

PLANTIO DE OLEAGINOSAS POR AGRICULTORES FAMILIARES DO SEMI-  
ÁRIDO NORDESTINO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL COMO UMA  
ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Joyce Maria Guimarães Monteiro

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS  
EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

---

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

---

Prof. Roberto Schaeffer, D.Sc.

---

Prof. Carlos Afonso Nobre, D.Sc.

---

Prof. Ademar Ribeiro Romeiro, D.Sc.

---

Prof. René Louis de Carvalho, D.Sc.

---

Dr. Luciano Basto Oliveira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2007

MONTEIRO, JOYCE MARIA GUIMARÃES

Plantio de Oleaginosas por Agricultores Familiares do Semi-Árido Nordeste para Produção de Biodiesel como uma Estratégia de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas [Rio de Janeiro] 2007

XIII, 302 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc, Planejamento Energético, 2007)

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Mudanças Climáticas
2. Agricultura familiar
3. Produção biodiesel

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedico:  
Ao meu filho, Antonio, com amor.

## Agradecimentos

Meu agradecimento especial, ao Prof. Emilio Lèbre La Rovere, pela confiança, apoio amigo e orientação, que foram decisivos para a realização desta tese.

Agradeço a todos os demais professores do Programa de Planejamento Energético com os quais pude obter valiosos conhecimentos, em particular, ao Professor Roberto Schaeffer, pela atenção e acompanhamento.

Agradeço aos ilustres membros da Banca de Avaliação por aceitar integrá-la.

Agradeço aos Professores Renata La Rovere e René de Carvalho do Instituto de Economia da UFRJ, pelo apoio amigo.

Agradeço aos colegas do Programa de Planejamento Energético (PPE), do Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima), do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA) e do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) pelas discussões elucidativas e, também, pelas horas agradáveis que passamos juntos. Agradeço a valiosa amizade da Kátia, Lilian, Ana Carolina, Carolina, Flavia, Denise, Claudia e a querida amiga Marília.

Agradeço as secretárias e demais funcionários do PPE e do LIMA pela qualidade dos serviços prestados. Particularmente, agradeço a secretária acadêmica do PPE, Sandra Bernardo dos Reis, pelo apoio irrestrito durante minha jornada acadêmica e a Carmen Brandão, secretária executiva do LIMA, pela ajuda amiga.

Agradeço a minha família, particularmente ao meu pai, Ezequiel e a minha mãe, Euny, pela força e incentivo incansáveis.

Agradeço ao Prof. Campos, amigo zeloso, que acompanhou a realização deste trabalho, fornecendo ótimas sugestões e dicas.

Agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro que viabilizou deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

PLANTIO DE OLEAGINOSAS POR AGRICULTORES FAMILIARES DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL COMO UMA ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Joyce Maria Guimarães Monteiro

Agosto/2007

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Programa: Planejamento Energético

O aumento das concentrações de Gases de Efeito Estufa tem sido apontado como o principal agente de mudança nos processos dinâmicos da atmosfera, promovendo mudanças climáticas com ameaças à humanidade. A redução das emissões de GEE para a atmosfera pode ser alcançada pela adoção de medidas mitigadoras, tais como o uso de energia renovável, como o biodiesel, em substituição aos combustíveis fósseis. Os estudos sobre os impactos das alterações climáticas trouxeram preocupações a respeito das condições de pobreza e da capacidade de adaptação de países/regiões/setores/comunidades especialmente vulneráveis. O semi-árido nordestino conjuga aspectos de fragilidade socioeconômica, aos impactos futuros decorrentes das mudanças climáticas, sobre a atividade agrícola local. Foram analisados alguns aspectos técnicos e econômicos do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido e inserção desses agricultores na cadeia produtiva do biodiesel, como estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Os cenários elaborados apontam que a redução de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de biodiesel produzido a partir da agricultura familiar pode atingir a faixa de 10% a 29% das emissões associadas a uso de óleo diesel demandado no Nordeste em 2015. Os benefícios decorrentes da inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel refletem-se na oportunidade de diversificar e organizar o processo produtivo gerar renda e emprego, sendo uma alternativa para a melhoria da capacidade de adaptação dessa população.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.)

PLANTING OF VEGETABLE OIL CROPS BY FAMILY FARMERS IN THE SEMI-ARID NORTHEAST FOR THE PRODUCTION OF BIO-DIESEL AS A STRATEGY FOR ADAPTATION AND MITIGATION ON CLIMATIC CHANGES

Joyce Maria Guimarães Monteiro

August/2007

Advisor: Emilio Lèbre La Rovere

Department: Energy Planning

The increased concentration of GHG (especially Carbon Dioxide -CO<sub>2</sub>) has been identified as the main cause of change in the dynamic atmospheric process, causing climate change that threatens humanity. The reduction of atmospheric carbon emissions can be achieved through the adoption of mitigation measures, such as the use of renewable energy, bio-diesel for example, as a replacement for fossil fuels. The studies of the impacts on climate change have resulted in an increased concern with poverty and adaptation capacity in countries /regions /sectors /communities that are especially vulnerable. The semi-arid northeast joins aspects of socio-economic fragility to the future impacts on climate change on local agricultural activities. Some technical and economic aspects related to the planting of vegetable oil crops by semi-arid farming families and the insertion of these farmers in the bio-diesel productive chain as a mitigation and adaptation strategies on climate change. The different scenarios prepared showed that the reduction of CO<sub>2</sub> emissions through the use of bio-diesel produced by farmers could reach 10% - 29% of emissions associated with the use of diesel in the Northeast in 2015. In addition, the benefits resulting from the insertion of family farmers in the bio-diesel chain will be reflected not just in the generation of income and employment, but most especially in the opportunity to diversify and organize the productive process. Furthermore, it is also an alternative that can improve the adaptation capacity of this group in relation to climate change adversity.

## Índice

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação do Tema .....	1
1.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Abordagem Metodológica .....	6
1.4. Estruturação da Tese.....	7
 CAPÍTULO 2 – MUDANÇA CLIMÁTICA .....	10
2.1 As Mudanças Climáticas e o Conhecimento Científico .....	10
2.2 As negociações internacionais.....	19
2.2.1 A Convenção do Clima .....	19
2.2.2 Protocolo de Quioto.....	22
2.2.3. A Evolução das Negociações .....	25
2.3 Impactos, Vulnerabilidade, Adaptação e Mitigação.....	28
2.3.1. Modelos Climáticos.....	28
2.3.2. Os Cenários de Emissão do IPCC e os Impactos das Mudanças Climáticas	30
2.3.2. Vulnerabilidade .....	37
2.3.3. Adaptação .....	39
2.3.4. Mitigação.....	42
2.3.5 Sinergia de Estratégias de Mitigação e Adaptação.....	45
 CAPÍTULO 3 - MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E PERSPECTIVA DE INTEGRAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO E DE MITIGAÇÃO À POLÍTICA DE PROMOÇÃO DO USO DE BIODIESEL .....	49
3.1. As Mudanças Climáticas no Brasil, com Ênfase no Nordeste .....	49
3.1.1 Aspectos Gerais do Clima Presente.....	49
3.1.2. Aspectos Gerais das Projeções Climáticas Futuras .....	55
3.1.3. Projeções dos Impactos e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Semi- Árido.....	60
3.2. Políticas Nacionais de Desenvolvimento e Perspectivas de Adaptação e Mitigação à Mudança Climática.....	69
3.2.1. O Biodiesel .....	72
3.2.2. Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel .....	79
3.2.3. Leilões de Biodiesel .....	85
3.2.4. Cadeia de Produção de Biodiesel .....	91
3.2.5. Panorama da Produção Mundial de Biodiesel e das Oleaginosas Utilizadas para Produção de Biodiesel .....	98
 CAPÍTULO 4- CARACTERIZAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO, A DINÂMICA DA AGRICULTURA FAMILIAR E A DIVERIFICAÇÃO DO CULTIVO DE OLEAGINOSAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL .....	102

