte
Período de pico	Set. e nov.	Jan.-abr.	Set.-jan.	Set.-nov.	Set.-nov.
Período de vale	Dez.-mar.	Set.-dez.	Jun.-ago.	Dez.-fev.	Fev.-abr.

Fonte: Oliveira et al. (2000)

**Tabela 10** - Parâmetros de simulação do modelo

Parâmetros	Brasil	Unidade
Área plantada	30.000	Hectare
Produção de biomassa seca	150.000	Toneladas
Capacidade de processamento	20	toneladas* cff / h
Potência instalada	14.000	KW
Carga para aquecimento	39972,7	KW
Preço de venda da eletricidade	0,149 KWh	R\$

Fonte: Elaborado pelo Autor

No modelo energético (vide Tabela 11), o aproveitamento do resíduo da palma de óleo como combustível é utilizado tanto na geração de eletricidade quanto no aquecimento nas etapas do processo produtivo de fabricação do óleo de palma. Sendo utilizada eletricidade convencional complementar na carga de ponta. Neste modelo, o processo de aquecimento não recupera calor.

**Tabela 11** – Modelo energético do caso proposto

	Tipo de Combustível	Consumo de combustível – unitário	Consumo de combustível	Capacidade (KW)	Energia Fornecida (MWh)
<b>Eletricidade</b>					
Carga de base	Palma de óleo – resíduo	T	150.203	18.681	16.644
Carga de Ponta	Eletricidade	MWh	18.396	4.200	18.396
Eletricidade exportada p/ rede					61.088
<b>Total</b>				<b>22.881</b>	<b>96.128</b>
<b>Aquecimento</b>					
Carga de base	Calor recuperado			0	0
Carga de Ponta	Palma de óleo – resíduo	Kg	109.382.539	40.000	350.161
<b>Total</b>				<b>40.000</b>	<b>350.161</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.1.2. Análise ambiental

Na análise ambiental compara-se o desempenho da termelétrica de biomassa de palma de óleo com as que utilizam carvão e óleo diesel e com o Sistema Interligado Nacional (SIN) que usa predominantemente fonte hidrelétrica de energia.

Em relação aos aspectos ambientais do projeto, considerando perdas de transmissão e distribuição de 5% no sistema elétrico. Na Tabela 12 observa-se o comparativo das fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) por fonte de energia. Ressalta-se que o comparativo de redução anual bruta de emissões de GEE é realizado em relação à térmica de biomassa do dendê.

**Tabela 12 - Aspectos ambientais Emissão de GEE (tCO<sub>2</sub>/MW)**

Fonte de energia	Fator de Emissão de GEE (tCO <sub>2</sub> /MWh)	Emissão de GEE (tCO <sub>2</sub> )	Redução anual bruta de emissões de GEE (tCO <sub>2</sub> )	É equivalente a
SIN	0,091	9.586,9	1.515,5	139 ha de floresta absorvendo carbono
Termelétrica Carvão	1,645	160.385,7	117.555,0	10.812 ha de floresta absorvendo carbono
Óleo diesel	0,757	73.487,8	51.222,5	4.711 ha de floresta absorvendo carbono
Termelétrica dendê	0,015	7.708,5	-	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

O Sistema Interligado Nacional (SIN) utiliza predominantemente fonte de energia de hidrelétricas que apresenta baixo fator de emissão de GEE em comparação com a termelétrica a carvão e o óleo diesel, entretanto, como informado no capítulo “a energia e o desenvolvimento sustentável”, nos últimos anos com a diminuição das chuvas e os grandes custos de novas hidrelétricas, o governo tem adquirido via leilão cada vez mais energia oriunda de térmicas de carvão, que como visualizado na Tabela 12 são as mais poluentes. Logo, o investimento em térmicas com fonte de energia como a biomassa de dendê é uma alternativa com menor impacto ao meio ambiente, e deve ser estimulada sua participação nos leilões de energia através de políticas públicas mais atuantes.

A termelétrica que utiliza biomassa de dendê apresenta apenas 1,72% das emissões de GEE do óleo diesel, fonte muito utilizada em comunidades isoladas, fazendas e indústrias no interior do estado do Pará. Logo a cogeração de energia para aproveitamento local também deve ser estimulada por políticas públicas.

### 5.1.3. Análise econômica

O indicador econômico *Fluxo de caixa* identificado na sessão 4.2.2 apresentou os principais custos associados a uma agroindústria de óleo de palma, os valores foram atualizados usando como fontes Favaro (2011), Oddone (2001), e Monteiro (2013), bem como os parâmetros atuais do mercado, para a implantação de um sistema de produção de eletricidade de 14 MW em uma agroindústria de produção de óleo de palma já existente. Na Tabela 13 apresentam-se os principais custos de investimento incluindo o item denominado “Balanço do sistema” que inclui 5% de reserva de contingência e 8% de juros durante a construção do projeto, além dos custos anuais de operação e manutenção (O & M), custo de combustível e pagamento da dívida.

**Tabela 13 - Principais custos de investimento**

<b>CUSTOS INICIAIS</b>		
Estudo de viabilidade	R\$	25.000
Desenvolvimento	R\$	25.000
Engenharia	R\$	150.000
Sistema de produção de eletricidade	R\$	64.340.545
Contingência	R\$	8.121.730
<b>Total de custos de investimento</b>	<b>R\$</b>	<b>72.662.275</b>
<b>PAGAMENTO ANUAL</b>		
O&M	R\$	472.998
Custo combustível - caso proposto	R\$	2.759.400
Pagamento da dívida - 10 anos	R\$	8.686.865
<b>Total de custos anuais</b>	<b>R\$</b>	<b>11.919.263</b>

Fontes: Valores atualizados a partir de Favaro (2011), Oddone (2001) e Monteiro (2013)

Em relação à viabilidade econômica do projeto, apresenta-se na Tabela 14 um comparativo dos três cenários elaborados na seção 3.6.2, considerando-se diferentes valores para as seguintes variáveis: Taxa de inflação, Taxa de desconto, Taxa de juros da dívida. Considerou-se para análise o cenário A2 como otimista; cenário B como moderado e cenário C como pessimista. Desconsideraram-se nesse momento os valores do cenário A1 por ser um misto do cenário A2 e o cenário B.

A expectativa do mercado para o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de 2014 ficou em torno de 6,39%; a maior alta na taxa de inflação nos últimos 15 anos ocorreu em 2002 e foi de 12,53%; para 2015 a expectativa para a inflação é de 6,56%, número acima do teto do sistema brasileiro de metas de inflação do Banco Central (BC) que em 2015 e 2016 é de 4,5%. As taxas de inflação aplicadas nos cenários da Tabela 14 seguem uma

distribuição PERT com moda de 6,56% no cenário B (valor mais provável), valor mínimo de 5% (otimista cenário A2) e valor máximo de 8% (pessimista cenário C).

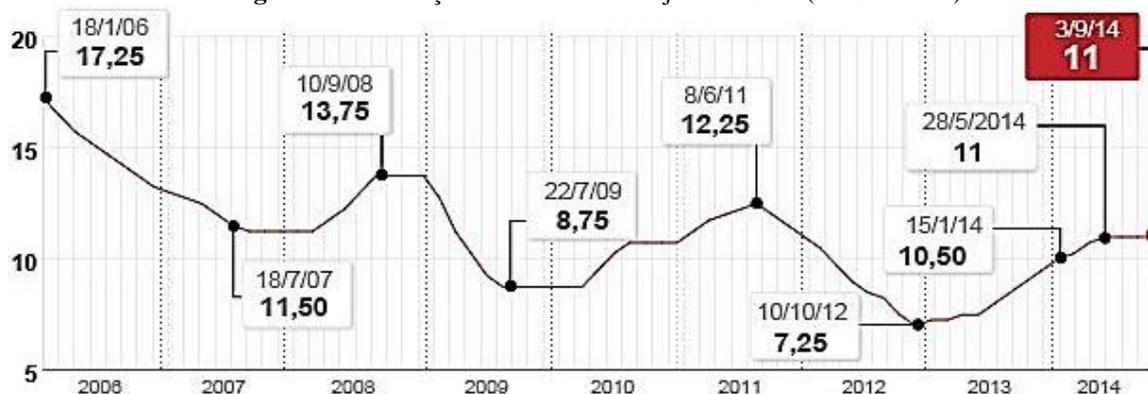
**Tabela 14 - Comparativo dos três cenários elaborados**