4.1. Caracterização da Região Nordeste.....	102
4.2. Caracterização da Vulnerabilidade Climática e Ambiental Atual do Semi-Árido .....	105
4.3. Caracterização da Vulnerabilidade Socioeconômica do Semi-Árido.....	110
4.4. Agricultura Familiar .....	120
4.4.1. Aspectos Gerais da Agricultura Familiar no Semi-Árido .....	120
4.4.2. Estrutura Fundiária, Acesso aos Recursos Produtivos e Renda .....	122
4.4.3. Reforma Agrária.....	128
4.5. A Inserção dos Agricultores Familiares do Semi-Árido na Cadeia Produtiva do Biodiesel .....	129
4.5.1. Programa Nacional de Apoio a Agricultura Familiar – PRONAF .....	130
4.5.2. Diferenciação entre os Agricultores Familiares do Semi-Árido e Perspectiva de Inserção na Cadeia produtiva de Biodiesel.....	136
4.5.3. Alternativas para a Convivência com o Semi-Árido .....	141
4.5.4. Solos e Disponibilidade de Área para o Plantio de Oleaginosas.....	149
4.6. Características das Diferentes Oleaginosas para Fornecimento de Matéria-prima pela Agricultura Familiar do Semi-Árido para a Produção de Biodiesel.....	158
4.6.1. Algodão .....	158
4.6.2. Amendoim .....	159
4.6.3. Gergelim .....	160
4.6.4. Girassol.....	160
4.6.5. Mamona.....	161
4.6.6. Pinhão Manso .....	161
4.6.7. Outras oleaginosas.....	163
4.7. O cultivo de Oleaginosas por Agricultores Familiares como Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas .....	165
4.7.1. Tradição Local de Plantio das Oleaginosas, Variedades Adaptadas ao Semi-Árido e Zoneamento Agroclimático.....	165
4.7.2. Perspectivas de cultivo das Oleaginosas frente à Vulnerabilidade Climática .....	176
4.7.3. Possibilidade de Práticas Agrícolas Manuais .....	180
4.7.4. Possibilidade de Consórcio, Diversificação e Utilização dos Restos Culturais .....	181
4.7.5. Características de Solos e Benefícios da Rotação de Cultura .....	183
4.7.6. Geração de Renda.....	185
4.8. Esmagamento e Rendimento em Óleo .....	192
4.9. Características Físico-Químicas do Biodiesel oriundo das oleaginosas selecionadas.....	195
4.10. Custo do Biodiesel Oriundo das Diferentes Oleaginosas.....	202
4.11. Área Necessária para Atender à Demanda de Biodiesel .....	207
4.12. Mitigação às Mudanças Climáticas e Aspectos Ambientais do Uso de Biodiesel .....	212

## CAPÍTULO 5 – ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS DE OFERTA DE MATÉRIA-PRIMA NO SEMI-ÁRIDO, DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL E DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....219

5.1. Análise comparativa das oleaginosas para produção de biodiesel .....	219
---	-----



5.2. Elaboração de cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel pelo cultivo de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido .....	224
5.3. Cenários de mitigação das mudanças climáticas pelo plantio de oleaginosas por agricultores familiares no semi-árido para produção de biodiesel .....	237
5.3.1. Cenários de mitigação pelo lado da oferta de biodiesel a partir da matéria-prima dos agricultores familiares .....	240
5.4. Mercado de Carbono .....	244
5.5. Análise do potencial de contribuição para a adaptação às Mudanças Climáticas .....	253
5.6. Análise da Viabilidade dos cenários de oferta de matéria-prima, de produção de biodiesel pelos agricultores familiares do semi-árido .....	260
 CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	265
6.1. Conclusões.....	265
6.1. Recomendações .....	269
 BIBLIOGRAFIA.....	274

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b>	-Valores obtidos entre as diferenças das médias de temperatura (média, máxima e mínima) (°C) e da precipitação (mm) entre os períodos de 1991 a 2004 e 1961 a 1990, para as Regiões brasileiras.....	49
<b>Tabela 2</b>	- Anos de seca no Nordeste Brasileiro, coincidentes com anos de El Niño, durante os últimos 4 Séculos .....	53
<b>Tabela 3</b>	- Aumento de temperatura do ar (°C) representado pela média dos modelos climáticos globais do IPCC TAR, para dois cenários de emissões A2- pessimista e B2-otimista, nas diversas regiões do Brasil, em 2100 .....	57
<b>Tabela 4</b>	- Coeficientes Técnicos do Processo de Produção de Biodiesel .....	78
<b>Tabela 5</b>	- Impostos Federais para produtores de Biodiesel com e sem o Selo Combustível Social (SCS).....	84
<b>Tabela 6</b>	- Total de Biodiesel arrematado no Nordeste e no Brasil em cada leilão da ANP, em milhões de litros.....	88
<b>Tabela 7</b>	- Preço médio de biodiesel arrematado nos leilões da ANP, em R\$ por litros .....	89
<b>Tabela 8</b>	- Capacidade de extração de óleo das indústrias associadas à ABIOVE nos Estados do Brasil, em 2006 .....	92
<b>Tabela 9</b>	- Situação das Usinas de Biodiesel no Brasil em 2007.....	95
<b>Tabela 10</b>	- Situação das Usinas de Biodiesel no Nordeste em 2007.....	96
<b>Tabela 11</b>	- Produção das Refinarias de Petróleo no Brasil em 2002 .....	97
<b>Tabela 12</b>	- Área Territorial Oficial dos Estados da Região Nordeste e Semi-Árido (km <sup>2</sup> ), Número de Municípios e População da Região Nordeste e Semi-Árido (números absolutos e percentagem) em 2000.....	111
<b>Tabela 13</b>	- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Educação, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Longevidade, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Renda e Índice de Gini Renda no Semi-Árido Nordestino, 2002 .....	114
<b>Tabela 14</b>	- Área, População, Densidade Demográfica e Taxa de Urbanização das Regiões Estratégicas de Planejamento do Semi-Árido em 2000.....	117
<b>Tabela 15</b>	- Área Total (ha), Área Média por Estabelecimento (ha), Renda Total por Área (R\$/ha) e Renda Monetária por Área (R\$/ha), para as Categorias Agrícolas Familiar e Outros (patronais e outros tipos) da Região Nordeste e Estado e Semi-Árido do Ceará e da Bahia, em 1996.....	125
<b>Tabela 16</b>	- Famílias Assentadas, Famílias Acampadas e Área e Números de Assentamentos para Alguns Municípios do Semi-Árido Nordestino por Estado em 2006. ....	128
<b>Tabela 17</b>	- Dimensão dos Módulos Fiscais em Hectares (ha) para cada Estado Nordestino Selecionado, em 2006 .....	130
<b>Tabela 18</b>	- Grupos de Agricultores do PRONAF .....	132
<b>Tabela 19</b>	- Brasil: Evolução do Montante e do Número dos Contratos do PRONAF... ..	135
<b>Tabela 20</b>	- Área das Unidades da Paisagem (km <sup>2</sup> ) com vegetação original de caatinga e área ocupada por cada unidade da paisagem em relação a área total (%)... ..	151
<b>Tabela 21</b>	- Utilização das Terras Agrícolas do Nordeste (mil hectares), 1996 .....	155
<b>Tabela 22</b>	- Área Disponível para Expansão do Plantio Sustentável de Oleaginosas Por Agricultores Familiares do Semi-Árido .....	156

<b>Tabela 23</b> – Área Plantada (ha), Produtividade (kg/ha), Valor da Produção (R\$/t) e Taxa de Crescimento da Área Plantada (%) de Produtos Seleccionados, Nordeste 1996 e 2005 .....	167
<b>Tabela 24</b> - Área plantada (ha), Produtividade (kg/ha), Semi-Árido Nordeste em 2005 .....	169
<b>Tabela 25</b> – Cultivares de Oleaginosas Indicadas para Plantio no Semi-Árido Nordeste, 2006 .....	173
<b>Tabela 26</b> - Faixa de Temperatura (°C) e Exigência Hídrica (mm/ano) para Oleaginosas Seleccionadas.....	177
<b>Tabela 27</b> - Possibilidade de Consórcio entre Oleaginosas e Diversas Culturas .....	182
<b>Tabela 28</b> - Custo variável de Produção (R\$/ha), Produtividade (Kg/ha), Preço Mínimo (R\$/t) e Renda por Hectares por Oleaginosas em 2006.....	187
<b>Tabela 29</b> - Produtividades e Receitas Médias da Cultura da Mamona em Consórcio com Diferentes Culturas em Experimentos no Semi-Árido - 2004/05.....	190
<b>Tabela 30</b> - Evolução da renda média mensal das famílias conta-própria domiciliadas na área rural da região não-metropolitana, segundo o tipo de atividade Nordeste, 2001-2004 .....	191
<b>Tabela 31</b> - Rotas para Extração de Óleos Vegetais.....	193
<b>Tabela 32</b> - Rendimento em óleo e torta pelos processos de esmagamento e extração de óleo com solvente para diversas oleaginosas.....	194
<b>Tabela 33</b> - Produtividade (kg/ha), Teor de Óleo (%), Rendimento em Óleo (t óleo/ha) .....	195
<b>Tabela 34</b> - Especificação do Biodiesel B100.....	197
<b>Tabela 35</b> - Estimativa de Custo de Extração de Óleo a partir de Diferentes Oleaginosas .....	204
<b>Tabela 36</b> - Estimativa de Custos do Biodiesel a partir de Oleaginosas Seleccionadas ... ..	205
<b>Tabela 37</b> - Taxas de Crescimento da Demanda de Diesel no Brasil(%a.a) .....	208
<b>Tabela 38</b> - Estimativa da Demanda de Diesel e Biodiesel (bilhões de litros/ano)...	209
<b>Tabela 39</b> – Área Média Necessária para Atender à Demanda de Biodiesel no Nordeste, Anos de 2008 e 2013(mil hectares).....	211
<b>Tabela 40</b> - Relação entre a Energia Gerada (O) e a Entrada de Energia (I) para Biodiesel Oriundos de Diversas Matérias-Primas e o Etanol da Cana-de-Açúcar.....	213
<b>Tabela 41</b> - Comparação de Emissões do Biodiesel de Soja e do Diesel Mineral (%)... ..	215
<b>Tabela 42</b> - Custo Estimado da Poluição Evitada por Diferentes Misturas de Biodiesel (R\$milhões/ano), Brasil, 2003 .....	217
<b>Tabela 43</b> – Comparação entre algumas Características de Oleaginosas seleccionadas... ..	220
<b>Tabela 44</b> - Área Disponível para expansão do plantio de oleaginosas considerada na elaboração dos cenários de oferta de matéria-prima para Produção de Biodiesel.....	225
<b>Tabela 45</b> – Proporção da área plantada com cada oleaginosa (%) em cada Estado no Semi-árido, em 2015, considerada na elaboração dos cenários de Matéria-prima.....	226
<b>Tabela 46</b> – Evolução da área plantada com oleaginosas no Semi-Árido Nordeste no Cenário 1, 2008 a 2015.....	228
<b>Tabela 47</b> – Evolução da área plantada com oleaginosas no Semi-Árido Nordeste no Cenário 2, 2008 a 2015.....	228
<b>Tabela 48</b> - Variação da Produtividade Oleaginosa (kg/ha) no Período de 2008 a 2015 .....	232

<b>Tabela 49</b> – Teor de óleo médio (%) e Densidade a 20°C (kg/l) para Oleaginosas Seleccionadas .....	233
<b>Tabela 50</b> - Quantidade de biodiesel produzido (milhões de litros) a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido no cenário 1, no período de 2008 a 2015 .....	233
<b>Tabela 51</b> - Quantidade de biodiesel produzido (milhões de litros) a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido no Cenário 2, no período de 2008 a 2015 .....	234
<b>Tabela 52</b> – Comparação entre a produção de biodiesel prevista nos cenários e a capacidade de produção de biodiesel estimada para o Nordeste de 2008 a 2015 .....	236
<b>Tabela 53</b> – Produção de Biodiesel a partir da Agricultura Familiar do semi-árido (milhões de litros), quantidade de diesel mineral deslocado (milhões de litros) e emissão evitada de CO <sub>2</sub> pelo uso do biodiesel em substituição ao diesel a partir dos cenários de oferta. ....	241
<b>Tabela 54</b> - Relação entre a emissões evitadas de CO <sub>2</sub> no Cenário 1 e Cenário 2 e as emissões derivadas ao uso de óleo diesel demandado no Nordeste e no Brasil, 2008 a 2015. ....	243
<b>Tabela 55</b> – Emissões Evitadas e Créditos gerados pelo uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido (Cenários de oferta), 2008 a 2015 .....	251
<b>Tabela 56</b> -Renda bruta da comercialização dos créditos de carbono, gerado pelo uso do biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares .....	252
<b>Tabela 57</b> -Renda bruta da comercialização dos créditos de carbono por metro cúbico de biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares .....	253
<b>Tabela 58</b> - Estimativa da Renda líquida alcançada pelo plantio de oleaginosas nos cenários de oferta de matéria-prima (R\$/ha/ano) .....	255
<b>Tabela 59</b> - Estimativa da Renda líquida total nos Cenários de oferta de matéria-prima (R\$) .....	256
<b>Tabela 60</b> – Área plantada com oleaginosas (de oferta), Estimativa do Número de famílias e da Renda média anual e mensal por família .....	257

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Efeito Estufa .....	10
<b>Figura 2</b> Forçamento radiativo (FR) em W/m <sup>2</sup> para Gases de Efeito Estufa e outras substâncias para o ano de 2005, relativos aos valores de 1750 .....	13
<b>Figura 3</b> - Emissões globais de CO <sub>2</sub> acumuladas (GtC) de 1990 a 2100 nos cenários SRES .....	33
<b>Figura 4</b> - Valores médios das temperaturas (°C) (média, máxima e mínima) e precipitação (mm) para as regiões brasileiras no período de 1961 a 2004.....	51
<b>Figura 5</b> Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul durante anos secos (a) e chuvosos (b) no Nordeste. ....	54
<b>Figura 6</b> - Vulnerabilidade Social à Seca no Semi-Árido Nordestino .....	61
<b>Figura 7</b> - Excesso (mm) e Déficit (%) de Água para o Município de Arco Verde/PE, para a Temperatura Inicial, Temperatura Inicial mais 2°C, Temperatura Inicial mais 4°C .....	63