<b>Geral</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário A2</b>	<b>Cenário B</b>	<b>Cenário C</b>
Taxa de inflação	%	5,0	6,0	8,0
Vida do projeto	Ano	20	20	20
<b>Financiamento</b>				
Empréstimo	R\$	43.597.365	43.597.365	43.597.365
Capital próprio investido	R\$	29.064.910	29.064.910	29.064.910
Taxa de juros da dívida	%	10,0	12,5	15,00
Duração da dívida	Ano	10	10	10
Pagamento da dívida	R\$/ano	7.095.270	7.874.634	8.686.865
<b>Viabilidade econômica</b>				
TIR após impostos – capital	%	43,2	42,1	40,9
TIR após impostos – ativos	%	22,1	21,7	21,2
Retorno simples	Ano	3,2	3,2	3,2
Retorno do capital próprio	Ano	2,8	2,9	3,0
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$	160.562.267	157.151.632	153.555.145
Economia anual no ciclo de vida	R\$/ano	18.859.584	18.458.972	18.036.530
Razão custo benefício (C-B)	R\$/MWh	6,52	6,41	6,28

Fonte: Elaborado pelo Autor

A taxa básica de juros é o principal instrumento do Banco Central (BC) para tentar conter pressões inflacionárias. Na Figura 20 observa-se a evolução da taxa básica de juros – Selic (em % ano), a expectativa para 2015 é de 12,5% ao ano. Em relação à taxa básica de juros, aplicou-se na construção dos cenários: valor mais provável de 12,5% (cenário B), valor mínimo de 10% (cenário A2) e valor máximo de 15% (pessimista cenário C).

**Figura 20 – Evolução da taxa básica de juros – Selic (em % ao ano)**



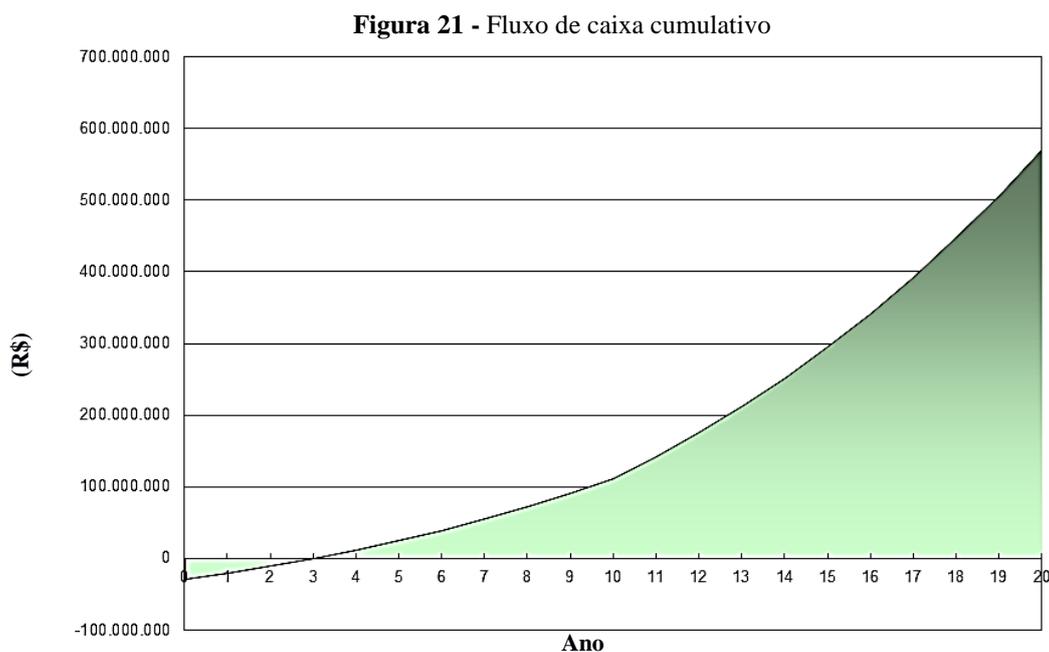
Fonte: Banco Central do Brasil (2014)

A construção dos cenários considerou o uso da linha de financiamento do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte do Banco da Amazônia (FNO/BASA) com

participação de 60% (razão da dívida) na aquisição de equipamentos, construção da parte agroindustrial e no investimento da usina termelétrica. Assim, assumiu-se um financiamento total de R\$ 43.597.365 milhões para um período de 10 anos.

Em análise da viabilidade econômica, observa-se que no cenário pessimista (Cenário C da Tabela 14) a Taxa interna de retorno (TIR) foi de 21,2% e no cenário otimista a TIR foi de 22,1% valores acima de aplicações financeiras como o Certificado de Depósito Interbancário (CDI) que apresentou nos últimos anos uma rentabilidade acumulada de 18,5%. O retorno do investimento nos três cenários ocorre em 3,2 anos, considerando que o projeto tem uma vida de 20 anos.

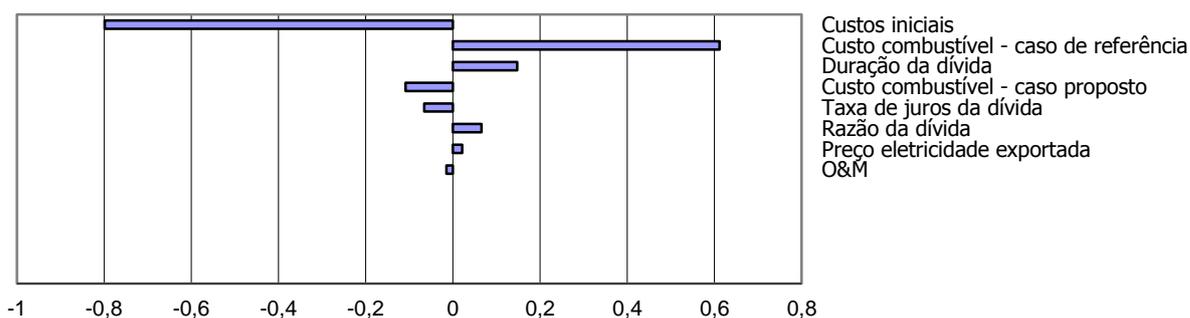
A razão custo benefício (C-B) é um índice que relaciona os benefícios de um projeto. Uma vez calculados os valores dos índices ICB para cada projeto, o critério de decisão consiste em se investir nos projetos por ordem de mérito crescente. Assim, o índice de Custo Benefício (R\$/MWh) de cada empreendimento de geração é definido como a razão entre o seu custo total e o seu benefício energético (EPE, 2011). A quantidade de energia elétrica que pode ser produzida nas usinas a biomassa depende da quantidade de biomassa disponível no período de safra, que no caso do dendê é durante todo ano observando as variações do Quadro 5, e do coeficiente de conversão de cada máquina. O fluxo de caixa apresentou resultados próximos nos três cenários avaliados, na Figura 21 observa-se o fluxo de caixa cumulativo para o projeto considerando o cenário B.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Analisando o cenário B (mais provável) apresenta-se na Figura 22 o impacto das variáveis de custo na Taxa Interna de Retorno (TIR), observa-se que os custos iniciais apresentam maior impacto negativo; enquanto os custos do combustível do caso de referência, ou seja, a biomassa residual do dendê apresenta o maior impacto positivo, logo o aproveitamento da biomassa do dendê pela usina de fabricação de óleo de palma para geração de combustível é uma estratégia econômica.

**Figura 22** – Impacto das variáveis de custo na Taxa Interna de retorno



Fonte: Elaborado pelo Autor

Resultados similares foram identificados nos cenários A2 e C, a próxima seção irá aplicar a etapa de análise dos riscos da metodologia no estudo de caso proposto.

## 5.2. ANÁLISE DE RISCO DE PROJETOS

Nesta etapa apresentam-se os riscos que afetam os indicadores de sustentabilidade do projeto. As incertezas foram identificadas, quantificadas e qualificadas de acordo com a metodologia proposta.

### 5.2.1. Identificação dos riscos

O risco do projeto é dado em função dos riscos individuais dos indicadores selecionados. A partir do levantamento de dados históricos e entrevistas a especialistas na área, identificaram-se os principais riscos associados aos indicadores apresentados no Capítulo 4. O Quadro 6 apresenta o resultado dessa atividade.

**Quadro 6 - Riscos identificados**

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Riscos identificados</b>
<b>Ambiental</b>	Áreas aptas para palma de óleo	Variação do preço do hectare,
	Gases do Efeito Estufa (GEE)	Variação das emissões de GEE
<b>Econômico</b>	Produtividade	Variação da quantidade de energia produzida
	Fluxo de Caixa (VPL, TIR, Payback)	Variação do preço da energia Variação dos custos operacionais Variação dos custos de investimento
	Doenças e Pragas	Variação das perdas da <i>commodity</i> por doenças e pragas
<b>Social</b>	Geração de renda	Variação da renda média do agricultor familiar
	Substituição de outras culturas	Variação dos tipos de cultivo na região
<b>Técnico</b>	Tecnologias	Variação dos custos das tecnologias utilizadas (inclui entre outros tributos de importação e treinamento) Qualidade – Eficiência do processo Recursos humanos – Experiência e capacitação dos gerentes, técnicos e operadores.
	Mapeamento tecnológico	Variação da expansão do mercado

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.2.2. Análise qualitativa dos riscos

Os riscos identificados foram avaliados de forma qualitativa pelos especialistas (*stakeholders*) consultados, nesta etapa ocorreu a classificação e priorização dos riscos associados às variáveis de sustentabilidade.