<b>Figura 8</b>	- Áreas com Déficit Superior a 30 dias no Trimestre Chuvoso no Período de 1999 a 2003 .....	65
<b>Figura 9</b>	- Esquema do Processo de Transesterificação .....	76
<b>Figura 10</b>	- Percentuais previstos de mistura de biodiesel ao diesel no Brasil e mercado potencial de biodiesel.....	80
<b>Figura 11</b>	- Agentes envolvidos no PNPB .....	90
<b>Figura 12</b>	- Sub-regiões do Nordeste.....	102
<b>Figura 13</b>	- Área de Incidência de Secas.....	107
<b>Figura 14</b>	- Vulnerabilidade do Nordeste à Desertificação em 1998 .....	110
<b>Figura 15</b>	- Divisão do Semi-Árido de acordo com as Áreas Geoestratégicas do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido - PDSA .....	116
<b>Figura 16</b>	- Efeito do Tamanho da Propriedade na Produtividade do Estabelecimento . .....	127
<b>Figura 17</b>	- Fotos de algumas Tecnologias de Convivência com Semi-Árido.....	145
<b>Figura 18</b>	- Abrangência da Depressão Sertaneja .....	152
<b>Figura 19</b>	- Mapa do Nordeste com Unidades da Paisagem com Precipitação Média Anual Inferior a 800mm e Áreas de Potencial Agrícola Baixo (a), Médio (b) e Alto (c).. .....	153
<b>Figura 20</b>	- Índice de Iodo de Óleos Vegetais Seleccionados .....	199

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1.-</b>	Volume de biodiesel ( $m^3$ ) arrematado nos cinco leilões de biodiesel da ANP .....	87
<b>Gráfico 2.-</b>	Distribuição Geográfica das Plantas de Biodiesel, por Região em 2007 ...	94
<b>Gráfico 3.-</b>	Produção Mundial de Biodiesel, de 1991 a 2005, em $10^6$ litros/ano.....	99
<b>Gráfico 4.-</b>	Participação da Produção Mundial de Oleaginosas, em percentagem (%), no período 2005/2006.....	100
<b>Gráfico 5.-</b>	Número de Estabelecimentos, Área Ocupada, Pessoal Ocupado e Valor Bruto da Produção da Agricultura Familiar em Porcentagem (%), para Estados Nordestinos e Nordeste, 1996.....	121
<b>Gráfico 6.-</b>	Percentual de Estabelecimentos Familiares por Área Ocupada de acordo com Grupos de Área Total no Nordeste, em 1996 .....	123
<b>Gráfico 7.-</b>	Proporção do biodiesel com cada oleaginosa no período de 2008 a 2015 nos cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel .....	235
<b>Gráfico 8.-</b>	Emissões anuais evitadas de $CO_2$ ( $GgCO_2/ano$ ) pelo uso de biodiesel em substituição ao óleo diesel de 2008 a 2015.....	242
<b>Gráfico 9.-</b>	Emissões anuais de $CO_2$ pelo uso do óleo diesel, biodiesel, conforme previsto no PNPB e biodiesel, produzido a partir dos agricultores familiares do semi-árido (cenário 1 e cenário 2).....	249
<b>Gráfico 10.-</b>	Emissões evitadas de $CO_2$ pelo uso de biodiesel em substituição ao diesel no cenário de referência (PNPB) e no Cenário 1 e 2 .....	250

## Índice de Fluxograma:

<b>Fluxograma 1.-</b>	Etapas da Transesterificação .....	73
-----------------------	------------------------------------	----

## **Capítulo 1- Introdução**

### **1.1.Apresentação do Tema**

O efeito estufa é um fenômeno natural causado pela presença de determinados gases na atmosfera terrestre como o vapor d'água ( $H_2O$ ), o metano ( $CH_4$ ), o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Esses gases são conhecidos como Gases de Efeito Estufa (GEE), os quais permitem a passagem da energia solar (ondas curtas) à superfície terrestre, mas absorvem e re-emitem a radiação infravermelha (ondas longas) emitida pelo planeta, dificultando que parte da energia térmica seja perdida para o espaço. A temperatura média próxima à superfície da Terra seria cerca de  $17^{\circ}C$  abaixo de zero em razão do balanço energético natural do planeta com o sol, a atmosfera e o espaço, caso não existisse esses gases. Esse fenômeno auxilia na manutenção da temperatura média próxima à superfície terrestre em cerca de  $15^{\circ}C$ .

No entanto as atividades humanas, principalmente as relacionadas à queima de combustíveis fósseis e às atividades de Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (conhecido pela sigla AFOLU - Agriculture, Forestry and Other Land Use), têm aumentado a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. O aumento da concentração desses gases na atmosfera relacionado as atividades humanas vem contribuindo para a intensificação do efeito estufa, afetando o balanço energético da Terra, o que tem acarretado modificações climáticas no planeta. O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é o principal gás de efeito estufa antropogênico, apontado como o responsável por mais de 60% do aumento do efeito estufa de origem antrópica. A concentração de  $CO_2$  na atmosfera aumentou de 280 para 379 ppm (partes por milhão) desde a revolução industrial, sendo a principal fonte de aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono nesse período se deve ao uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

Frente às ameaças de mudanças climáticas, criou-se uma Convenção para estabelecer diretrizes técnicas e políticas relacionadas às questões decorrentes do aquecimento global. Essa Convenção (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) foi adotada durante a “Rio 92” como um tratado internacional de caráter essencialmente universal, firmado pelos representantes de quase todos os países do

mundo. A Convenção identificou duas estratégias para lidar com essas ameaças: mitigação e adaptação às mudanças climáticas (UNFCCC, 2004).

Segundo o IPCC<sup>1</sup> (2001) mitigação é definida como a intervenção antrópica para reduzir as fontes de gases de efeito estufa ou para realçar os seus sumidouros (aumento dos estoques de carbono em ecossistemas terrestre e marinhos). Porém, a dinâmica da atmosfera é complexa e existem diferentes variáveis que atuam na sua circulação (viscosidade cinemática, condutividade térmica, espessura da camada, gravidade, entre outras). Com isso, o sistema climático responde ao aumento nos níveis de gases de efeito estufa com um tempo de atraso. Assim, até mesmo uma redução imediata das emissões globais de GEE não elimina totalmente seus impactos sobre o clima (IPCC, 2001). As emissões passadas e as atuais já comprometeram o planeta, que está experimentando os impactos da mudança do clima neste século. O quanto antes as medidas de mitigação forem adotadas, maiores serão as facilidades de adaptação no futuro, porém a adaptação é a única resposta disponível para os impactos que ocorrerão nas próximas décadas e antes que as medidas de mitigação possam ter efeito (STERN, 2006).

Dessa forma, nas discussões sobre mudanças climáticas, os impactos, a vulnerabilidade e a adaptação às mudanças climáticas ganham destaque especial. De acordo com o IPCC (2001), os impactos (climáticos) referem-se às consequências das mudanças climáticas nos sistemas naturais e humanos. Considera-se vulnerabilidade climática o nível de reação que um determinado sistema expressa devido a uma mudança climática específica; adaptação refere-se aos ajustes em sistemas ecológicos ou sócio-econômicos em resposta às mudanças climáticas correntes ou projetadas, resultantes de práticas, processos, medidas ou mudanças estruturais (IPCC, 2001). As medidas de adaptação e mitigação podem mostrar importante relacionamento entre elas, incluindo possíveis interações e complementaridades. A sinergia ou integração entre estratégias de adaptação e mitigação às mudanças climáticas são criadas quando a adoção de medidas de redução das emissões de GEE também reduz os efeitos adversos das mudanças climáticas, ou vice-versa (KANE & SHOGREN, 2000).

---

<sup>1</sup> IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima das Nações Unidas). O IPCC reúne mais de mil cientistas de diferentes partes do mundo e é o principal foro para avaliação do desenvolvimento científico sobre mudança do clima.