A avaliação quanto a probabilidade do risco, seguiu os parâmetros sugeridos pelo PMBOK (2013) em que o risco: muito baixo apresenta probabilidade inferior à 0,05; baixo inferior à 0,10; risco moderado ou médio apresenta probabilidade entre 0,10 e 0,40; risco alto apresenta probabilidade entre 0,40 e 0,80; e risco muito alto apresenta probabilidade de ocorrência maior que 0,80. Ressalta-se que esses parâmetros foram apresentados aos (*stakeholders*) consultados que definiram os níveis de forma subjetiva com base no seu conhecimento na área.

Os riscos foram classificados quanto ao impacto como: intolerável, substancial, moderado, tolerável e trivial. No Quadro 7 observam-se os riscos com seus respectivos impactos e probabilidades.

A partir da identificação das probabilidades e dos impactos de cada risco, elaborou-se a matriz probabilidade x impacto (Figura 23), ressalta-se que os riscos numerados e avaliados no

Quadro 7 estão indicados na Figura 23 através de seus números. Exemplo: os riscos 8 e 9 foram avaliados como **Muito Alto** quanto a probabilidade e **Moderado** quanto ao impacto.

**Quadro 7 - Avaliação qualitativa dos riscos**

Número	Risco	Impacto	Probabilidade
1	Variação do preço do hectare,	Substancial	Muito Alto (MA)
2	Variação das emissões de GEE	Substancial	Alto (A)
3	Variação da quantidade de energia produzida	Substancial	Alto (A)
4	Variação do preço da energia	Intolerável	Médio (M)
5	Variação dos custos operacionais	Intolerável	Médio (M)
6	Variação dos custos de investimento	Intolerável	Médio (M)
7	Variação das perdas da <i>commodity</i> por doenças e pragas	Moderado	Baixo (B)
8	Variação da renda média do agricultor familiar	Moderado	Muito Alto (MA)
9	Variação dos tipos de cultivo na região	Moderado	Muito Alto (MA)
10	Variação dos custos das tecnologias utilizadas (inclui entre outros tributos de importação e treinamento)	Tolerável	Médio (M)
11	Variação da expansão do mercado	Moderado	Médio (M)
12	Qualidade – Eficiência do processo	Moderado	Médio (M)
13	Recursos humanos – Experiência e capacitação dos gerentes, técnicos e operadores.	Moderado	Médio (M)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os riscos severos, que estão na faixa vermelha, foram priorizados visto que o impacto dos mesmos é intolerável. Os riscos severos serão analisados mais profundamente na análise quantitativa e considerados na construção da função multiobjetivo.

**Figura 23 - Matriz probabilidade x impacto**

<b>Muito Alto (MA)</b>			<b>8, 9</b>	<b>1</b>	
<b>Alto (A)</b>				<b>2,3</b>	
<b>Médio (M)</b>			<b>12,13,14</b>		<b>4,5,6</b>
<b>Baixo (B)</b>		<b>10</b>	<b>7</b>		
<b>Muito Baixo (MB)</b>					
	<b>Trivial</b>	<b>Tolerável</b>	<b>Moderado</b>	<b>Substancial</b>	<b>Intolerável</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.2.3. Análise quantitativa dos riscos

Os riscos identificados como severos foram avaliados como estocásticos, ou seja, seu valor não depende somente dos dados de entrada, mas também de outros fatores, normalmente aleatórios requerendo uma análise probabilística. Os riscos foram analisados e classificados como dinâmicos e com distribuição PERT.

Na modelagem considerou-se que a usina de cogeração será instalada em uma área em que há plantações de dendê que geram biomassa como resíduo, logo o risco “variação do preço do hectare” foi desconsiderado, visto que não serão adquiridos hectares para plantação de dendê.

O custo de investimento considerou um financiamento do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte do Banco da Amazônia (FNO/BASA) com participação de 60% (razão da dívida). O pagamento ocorrerá anualmente durante 10 anos (vide Tabela 13), sendo contabilizado no risco: “variação dos custos operacionais”. Logo o risco “variação dos custos de investimentos” considerará somente o capital próprio investido. Na Tabela 15 observam-se os parâmetros da distribuição de probabilidade dos riscos severos.

**Tabela 15 - Parâmetros da distribuição de probabilidade dos riscos severos**

<b>Riscos severos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Moda</b>	<b>Máximo</b>
Variação das emissões de GEE	tCO <sub>2</sub>	6.937,65	7.708,50	8.479,35
Variação da quantidade energia produzida	MWh	76.902,40	96.128	115.353,60
Variação do preço da energia	R\$/MWh	130	149	160
Variação dos custos operacionais	R\$	10.727.337	11.919.263	13.111.189
Variação dos custos de investimento	R\$	26.158.419,00	29.064.910	31.971.401,00
Variação da renda média do agricultor familiar	R\$	700	850	1.000,00
Variação dos tipos de cultivo na região	%	20	50	90

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 5.3. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS

O planejamento energético possibilita investimentos de médio e longo prazo considerando o retorno do capital investido, a metodologia proposta neste trabalho considera além dos critérios econômicos, os critérios ambientais e sociais modelando os riscos associados aos mesmos de forma probabilística. A análise dos resultados em diferentes cenários auxilia no processo de tomada de decisão acerca dos investimentos nos projetos considerando diferentes variáveis.

O objetivo da simulação realizada foi maximizar a sustentabilidade do projeto através da análise dos indicadores de sustentabilidade que apresentaram riscos severos. Na Tabela 16 observa-se a modelagem dos critérios e indicadores (C&I) que foram analisados: a primeira coluna apresenta os critérios (ambiental, econômico e social); a segunda coluna corresponde aos indicadores identificados e apresentados no Capítulo 4; na terceira coluna verifica-se os riscos classificados como severos a partir da análise qualitativa dos riscos com suas respectivas unidades na quarta coluna; por fim na quinta coluna apresenta-se as formulas que geraram as distribuições de probabilidade no Software @Risk.

Utilizando o *software @Risk* definiu-se uma distribuição de probabilidade para cada risco severo (terceira coluna da Tabela 16). As distribuições de probabilidade de todos os riscos podem ser visualizadas no Apêndice A.

**Tabela 16 - Modelagem dos C&I com riscos severos**

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Riscos severos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Distribuição de probabilidade</b>
Ambiental	Sequestro de carbono	Variação das emissões de GEE	tCO <sub>2</sub>	RiskPert(6937,65;7708,5;8479,35;RiskStatic(7708,5))
		Variação da quantidade de energia produzida	MWh	RiskPert(76902,4;96128;115353,6;RiskStatic(96128))
Econômico	Fluxo de caixa	Variação do preço da energia	R\$/MWh	RiskPert(130;149;160;RiskStatic(149))
		Variação dos custos operacionais	R\$	RiskPert(10727336,7;11919263;13111189,3;RiskStatic(11919263))
		Variação dos custos de investimento	R\$	RiskPert(26158419;29064910;31971401;RiskStatic(29064910))
Social	Geração de Renda	Variação da renda média do agricultor familiar	R\$	=RiskPert(700;850;1000;RiskStatic(850))
	Substituição de outras culturas	Variação dos tipos de cultivo na região	%	RiskPert(20;50;90;RiskStatic(50))

Fonte: Elaborado pelo Autor

A função objetivo a ser otimizada foi introduzida no Capítulo 3, Equação 2:

$$\text{Maximizar: } P(w) = \sum_{k=1}^p w_k f_k(x)$$

Sendo que:

O retorno ambiental está em função da variável “Sequestro de carbono” que apresenta função de distribuição de probabilidade, logo a função será:

$$f_1(x) = \text{Variação das emissões de GEE} \quad (11)$$

O retorno econômico está em função da variável fluxo de caixa, sendo  $FC_t(x)$  o fluxo de caixa de um período de tempo  $t$ .

$$FC_t(x) = (\text{Variação da energia fornecida} * \text{Variação do preço da energia}) - \sum \text{custos} \quad (12)$$

Utilizou-se o indicador Valor Presente Líquido (VPL) para a sistematização dos resultados, a análise foi feita para um período de 20 anos, expectativa de vida do projeto:

$$f_2(x) = VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t(x)}{(1+i)^t} \quad (13)$$

Onde  $t$  é a quantidade de tempo que o dinheiro foi investido no projeto,  $n$  a duração total do projeto e  $i$  o custo do capital.