Os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis às mudanças climáticas e com menor capacidade de adaptação. Nesses países, os recursos são escassos e existem questões prioritárias e mais imediatas que às mudanças climáticas, como a redução da pobreza, a segurança alimentar, a saúde, o gerenciamento dos recursos naturais, o acesso à energia. Por outro lado, as mudanças climáticas podem ser um importante óbice ao desenvolvimento desses países (ADGER *et al.*, 2003).

Em comparação aos outros setores da economia, a agricultura é uma atividade extremamente vulnerável às mudanças climáticas, uma vez que o clima é o fator mais importante na determinação da sustentabilidade de sistemas de produção agrícola. As comunidades que dependem das atividades agrícolas para sua sobrevivência estão entre as mais duramente afetadas e a população mais vulnerável, desse grupo, são aquelas de menor renda e nível educacional (MOTHA, 2007).

No Brasil, o Nordeste, particularmente, o semi-árido Nordestino é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas. Essa região representa 18% do território nacional (cerca de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>), sendo 60% dessa área localizada no semi-árido. O Nordeste abriga um terço da população brasileira, cerca de 48 milhões de habitantes, sendo que 20 milhões vivem no semi-árido (IBGE, 2000), registrando os maiores índices de pobreza do país.

No semi-árido o regime de chuvas é irregular e escasso, com longos períodos de seca. Para a região, os modelos climáticos indicam o aumento da ocorrência e intensidade de períodos secos, decorrentes das mudanças climáticas (SILVA DIAS & MARENGO, 1999). Ao analisar a escala espacial dos fenômenos atmosféricos e oceânicos associados com a seca do Nordeste brasileiro, MOURA & KAGANO (1986) concluíram que esse efeito não é regional, mas a manifestação local de um fenômeno de grande escala. BUCHMANN *et al.* (1986) reforçam que há influência de sistemas extratropicais nas oscilações climáticas na região, como é o caso do fenômeno El Niño. Em anos de El Niño, as chuvas no semi-árido diminuem, agravando o processo de seca. O aumento na frequência e intensidade do El Niño atinge, particularmente, o semi-árido nordestino, afetando negativamente as atividades agropecuária da região.



A agricultura e a pecuária são as principais atividades econômicas de fixação da população nordestina nas condições do semi-árido. Cerca de 80% dos estabelecimentos agrícolas nordestinos se enquadram na categoria de agricultura familiar, onde os agricultores e suas famílias dependem majoritariamente das atividades agrícolas para seu sustento (INCRA/FAO, 2000). Nesse sistema de manejo, a agropecuária depende da melhor oferta de clima-solo, já que o agricultor familiar não possui alternativas tecnológicas e econômicas para o acesso às sementes com alto poder genético, adaptadas as condições do semi-árido, à melhoria da fertilidade dos solos e a irrigações nos períodos críticos de escassez hídrica. Sob esse panorama, os agricultores familiares locais apresentam-se como grupo social mais vulnerável às mudanças climáticas.

Em face à vulnerabilidade sócio-ambiental da região, vários programas e ações de Governo já foram estruturados e implementados visando o combate a seca no Nordeste e o desenvolvimento dessa região. Em 2004, o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB, com o objetivo de fomentar a produção e uso do biodiesel no Brasil e promover a inclusão social do agricultor familiar, gerando renda e emprego, pela inserção de agricultor na cadeia produtiva do biodiesel. A utilização de biodiesel em substituição parcial ao uso do óleo diesel pode resultar em redução das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Várias seriam as vantagens em inserir o agricultor familiar do semi-árido na cadeia produtiva do biodiesel. Além da possibilidade de geração de renda e empregos agrícolas, o apoio a inserção dos agricultores familiares do semi-árido na cadeia produtiva de biodiesel tende a fomentar a diversificação de cultivos agrícolas nessa região. Atualmente no semi-árido existem poucas opções de diversificação de cultivos compatíveis com as restrições de solo e clima e com os sistemas produtivos adotados pelos agricultores familiares. A demanda por matéria-prima para a produção de biodiesel pode aumentar às chances de seleção e melhoramento de espécies oleaginosas aptas ao desenvolvimento nas condições edafoclimáticas e sistemas produtivos atuais do semi-árido. Além disso, a própria organização da cadeia produtiva do biodiesel pode funcionar como um vetor de desenvolvimento regional, gerando não só empregos agrícolas, mas também empregos não agrícolas, tendendo a dinamizar a economia local.

A questão da adaptação às mudanças climáticas pode ser analisada sob o ponto de vista da redução da pobreza e do fortalecimento dessas comunidades vulneráveis. Por outro lado, o uso do biodiesel em substituição parcial ao óleo diesel resulta na redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. A redução de emissão de carbono decorrente do uso de biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares em substituição ao óleo diesel pode ser analisada como uma estratégia de mitigação às mudanças climáticas.

O objetivo geral da tese é analisar o plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido nordestino para a produção de biodiesel como uma estratégia de adaptação e mitigação às mudanças climáticas. A inserção do agricultor familiar na cadeia produtiva do biodiesel é analisada não só quanto ao potencial de geração de renda e empregos decorrente do plantio de oleaginosas, mas, também, quanto ao potencial de difusão e diversificação de oleaginosas que apresentam aptidão para o cultivo sob as condições sócio-econômicas e ambientais particulares da agricultura familiar do semi-árido. Para cada oleaginosa selecionada são analisados os aspectos produtivos e econômicos (referentes à fase agrícola), os aspectos relativos ao rendimento em óleo, características físico-químicas dos óleos para produção de biodiesel e o custo de biodiesel. Adicionalmente é estimado o potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir da matéria-prima fornecida pelos agricultores familiares do semi-árido, ou seja, o potencial de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> resultante da inserção do agricultor familiar na cadeia produtiva do biodiesel. Parte-se, portanto, da hipótese que a inserção dos agricultores familiares do semi-árido na cadeia produtiva do biodiesel é uma estratégia de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

## **1.2. Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo acima proposto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Elaborar cenários de expansão do cultivo de oleaginosas para produção de biodiesel e de potencial de mitigação de carbono pelo uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel.
- ✓ Identificar as barreiras para a difusão do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido para produção de biodiesel.
- ✓ Identificar os requisitos necessários à viabilização do cultivo de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido nordestino.
- ✓ Analisar o potencial de contribuição da difusão do cultivo de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido Nordeste para produção de biodiesel, como estratégia de adaptação às mudanças climáticas.
- ✓ Analisar o potencial do uso de biodiesel em substituição ao óleo diesel como estratégia de mitigação.

### 1.3. Abordagem Metodológica

Os levantamentos das informações e dados gerais da Tese foram baseados em revisão de literatura e contemplam as informações referentes ao Programa Nacional de Produção e Uso de biodiesel, dados sobre o biodiesel, aspectos técnicos relacionados à produção do biodiesel, dados socioeconômicos e ambientais do semi-árido Nordeste, dados gerais sobre a dinâmica da agricultura familiar e os aspectos técnicos gerais do cultivo de oleaginosas.

A participação nos projetos *South South North 2* (SSN fase 2)<sup>2</sup>, *Development & Climate* (fase 2)<sup>3</sup> e Projeto Petrobrás<sup>4</sup> foi fundamental para elaboração da Tese, pois auxiliou na decisão de desenvolver uma proposta de análise estratégica de cultivos de oleaginosas

---

<sup>2</sup> O projeto *South South North 2* (SSN fase 2) envolve o Brasil, a África do Sul, Bangladesh, Indonésia, Moçambique e Tanzânia. O objetivo do SSN é identificar ações e formular projetos que alcancem a redução da pobreza nas comunidades localizadas nos países em desenvolvimento, através da implementação de práticas sustentáveis de mitigação e adaptação à mudança climática.

<sup>3</sup> O projeto *Development & Climate*, que é uma iniciativa de 12 institutos de pesquisa internacionais, envolvendo países tanto do Hemisfério Norte quanto do Hemisfério Sul, explora a idéia da construção de políticas climáticas e ambientais, em função das prioridades de desenvolvimento dos países do Hemisfério Sul.

<sup>4</sup> O projeto Petrobrás é uma iniciativa da gerência de gás e energia e da gerência de responsabilidade social da empresa, cuja coordenação é do Instituto de Economia da UFRJ e que visa a elaboração do Plano de Ação para a Inclusão do Agricultor Familiar como fornecedor de matéria-prima para as plantas de biodiesel da Petrobrás em Candeias - BA, Quixadá-CE e Montes Claro-MG)

por agricultores familiares para produção de biodiesel, visando a adaptação e mitigação às mudanças climáticas. A partir da participação nesses projetos, foi possível o conhecimento sobre as experiências de integração das estratégias de mitigação, adaptação e desenvolvimento sustentável, como uma alternativa para beneficiar as comunidades, particularmente vulneráveis às mudanças climáticas. Especialmente, o Projeto Petrobrás oportunizou o conhecimento de resultados práticos quanto à dinâmica utilizada por agricultores familiares do semi-árido, nos Estados da Bahia e do Ceará, como fornecedores de matéria-prima à produção de biodiesel.

#### **1.4. Estruturação da Tese**

A Tese está estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 é composto da introdução da Tese, propriamente dita, ressaltando a relevância do tema e a viabilidade da pesquisa, objetivo geral e específicos e abordagem metodológica. Nesse capítulo é apresentado o problema que será discutido no desenvolvimento da tese, ou seja, a análise de cultivos de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido Nordeste para produção de biodiesel, como alternativa para reduzir a vulnerabilidade dessa população, frente aos impactos das mudanças climáticas projetados para região e a análise do potencial de mitigação pelo uso do biodiesel em substituição (parcial) ao óleo diesel.

No capítulo 2 é apresentado o tema Mudanças Climáticas. São abordados o conhecimento científico atual sobre o tema; as negociações internacionais referentes às mudanças climáticas, com ênfase na Convenção do Clima, no Protocolo de Quioto e na Evolução das Negociações. Nessa abordagem, busca-se dar uma visão geral sobre o cenário político relacionado as questões de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. São apresentados os conceitos de impactos, vulnerabilidade, adaptação e comentado sobre a sinergia de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

O capítulo 3 refere-se às questões de adaptação e mitigação no Brasil e às Políticas Nacionais relativas ao Biodiesel. São apresentadas as projeções das mudanças climáticas no Brasil, com ênfase no Nordeste e semi-árido, a partir dos modelos climáticos regionais elaborados para o Brasil e os impactos e as vulnerabilidades às

mudanças climáticas no semi-árido. Ressaltam-se as vulnerabilidades climáticas do semi-árido, o fenômeno El Niño e os impactos no setor agrícola. Nessa parte também estão incluídas a apresentação da Política de Promoção do Uso do Biodiesel no Brasil, do Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, e os aspectos técnicos e mercadológicos do biodiesel.

O capítulo 4 apresenta a caracterização do semi-árido Nordestino, abrangendo os aspectos ambientais, as condições edafoclimáticas atuais e os aspectos socioeconômicos. A seguir mostra-se uma análise da dinâmica da agricultura familiar nesse contexto, incluindo os aspectos socioeconômicos gerais dessa população rural, a estrutura fundiária e os aspectos relacionados às práticas de sobrevivência dos agricultores familiares neste ambiente. São abordadas as práticas agrícolas correntes, os cultivos de subsistência e a questão da reforma agrária. Nesse contexto, discutem-se alguns aspectos relevantes para a inserção dos agricultores familiares do semi-árido na cadeia produtiva do biodiesel, como o acesso ao crédito, técnicas de convivência com o semi-árido, perspectiva de inserção dos diferentes grupos de agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel, a disponibilidade de solos para a expansão do cultivo de oleaginosas e as alternativas de cultivos de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido, particularmente, o algodão, o amendoim, o girassol, o gergelim e a mamona. Também são citadas outras oleaginosas com potencial para produção de biodiesel, como o pinhão manso, oiticaca e moringa. Em seguida é realizada a análise, propriamente dita, do cultivo de oleaginosas por agricultores familiares para produção de biodiesel como estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Neste capítulo são levantados os aspectos particularmente importantes sobre as culturas analisadas, desde a tradição de cultivo local, passando pela geração de renda, rendimento em óleo e características físico-químicas do biodiesel e o custo de produção desse biocombustível a partir de cada oleaginosa selecionada para análise. Também são estimadas as demandas de diesel e do biodiesel no Nordeste, as áreas de plantio necessárias para cada oleaginosa analisada atender a demanda por esse biocombustível e os aspectos ambientais do uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel.

No capítulo 5 são elaborados cenários de fornecimento de matéria-prima para produção de biodiesel a partir do cultivo de oleaginosas produzidas pelos agricultores familiares.

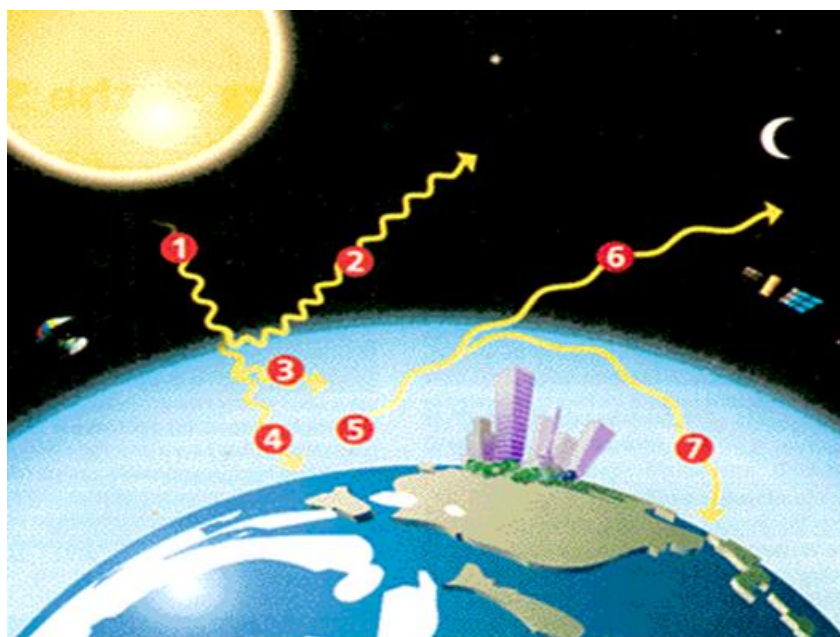
Esses cenários consideram que todas as oleaginosas analisadas, com maior ou menor viabilidade, serão plantadas nas áreas estimadas como disponível para a expansão de oleaginosas. A partir desses cenários são calculadas a produção de biodiesel, considerando as práticas culturais adotadas pelos agricultores familiares, a produção atual de oleaginosas, a estimativa de produção futura e a estimativa de produção de óleo a partir das oleaginosas. A produção de biodiesel em cada cenário é comparada a produção de biodiesel das usinas previstas para operar no Nordeste. Também são elaborados cenários de redução de emissão de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir do cultivo de oleaginosas pelos agricultores familiares do semi-árido Nordestino (cenários de mitigação). São discutidas também as oportunidades de inserção dessa proposta no escopo das negociações internacionais de mudanças climáticas, da adaptação e mitigação às mudanças climáticas no Brasil e das Políticas Nacionais relativas ao Biodiesel.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e recomendações da Tese.