Já o retorno social está em função das variáveis “geração de renda” e “substituição de outras culturas”, neste caso têm-se duas funções de probabilidade que descrevem comportamentos independentes, as duas distribuições devem ser consideradas no indicador social, logo:

$$f_{3-1}(x) = \text{Geração de Renda}$$

$$f_{3-2}(x) = \text{Substituição de outras culturas}$$

$$f_3(x) = k * f_{3-1}(x) + h * f_{3-2}(x) \quad (14)$$

Onde,  $k$  e  $h$  são pesos a serem atribuídos a cada variável e  $k \geq 0$ ,  $h \geq 0$ , com  $\|k+h\| = 1$

O método de otimização utilizado é um método a-priori ou tomada de decisão antes da busca. Neste caso, o decisor participa da busca de soluções antes da resolução do problema, informando os pesos para o vetor de pesos  $w$  sendo  $w \geq 0$  e  $\|w\| = 1$ , e os pesos para  $k$  e  $h$ .

Na Tabela 17 apresenta-se o fluxo de caixa, considerando os riscos associados cujos valores são distribuições de probabilidade. Comparando com o resultado da Tabela 14 observa-se que o VPL a 10% possui um retorno mais baixo, entretanto, mesmo considerando os riscos associados às variáveis, o investimento em projetos de aproveitamento da biomassa de dendê é lucrativo.

**Tabela 17** - Fluxo de caixa considerando as incertezas analisadas como distribuição de probabilidade

Indicadores	Ano				
	2015	2016	(...)	2034	2035
Quantidade de energia produzida (MWh)	96.128	96.128	(...)	96.128	96.128
Preço da energia (R\$/MWh)	149	149	(...)	149	149
Custos operacionais (R\$)	11.919.263	11.919.263	(...)	3.232.398	3.232.398
Custos de investimento (R\$)	29.064.910	0	(...)	0	0
<b>Lucro bruto</b>	-R\$ 26.661.101,00	R\$ 2.403.809,00	(...)	R\$ 11.090.674,00	R\$ 11.090.674,00
<b>Impostos</b>		R\$ 721.142,70	(...)	R\$ 3.327.202,20	R\$ 3.327.202,20
<b>Lucro líquido</b>	-R\$ 26.661.101,00	R\$ 1.682.666,30	(...)	R\$ 7.763.471,80	R\$ 7.763.471,80
<b>VPL a 10%</b>	R\$ 4.012.915,60				

Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 18 apresenta o retorno do projeto nos três cenários elaborados na seção 3.6.2 considerando os C&I ambientais, sociais e econômicos, bem como os riscos associados a esses C&I. Sendo o cenário A2 o otimista; cenário B moderado e o cenário C pessimista. Consideraram-se, para cada cenário, diferentes valores para o vetor de pesos  $w$  da Equação 2 e valores para os pesos  $k$  e  $h$  da Equação 14.

**Tabela 18** - Resultado da simulação multiobjetivo nos cenários propostos

Pesos	Cenário A2	Cenário B	Cenário C
Ambiental (W1)	0,2	0,2	0,3
Econômico (W2)	0,6	0,5	0,4
Social (W3)	0,2	0,3	0,3
Geração de renda (K)	0,7	0,6	0,5
Substituição de outras culturas (H)	0,3	0,4	0,5
<b>Resultado</b>	R\$ 2.409.413,06	R\$ 2.008.158,50	R\$ 1.607.613,79

Fonte: Elaborado pelo Autor

O cenário A2, por focar no aproveitamento de energias renováveis, apresenta baixa variação de emissão de CO<sub>2</sub>, maior peso no indicador econômico e na geração de renda. No cenário B os pesos foram distribuídos de forma mais uniforme, mas ainda com foco no indicador econômico. No cenário C os pesos foram distribuídos de forma uniforme com menor

retorno econômico devido ao baixo crescimento do País. Ressalta-se que a definição dos pesos depende do decisor que está avaliando os projetos, ou seja, quais os critérios que considera mais importante no contexto que está avaliando as propostas.

No estudo de caso apresentado, mesmo considerando os critérios ambientais e sociais além do econômico, o investimento em projetos de aproveitamento de resíduos do dendê para geração de energia apresenta retorno positivo nos três cenários analisados.

#### 5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado uma análise de risco em investimento em um estudo de caso de uma usina de cogeração que produz óleo de palma e aproveita a biomassa residual de dendê para produção de calor e eletricidade.

O estudo de caso seguiu a metodologia apresentada no Capítulo 3 que abrange: a análise da eficiência energética em que é definido o modelo de energia e realiza-se análise ambiental e econômica, para tanto utilizou-se como ferramenta o *Software Retcreen*. A análise de risco que abrange as atividades de identificação e análise qualitativa e quantitativa dos riscos, para a análise quantitativa utilizou-se como ferramenta o *Software @Risk*. Além da simulação e análise de cenários, os cenários propostos tiveram como base os cenários do Plano Nacional de Energia 2030, e a simulação buscou maximizar a sustentabilidade do projeto através da análise dos indicadores de sustentabilidade que apresentaram riscos severos. O Capítulo 6 apresentará as principais conclusões da Tese.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

As incertezas são inerentes a todo processo de tomada de decisão, um grande desafio é identificar e quantificar os riscos associados a esse processo. A análise de risco de investimento em projetos de eficiência energética é uma área estratégica para o planejamento energético, pois auxilia no processo de tomada de decisão em investimento em fontes alternativas de energia que diversifiquem a matriz elétrica nacional, mas observando a sustentabilidade e a viabilidade econômica. Este trabalho apresentou uma metodologia que permite a mensuração dos riscos considerando aspectos sociais e ambientais na análise de viabilidade de investimento em projetos de eficiência energética.

O resultado da simulação nos três cenários apresentados na Tabela 18 mostra a viabilidade econômica de investimento em projetos de usina de cogeração de biomassa de palma de óleo quando há produção de óleo de palma para outros fins (indústrias: químicas, cosmética, de alimentos e biocombustível etc.) e a existência da matéria-prima, no caso o bagaço da palma é abundante e concentrada.

A utilização do resíduo da biomassa para geração de energia e comercialização no mercado aumenta o valor econômico deste bem ambiental. Visto que, com o aproveitamento desse resíduo, mesmo considerando os critérios e indicadores ambientais e sociais, bem como os riscos associados ao investimento em diferentes cenários econômicos obtém-se lucratividade.

Como opção de mercado para o estudo de caso analisado, pode-se vender a energia as empresas distribuidoras através da Geração Distribuída (GD), observando a economia na transmissão e na redução de perdas por estarem localizadas em áreas próximas ao distribuidor.

Em relação à sustentabilidade ambiental e social, a partir dos C&I identificados, o dendê tem potencial para gerar renda com produção sustentada e ecologicamente limpa; proteger o solo contra o efeito da erosão, prevenir a degradação das terras; oferecer alta taxa de sequestro de Carbono e é uma opção de reflorestamento para as áreas desmatadas. Na Tabela 12 verifica-se um comparativo entre a biomassa; o SIN predominantemente composto por hidrelétrica; carvão e óleo diesel. Observou-se que entre as fontes de energia analisadas a biomassa é a que apresenta o menor Fator de Emissão de GEE ( $tCO_2/MWh$ ), entretanto isso só é verdade se for

considerado a utilização de áreas já desmatadas para a produção da palma de óleo, pois, se houver desmatamento de florestas nativas para a plantação de monocultura de palma de óleo esta deixa de ser uma opção sustentável de geração de energia.

Quanto aos impactos sociais, observaram-se novas alianças entre empresas, Estado e elites locais para a legitimação da exploração agroindustrial de áreas denominadas como “degradadas” em detrimento de comunidades tradicionais. Portanto, deve-se considerar nas análises socioeconômicas desta atividade, os seguintes aspectos: a nova ordenação das relações de propriedade da terra; incertezas na propriedade da terra; contratos de trabalho dos agricultores familiares.

Com a demonstração de viabilidade da utilização da cogeração de energia, permite-se ao poder público a criação de políticas públicas que incentivem a prática do desenvolvimento sustentável diversificando a matriz elétrica nacional. Sugere-se, entretanto maior proteção ao pequeno agricultor e as comunidades tradicionais por meio de incentivos financeiros e acompanhamento técnico.

A contribuição desta tese está explícita no desenvolvimento de uma metodologia para a análise de risco de investimentos em projetos de eficiência energética com aplicação em usinas movidas à biomassa residual de dendê e a venda da energia elétrica gerada em leilões da ANEEL.

Como trabalhos futuros a esta tese sugere-se:

- A aplicação de outros métodos de otimização;
- A implementação de Sistemas de Apoio a Decisão para operacionalizar a metodologia proposta;
- Estudos comparativos entre biomassas diferentes, considerando os mesmos C&I propostos neste trabalho;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.
- ABRANTES, L. A. **Tributos indiretos incidentes nos segmentos primários e de processamento na cadeia Agroindustrial do café em Minas Gerais**. 2006. 180 p. Tese (doutorado em administração) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- AB' SABER, A. **Um plano diferencial para o Brasil**. *Revista Estudos Avançados*, v. 4, p. 19-62, 1990.
- ALVES, S. A. O. **Sustentabilidade da agroindústria de palma no estado do Pará**. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa Recursos Florestais, Esalq/Usf, Piracicaba, 2011.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional – Métodos e Modelos para Análise de Decisão**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1998.
- ANEEL. **Banco de informações de geração – BIG**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=15>> Acesso em 7 de Agosto de 2014.
- ARISTÓTELES. **Metaphysica**. Oxford: Ed. W. Jaeger, 1960.
- ARROYO, J. E. C.. **Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- BACKHOUSE, M.; MELO, J. B.; COSTA, S. Between rights and power asymmetries: contemporary struggles for land in Brazil and Colombia. **Working paper**, n. 41, 2013. Disponível em: < [www.desigualdades.net](http://www.desigualdades.net) > acesso em 15 de janeiro de 2014.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/>> acesso em 05 de janeiro de 2015.
- BASTOS, T. X.; MULLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, S. M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista brasileira de agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 564-570, 2001.
- BAZMI, A. A.; ZAHEDI, G.; HASHIM, H. Progress and challenges in utilization of palm oil biomass as fuel for decentralized electricity generation. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.15, p. 574–583. 2011.
- BEN. **Balço energético nacional 2014: relatório síntese | ano base 2013**. Empresa de pesquisa energética – EPE. Rio de Janeiro, RJ. Maio de 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em 19 de novembro de 2014.

- BRICEÑO, C.O; COCK, J.H; TORRES, J. S. Electric power from green harvesting residues of sugar cane in Columbia. **Int. Sugar J.** v. 103, p.107-111, 2001.
- BUYTAERTA, V.; MUYSB, B.; DEVRIENDTA, N.; PELKMANS, L.; KRETZSCHMARC, J.G.; SAMSONC. R. Towards integrated sustainability assessment for energetic use of biomass: a state of the art evaluation of assessment tools. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, p. 3918–3933. 2011.
- CAMPOS, A. A.; CARMÉLIA, E. C. **Viabilidade de extração de óleo de dendê no estado do Pará**. Viçosa: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2007.
- CARVALHO, W. R. **Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob cultivo de palma de óleo (*elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestre em agronomia) - Programa de pós-graduação em agronomia: área de concentração agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.
- CGEE. **Prospecção em CT&I**. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/prospeccao/>> Acesso em 27 de Maio, 2014.
- CENBIO. **Centro nacional de referência em biomassa**. Disponível em: <<http://www.cenbio.gov.br>> Acesso em 15 junho de 2014.
- CNI. **Eficiência energética na indústria**. Edição: agosto / 2009. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/publicacoes-e-estatisticas/publicacoes/2012/09/1,8297/eficiencia-energetica-na-industria.html>> Acessado em 15 de junho de 2014.
- COATES, J.F. Scenario planning. **Technological forecasting and social change**, v.5, p.115-123, 2000.
- COELHO, S. T., PALETTA, C.E.M. E FREITAS, M. A. **Medidas mitigadoras para a redução de emissão de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: Dupligráfica, 2000.
- COELLO, C. A. C.; VELDHUIZEN, D. A. V.; LAMONT, G. B. **Evolutionary algorithms for solving multiobjective problems**. New York: Kluwer Academic, 2002.
- DORNBURG, V; VAN DAM, J; FAALJ, A. Estimating GHG emission mitigation supply curves of large-scale biomass use on a country level. **Biomass bioenergy**, 2007.
- DUARTE, A.R.C. L. M.; BEZERRA, U.H.; TOSTES, M.E.L.; ROCHA FILHO, G.N. Alternative energy sources in the amazon. **Power and Energy Magazine, IEEE Journals & Magazines**. Volume: 5, issue: 1. 2007, page(s): 51 – 57.
- DUARTE, A. R. C. L. M. **Análise de parâmetros de sustentabilidade para geração de energia elétrica com óleo vegetal em comunidades isoladas na Amazônia**. Tese

(Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

DUARTE, A.R.; BEZERRA, U.H.; TOSTES, M.E.L.; DUARTE, A.M.; ROCHA FILHO, G.N. A proposal of electrical power supply to Brazilian Amazon remote communities. **Biomass and bioenergy**, vol. 34, p. 1314 – 1320, 2010.

DUARTE, M. D. O. **Modelos de decisão multicritério e de portfólio com aplicação na construção de políticas energéticas sustentáveis**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

EMBRAPA Amazônia ocidental. **Projeto de dendê/ óleo de palma**. Programa de apoio ao desenvolvimento da agroindústria do dendê no amazonas, 2002. Disponível em: <<http://www.cpa.embrapa.br/portfolio/sistemadeproducao/dende/projetodendepalmaamazonas.pdf>> Acesso em 20 de Fevereiro de 2014.

EMBRAPA. Palmas para o dendê. **Agroenergia em revista**. Brasília, ano 2, n. 2, maio de 2011.

EMBRAPA; MAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia legal**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento\\_dende/zondende.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_dende/zondende.pdf)>. Acessado em 20 de outubro de 2013.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030 - Projeções**. Empresa de pesquisa energética: Cadernos Temáticos 2008. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx>> Acessado em 5 de julho de 2014.

EPE. **Índice de custo benefício (ICB) de empreendimentos de geração termelétrica: metodologia de cálculo - leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração**. Nº EPE-DEE-RE-102/2008-R3, 2011. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/editais\\_geracao/documentos/anexo%20xiv%20-%20metodologia%20do%20c%3%a1lculo%20do%20%20c%3%8ndice%20de%20custo%20benef%3%adcio%20-%20icb.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/anexo%20xiv%20-%20metodologia%20do%20c%3%a1lculo%20do%20%20c%3%8ndice%20de%20custo%20benef%3%adcio%20-%20icb.pdf)> Acesso em 08 de agosto de 2014.

EPO. **European Patent Office**. Disponível em: <[www.epo.org/](http://www.epo.org/)> Acesso em 20 de Setembro de 2014

EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. **Renewable and sustainable energy reviews**, vol. 14, p. 1419–1427, 2010.

EWALD, N. **Two infinites of risk**. In MASSUMI, B., ed. Lit. The politics of everyday fear. Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota Press, 1993.

- FAVARO, F. T. **Desenvolvimento sustentável na Amazônia: uma nova abordagem do dendê com o aproveitamento da biomassa residual para a geração de energia.** Dissertação (mestrado em energia) – programa de pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- FONSECA, C. M.; FLEMING, P. J. **Genetic algorithms for multi-objective optimization: formulation, discussion and generalization.** In: Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, 1993.
- FRAGA, T. **2º Anuário Brasileiro das indústrias de Biomassa e Energias Renováveis. 2013/2014.** Disponível em < <http://www.anuariobiomassa.com.br/>> Acessado em 3 de outubro de 2014.
- FURLAN, J. **Biodiesel: porque tem que ser dendê.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental; palmasa, 2006.
- GAN J. B, SMITH C. T. A comparative analysis of woody biomass and coal for electricity generation under various CO<sub>2</sub> emission reductions and taxes. **Biomass bioenergy**, 2006.
- GLASS, VERENA. Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará. **Repórter Brasil - organização de comunicação e projetos sociais.** Disponível em: < [reporterbrasil.org.br/documentos/Dende2013.pdf](http://reporterbrasil.org.br/documentos/Dende2013.pdf)> Acesso em 20 de janeiro de 2014.
- GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento.** Estudos Avançados São Paulo, vol.12, nº33. 1998.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 3ª ed., 2008.
- HOMMA, A.K.O; FURLAN JÚNIOR, J.; CARVALHO, R. A.; FERREIRA, C. A. P. Bases para uma política de desenvolvimento da cultura do dendezeiro na Amazônia. Em: VIEGAS, I. DE J.M., MÜLLER, A. A. (ED.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. P.11-30.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>> Acesso em 10 outubro de 2014.
- INPI. **Instituto nacional da propriedade industrial.** Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/portal/>> Acesso em 15 de Setembro de 2014.
- IPCA. **Índice de preços ao consumidor amplo.** Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/ipca.htm>> Acesso em dezembro de 2014.
- ISAIAS C. M. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento.** Centro de gestão e estudos estratégicos ciência,

tecnologia e inovação, 2001. Disponível em <  
[http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003\\_02.pdf](http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf)> Acessado em: outubro, 2013.