## Capítulo 2 – Mudança Climática

### 2.1 As Mudanças Climáticas e o Conhecimento Científico

O efeito estufa é um fenômeno natural, causado pela presença de determinados gases na atmosfera terrestre como o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que permitem a passagem da energia solar para a superfície da terra, mas absorvem e re-emitem a radiação infravermelha (radiação térmica) emitida pelo planeta, dificultando que parte desta energia térmica seja perdida para o espaço. A maior parte da irradiação infravermelha que a Terra emite é absorvida pelo vapor d'água, pelo dióxido de carbono e outros "gases de efeito estufa" que existem naturalmente na atmosfera. Sem a presença desses gases na atmosfera, conhecidos como gases de efeito estufa, a temperatura média próxima à superfície da Terra seria cerca de  $17^\circ\text{C}$  abaixo de zero (GATES, 1983). A Figura 1 mostra a dinâmica do efeito estufa causado pela presença destes gases na atmosfera.



Fonte: <http://www.nccnsw.org.au/member/cipse/context/>

**Figura 1** Efeito Estufa

Note-se que o esquema da Figura 1 indica que grande parte da energia da Terra vem do sol (1). Parte da energia do sol que alcança a atmosfera terrestre é refletida de volta ao espaço (2), enquanto que alguns comprimentos de onda são absorvidos pela camada de ozônio (3). A energia do sol que alcança a superfície da Terra a aquece (4), e por sua vez, a Terra irradia energia – mas em comprimentos de onda maiores que as do sol (5). Se toda esta energia escapasse de volta para o espaço (6), a temperatura da Terra seria de 17°C abaixo de zero em vez de 15°C como é em média. Isto ocorre graças à presença de gases de efeito estufa na atmosfera que aprisionam parte desta energia de maior comprimento de ondas, contribuindo para manter a Terra aquecida (7).

As atividades humanas, principalmente às relacionadas à queima de combustíveis fósseis e às atividades de Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (conhecido pela sigla AFOLU - *Agriculture, Forestry and Other Land Use*), têm aumentado a liberação de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, intensificando o efeito estufa<sup>5</sup>. Os principais GEE derivados dessas atividades são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), clorofluorcarbonetos (CFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Contudo, o CO<sub>2</sub> é considerado responsável por mais de 60% do aumento do efeito estufa, isso porque sua concentração na atmosfera é bem maior do que a dos outros gases de efeito estufa antrópicos.

A mudança das concentrações e distribuições atmosféricas dos gases de efeito estufa produz um forçamento radiativo<sup>6</sup>, alterando a reflexão ou a absorção da radiação solar e da radiação terrestre. O forçamento radiativo é uma medida de mudança na quantidade de energia disponível no sistema Terra-atmosfera<sup>7</sup>, no qual, mantido todo o resto constante, um aumento das concentrações de determinados GEE na atmosfera produz

---

<sup>5</sup> Também as atividades humanas relacionadas à produção de cimento, às atividades industriais e a deposição e tratamento de resíduos contribuem para o aumento de efeito estufa, porém em proporção bem menor do que as categorias citadas.

<sup>6</sup> Forçamento radiativo é definido como a “mudança na radiação vertical líquida (expressa em W/m<sup>2</sup>) na tropopausa (fronteira entre a troposfera e a estratosfera) devida a uma mudança interna ou a uma mudança externa do sistema climático (IPCC, 2001). Ou seja é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e que sai do sistema Terra-atmosfera. O forçamento positivo tende a contribuir para o aquecimento da superfície, enquanto o forçamento negativo tende a contribuir para o esfriamento.

<sup>7</sup> A atmosfera pode ser dividida em camadas, sendo a troposfera até 15 km de altura, estratosfera da altura de 15 a 50 km e a mesosfera de 50 a 90 km de altura.

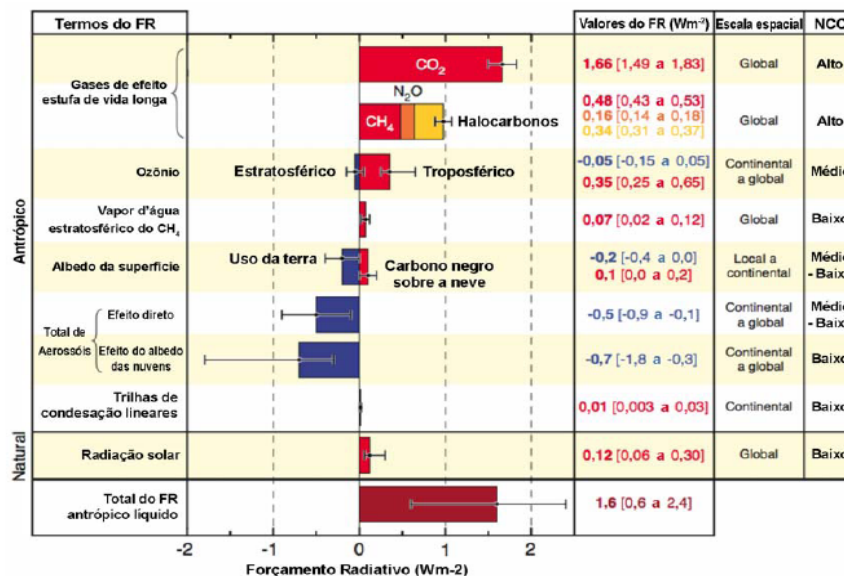


um forçamento radiativo positivo - um aumento líquido na absorção de energia pela Terra.

As propriedades radiativas controlam a absorção da radiação por quilograma de gás presente a um determinado instante, mas o tempo de vida controla o período em que uma quantidade emitida de GEE fica retida na atmosfera<sup>8</sup> e, portanto, é capaz de influenciar no estoque térmico, ou seja, de alterar o equilíbrio energético do sistema climático. O sistema climático responde às mudanças no estoque térmico em escalas de tempo que vão da ordem de meses a milênios, dependendo dos processos que ocorrem entre a superfície da terra e a atmosfera. Figura 2 mostra as estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) para o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), vapor d'água (H<sub>2</sub>O), ozônio (O<sub>3</sub>) e de outras substâncias. Os números entre parênteses na coluna de FR (forçamento radiativo) são faixas estimadas para o FR dos GEE e outras substâncias em 2005, relativos às condições pré-industriais definidas em 1750. A Figura 2 apresenta, também, a escala espacial típica do forçamento radiativo (global, local ou continental) e o nível avaliado de compreensão científica (NCC).

---

<sup>8</sup> O tempo de vida atmosférico é definido como uma carga ( $Tg = 10^{12}g$ ) dividida pelo sumidouro global médio ( $Tg/ano$ ) de um gás em um estado estacionário (i.e., de carga constante). Por exemplo, para uma carga de 100 Tg de um gás X onde este gás decai em 10 Tg/ano, seu tempo de vida é de 10 anos. (IPCC, 2001a).