- JORION, P. **Value at Risk: A Nova Fonte de Referência para o Controle do Risco de Mercado**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1998.
- JINGJING L. Biomass Energy in China and its Potential, **Energy for Sustainable Development**, Bangalore, vol. 5 n. 4, 2001.
- KALTNER, F. J.; FURLAN JÚNIOR, J.; SILVA, E. B. da; VEIGA, A. S.; VAZ, J. B. da C. **Viabilidade técnica e econômica de produção de ésteres de óleo de palma, para utilização como substituto de óleo diesel, na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.
- KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S.; CAPELA, C. J.; MIRANDA, I. DE S.; LEMOS, W. DE P.; MAUES, M. M.; AZEVEDO, R. DE; CASTELLANI, D. C.; THOM, G. **Projeto dendê em sistemas agroflorestais na agricultura familiar**. Em: congresso brasileiro de sistemas agroflorestais. Anais. SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, Belém - PA, 2011.
- KURKA, T.; BLACKWOOD, D. Participatory selection of sustainability criteria and indicators for bioenergy developments. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 24, p. 92 – 102, 2013.
- LAPPONI, J. C. **Projetos de Investimento na Empresa**. São Paulo: Campus, 2000.
- LIMA, S. M. V. ; FREITAS FILHO, A. ; CASTRO, A. M. G. ; SOUZA, H. R. **Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal**. Programa de ações estratégicas para a Amazônia Brasileira PRODEAM. SUDAM/OEA, Belém - PA, 2002.
- LORA, E.S.; ANDRADE, R.V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and sustainable energy reviews**. v.13, pag. 777–788, 2009.
- LUDWIG, J. B.; CARDOSO, L. **Planejamento com Incertezas – o Desafio do Planejamento da Transmissão**. In: XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia, 2003.
- MAGALHÃES, S.B. BRITTO, R.C. CASTRO, E.R. **Energia na Amazônia**. Belém: Museu paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, vol. 1, 1996.
- MARIANO, J. B. **Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas OFFSHORE**. Tese (Doutorado em ciências em planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MARQUES, M.; HADDAD, J E MARTINS, A. R. S. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá, MG: FUPAI, 2006.

- MARRECO, J. M. **Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais**. Tese (Doutorado em ciências em planejamento energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MARTINS, D. M. R. **Setor Elétrico Brasileiro: Análise do Investimento de Capital em Usinas Termelétricas**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2008.
- MME. Ministério de minas e energia. **Gestão da comercialização de energia – leilões de energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/>>. Acessado em 20 de abril de 2014.
- MONTEIRO, K. G. **Análise de indicadores de sustentabilidade socioambiental em diferentes sistemas produtivos com palma de óleo no estado do Pará**. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural da Amazônia/ Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2013.
- MOREIRA, A. R. B.; DAVID, P; ROCHA, K. **Regulação do preço da energia elétrica e viabilidade do investimento em geração no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Disponível em: <[repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2930/1/TD\\_978.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2930/1/TD_978.pdf)> Acesso em 12 de julho de 2014.
- MULLER, A.A.; ALVES, R.M.; FURLAN JUNIOR, J. **Potencialidades agrícolas, econômicas e social da dendroicultura do Estado do Pará**. In: PARA. Governo do Estado. Projeto integrado agricultura & energia. São Paulo, 1994. p.1-16.
- NAGAOKA, M. P. T. **Aplicação de redes neurais em análise de viabilidade econômica de co-geração de energia elétrica**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E.S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- ODDONE, D.C. **Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- OLIVEIRA, R. C. ; Droguett, E. **Otimização Multiobjetivo da Confiabilidade Via Sistemas Multiagentes Baseado em Colônia de Formigas**. In: CLAIO, 2008, Cartagena de Índias, Colombia. XIV Latin Ibero-American Congress on Operations Research, 2008.
- OLIVEIRA, A; SILVEIRA, G. B.; BRAGA, J. M. **Diversidade sazonal do consumo de energia elétrica no brasil**. Pesquisa e planejamento econômico (PPE), v. 30, n. 2, 2000. Disponível em: <[ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewfile/171/106](http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewfile/171/106)> Acesso em 15 de fevereiro de 2014.

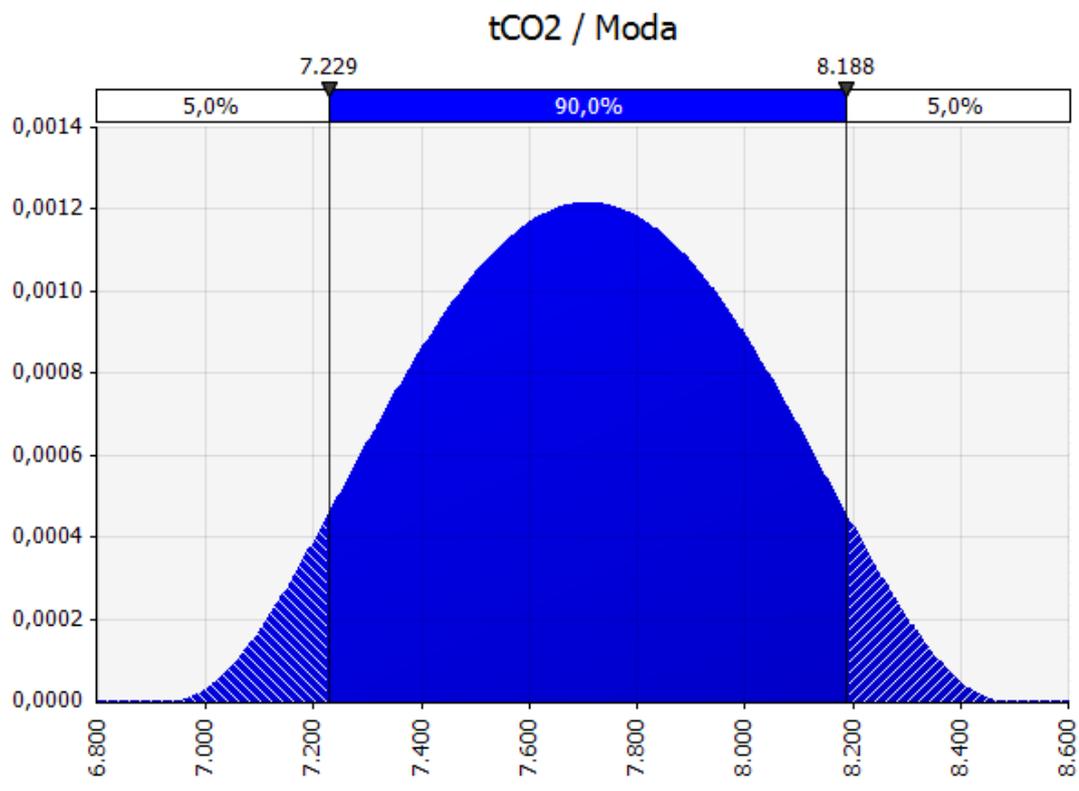
- PANDOLFO, C. **A cultura do dendê na Amazônia**. Belém: Sudam, 1981.
- PEREIRA, E. J. S.; PINHO, J. T., GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy. **Renewable Energy**, n. 69, p. 347-355, 2014.
- PINHEIRO, G. F.; SANTOS, R.; E RENDEIRO, G. Análise da eficiência de uma planta piloto de geração de energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 187-193, 2005.
- PMBOK**. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (*Guia PMBOK®*). Pennsylvania: Project Management Institute, 5ª edição, 2013.
- PNA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Disponível em <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/P\\_LANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/P_LANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA.pdf)> Acessado em 09 de maio de 2014.
- PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>> Acesso em 20 de outubro de 2014.
- QUEIROZ, A. G.; FRANÇA, L; PONTE, M. X. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil ("dendê") in the Amazon. **Biomass & Bioenergy**, v. 36, p. 50-59, 2012.
- QUINTELA, P. D. A.; SILVA, M. B. DA; FERREIRA, E. C.; CRAVO, R. M. DA S. **Avaliação da produtividade das cultivares de oryza sativa nas entrelinhas da palma de óleo (*elaeis guineenses*) – Tailândia-PA**. In: 17º Seminário de iniciação científica e 1º seminário de pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental. Belém: 21 a 23 de agosto de 2013.
- RAIFFA, H; SCHLAIFER, R. **Applied statistical decision theory**. Boston: Clinton Press, Inc., 1961.
- REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.
- REIS, L. B.; FADIGAS, E. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e Prática do Desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2ª ed., 2012.
- RETSCREEN. **Clean Energy Project Analysis Software**. Disponível em: <<http://www.retscreen.net>> Acesso em 15 de outubro, 2014.
- ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sergio V.; ROTHMAN, Harry. **Uso da biomassa para a produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.
- RSPO. **Roundtable sustainable palm oil**. Disponível em: <<http://www.rspo.org/>> Acesso 19 de março de 2014.

- SANTOS, M. A. S.; D'ÁVILA, J. L.; COSTA, R. M. Q.; COSTA, D. L. M.; REBELLO, F. K.; LOPES, M. L. **O comportamento do mercado do óleo de palma no Brasil e na Amazônia estudos setoriais**, 11. BASA, Belém – Pará, 1998.
- SANTOS, M. M.; JANNUZZI, G. M.; MACEDO, I. C. **Prospecção Tecnológica em Energia. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Brasília: CGEE, 2005.
- SANTOS, A.; M. **Análise do potencial do biodiesel de dendê para geração de energia elétrica em sistemas isolados da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em planejamento estratégico) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- SCHUBERT, P. **Análise de investimentos e taxa de retorno**. São Paulo: Ática, 1989.
- SECURATO, J. R. **Decisões financeiras em condições de risco**. São Paulo: Atlas. 1996.
- SILVA, F. L. DA; HOMMA, A. K. O.; PENA, H. W. A. **O cultivo do dendezeiro na Amazônia: promessa de um novo ciclo econômico na região**. Observatório de economia latino-americana, n. 158, 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/950874>> Acesso 25 janeiro de 2014.
- SILVA NETO, L. A. **Derivativos: Definições, Emprego e Risco**. São Paulo: Atlas, 1998.
- SOUZA, F. M. N.; SILVA, C. E.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.. Proposta para utilização da simulação computacional em análise de risco, avaliação de desempenho e sistemas de gestão ambiental. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.2, n.2, p.39-63, 2011.
- USDA. **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdquery.aspx/>> acesso em 10 novembro de 2014.
- USPTO. **United States Patent and Trademark Office**. Disponível em: < [www.uspto.gov/](http://www.uspto.gov/)> Acesso em 09 de setembro de 2014.
- YUI, S.; YEH, S. Land use change emissions from oil palm expansion in Pará, Brazil depend on proper policy enforcement on deforested lands. **IOP publishing environmental research letters**, v. 8, 2013. Doi:10.1088/1748-9326/8/4/044031.
- VIANNA, F.C. **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e PetroDiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- WRIGHT, J. T.; SPERS, R. G. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 20, n. 56. Versão impressa ISSN 0103-4014. Jan./Apr. 2006.
- ZADEH, L. A. Optimality and non-scalar-valued performance criteria. **IEEE Transactions On Automatic Control**, v.8, p.57–60, 1963.

## APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS RISCOS SEVEROS

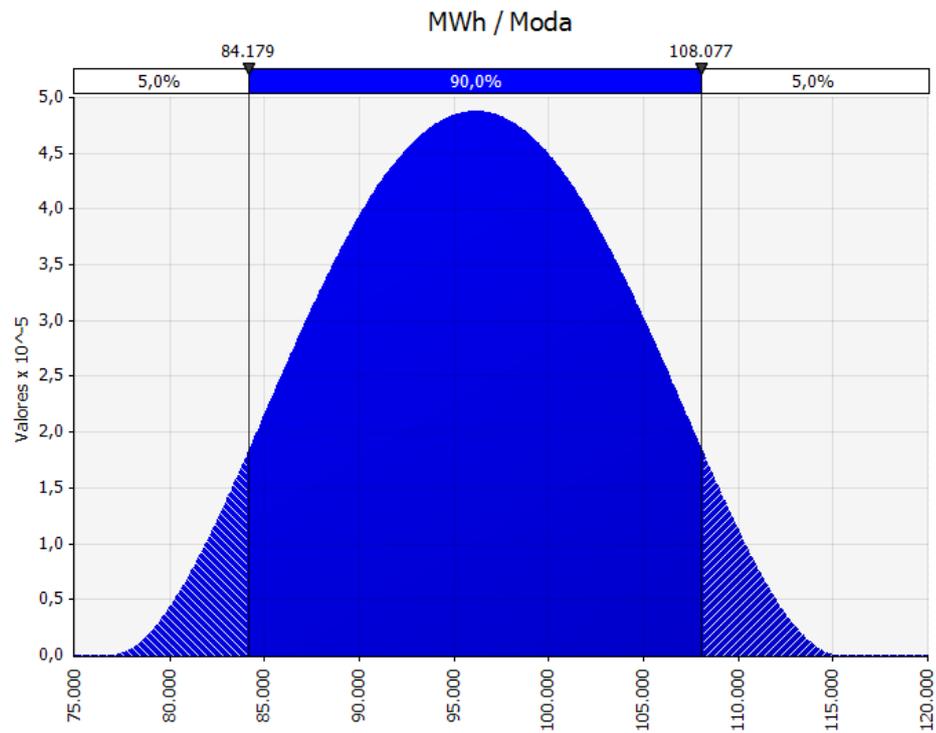
Nesta seção, serão visualiza-se as funções de distribuição de probabilidade dos riscos identificados como severos na atividade de análise quantitativa dos riscos (Tabela 15).

**Figura 24** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação das emissões de GEE”



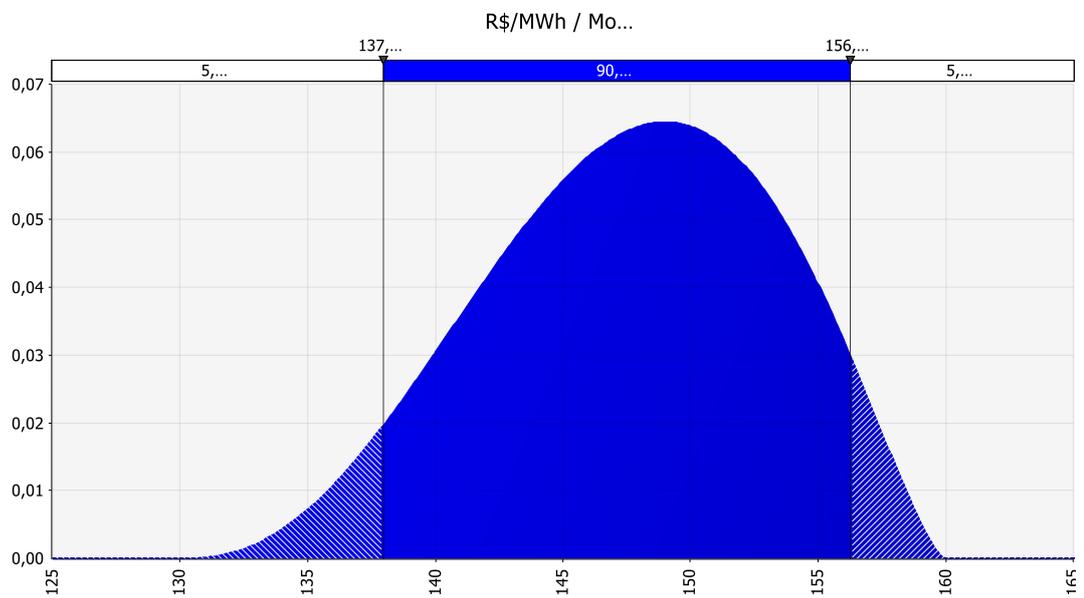
Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 25** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação da quantidade de energia produzida”



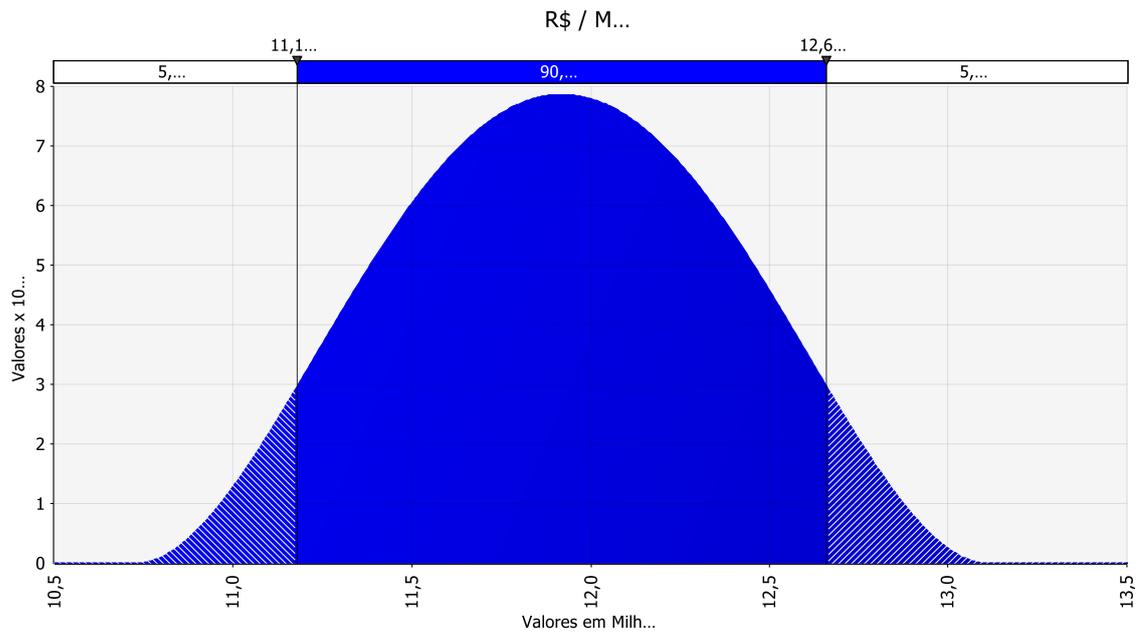
Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 26** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação do Preço da energia”



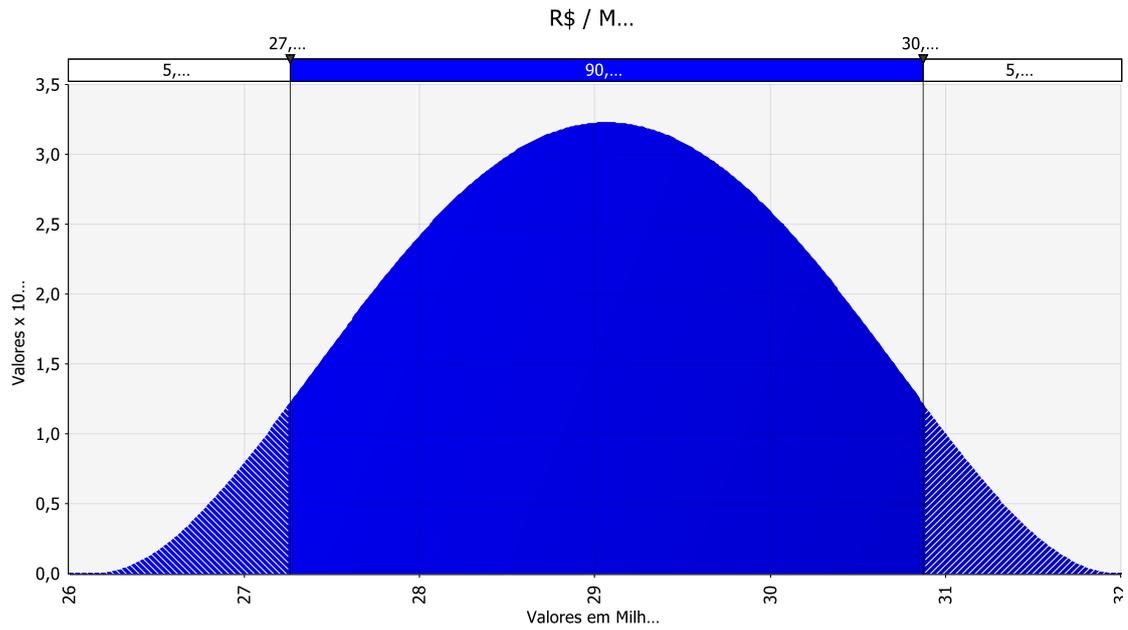
Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 27** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos custos operacionais”



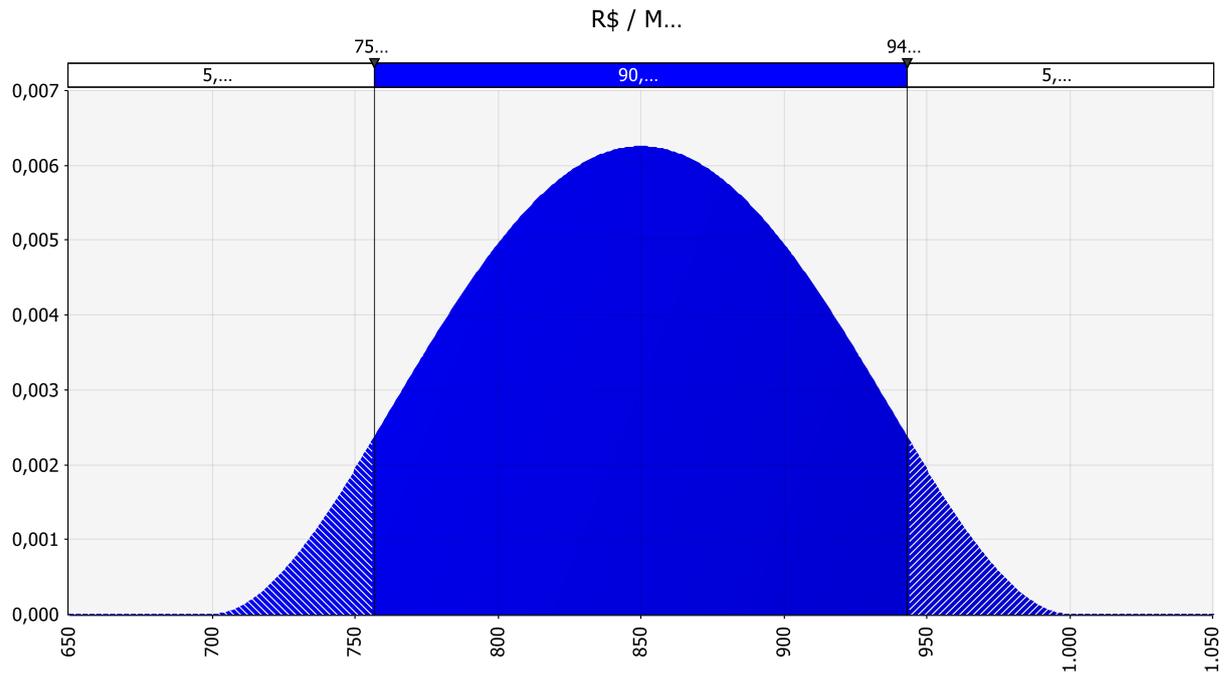
Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 28** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos custos de investimento”



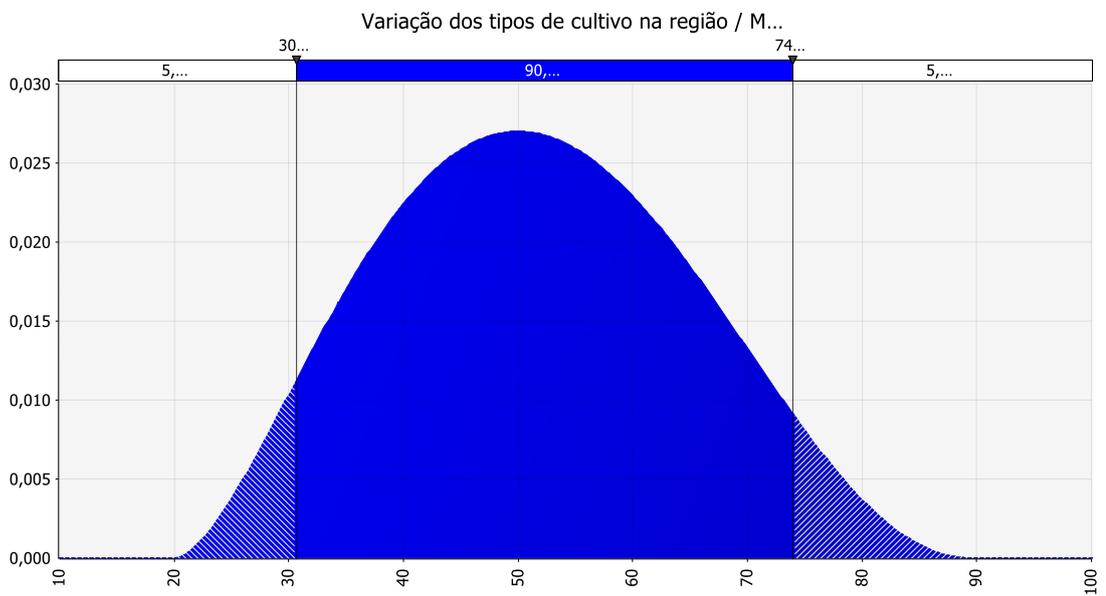
Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 29** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação da renda média do agricultor familiar”



Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 30** - Distribuição de probabilidade do risco “Variação dos tipos de cultivo na região”



Fonte: Elaborado pelo Autor