Fonte: IPCC, 2007

**Figura 2** Forçamento radiativo (FR) em W/m<sup>2</sup> para Gases de Efeito Estufa e outras substâncias para o ano de 2005, relativos aos valores de 1750

O total do forçamento radiativo devido ao aumento da concentração de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso é de +2,30 (+2,07 a +2,53) Wm<sup>-2</sup> (Figura 2). De acordo com o IPCC (2007), a concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005; a concentração atmosférica global do metano aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb<sup>9</sup> para 1732 ppb no início da década de 90, sendo de 1774 ppb em 2005 e a concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005. A principal fonte de aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono desde o período pré-industrial se deve ao uso de combustíveis fósseis, mas às mudanças no uso da terra contribuem com uma parcela menor, entretanto bastante significativa, de cerca de 25% das emissões totais de dióxido de carbono na década de 90 (IPCC, 2007). Tanto o aumento da concentração de metano quanto de óxido nitroso estão principalmente relacionados as atividades agropecuárias (plantio de arroz inundado, pecuária e uso de fertilizantes).

O vapor d'água é o único constituinte da atmosfera que muda de estado em condições naturais, sendo o responsável pela formação das nuvens e por uma extensa série de

<sup>9</sup> ppb é parte por bilhão

fenômenos atmosféricos, como a chuva, neve e orvalho. O vapor d' água interfere na distribuição da temperatura na atmosfera, participa ativamente dos processos de absorção e emissão de calor sensível pela atmosfera e atua como veículo de energia ao transferir calor latente de evaporação de uma região para a outra, o qual é liberado na forma de calor sensível, quando o vapor se condensa. Um aumento da temperatura da atmosfera amplia sua capacidade de retenção de água e deve ser seguido por um aumento da quantidade de vapor d' água. Como o vapor d' água é um poderoso gás de efeito estufa, o aumento do vapor d' água levaria, por sua vez, a um aumento do efeito estufa (um *feedback* positivo). O teor médio de vapor d' água na atmosfera e na alta troposfera vem aumentando desde a década de 80, sendo esse aumento coerente com a quantidade extra de vapor d' água que o ar mais quente consegue carregar (IPCC, 2007), causando um forçamento radiativo positivo (Figura 2).

Gases como o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e os halogênios (HFCs, PFCs, CFCs e o SF<sub>6</sub>) são GEE com efeito direto no forçamento radiativo, sua simples presença na atmosfera representa um forçamento radiativo positivo, provocando um aquecimento. Porém, o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são constantemente emitidos e removidos da atmosfera por processos naturais, as atividades humanas estão apenas aumentando a concentração desses gases na atmosfera. Por outro lado, os halogênios e o SF<sub>6</sub> são gases sintetizados pelo homem e permanecem na atmosfera (o SF<sub>6</sub> por 23.900 anos).

O ozônio estratosférico é um importante gás de efeito estufa. As mudanças na concentração do ozônio estratosférico provocam um forçamento radiativo. O progressivo aquecimento do ar com a altitude na estratosfera é devido à liberação de energia no processo de formação do ozônio. O ozônio estratosférico é uma componente chave na absorção da radiação ultravioleta, protegendo a vida contra os efeitos nocivos desta radiação. Reduções no ozônio estratosférico têm ocorrido desde a década de 70, principalmente na baixa estratosfera (buraco na camada de ozônio). A perda de ozônio na baixa estratosfera nos últimos 15 a 30 anos provocou uma média global de forçamento radiativo negativo (Figura 2). Esse forçamento radiativo negativo representa um efeito indireto dos compostos antrópicos de cloro e bromo.

No que se refere ao ozônio troposférico, este é produzido a partir de complexas reações químicas envolvendo principalmente  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ , COVNM (Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos) e  $\text{NO}_2$ , na presença da luz sendo, portanto, um poluente secundário. A concentração do  $\text{O}_3$  troposférico, tais como de outros poluentes locais tem vida curta e, portanto, varia espacialmente. As mudanças no ozônio troposférico têm consequências potenciais importantes para o forçamento radiativo. O forçamento radiativo médio global devido ao ozônio troposférico é positivo (Figura 2). Outros gases como o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) além do ozônio troposférico ( $\text{O}_3$ ) contribuem para o aumento do efeito estufa, mas de forma indireta ou por interferirem no ciclo dos GEE ou alterando o albedo<sup>10</sup>.

Os Aerossóis são pequenas partículas sólidas ou líquidas que se encontram na atmosfera que são emitidas já como partículas por tempestades de poeira e atividades vulcânicas ou por processos antropogênicos, tais como queima de combustíveis fósseis e de biomassa e atividades agrícolas (p.ex. sulfato, carvão e fuligem). Podem, também, ser criadas a partir de reações químicas e físicas na atmosfera (aerossóis secundários) pela reação de  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  e outros gases denominados precursores. Os aerossóis têm tanto efeitos diretos quanto indiretos no forçamento radiativo. No primeiro caso, ora aquecendo (*black carbon*), ora esfriando (partículas de sulfato e partículas orgânicas) e, no segundo caso, aumentando a quantidade de gotículas que modificam a formação, a eficiência de precipitação e as propriedades radiativas das nuvens (albedo das nuvens e quantidade de nuvens). Entretanto, o efeito de resfriamento prevalece sobre o do aquecimento.

A alteração da temperatura da superfície da terra correspondente à variação do forçamento radiativo determinado pela emissão dos GEE na atmosfera é estimada por modelos climáticos<sup>11</sup>. A redistribuição de energia dentro da atmosfera e entre a

---

<sup>10</sup>Fração da radiação solar refletida por uma superfície ou objeto, frequentemente expressa como um percentual. O albedo dos solos varia, conforme o tipo de superfície. Superfícies cobertas de neve têm um albedo alto; superfícies cobertas com vegetação e oceanos têm um albedo baixo. O albedo da terra varia principalmente em função da nebulosidade, neve, gelo, áreas folhadas e mudanças na cobertura da terra.” (IPCC, 2001).

<sup>11</sup> Modelos climáticos são representações numéricas do sistema climático, baseados nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes, nas suas interações e nos processos de retro-alimentação. Os modelos climáticos são tratados com maiores detalhes na seção 2.3. desse trabalho.

atmosfera, a terra e os oceanos, afeta o clima e tempo<sup>12</sup> do planeta. O aumento da concentração dos GEE altera as temperaturas atmosféricas, oceânicas e os correspondentes padrões de circulação e tempo, acarretando mudanças no ciclo hidrológico como, por exemplo, alterações na distribuição das nuvens e mudanças nos regimes de precipitação e evaporação. As variações relativas às mudanças antrópicas no clima que ocorrem adicionalmente e sobreposto às variações climáticas naturais, podem ser definidas como mudanças climáticas<sup>13</sup>.

O aquecimento global e a conseqüente mudança no sistema climático do planeta representam um grande desafio que se apresenta à humanidade neste século. Destaca-se, entre outros, que o aumento da temperatura média do planeta é relacionado ao derretimento das geleiras e das calotas polares, à elevação do nível dos oceanos devido ao derretimento das geleiras e ao aumento da temperatura dos oceanos (expansão térmica), as mudanças no regime de chuvas, à intensificação de fenômenos climáticos extremos, como furacões, ciclones e tempestades.

Porém, apesar do crescente conhecimento científico sobre as questões das mudanças climáticas, a certeza científica sobre a responsabilidade antropogênica nas mudanças climáticas globais tem sido um processo lento e cauteloso, principalmente devido à dificuldade de se distinguir entre as mudanças antrópicas do clima e as variações climáticas naturais ao longo do tempo. Nesse sentido, cabe salientar, que datam da década de 80, as primeiras publicações das evidências científicas que indicam que as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes das atividades humanas estão relacionadas à mudança climática global. Em 1988, foi criado pela Organização Meteorológica Mundial - OMM e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima das Nações

---

<sup>12</sup> O tempo e o clima são conceitos usados em Meteorologia para se entender o comportamento da atmosfera em diferentes "intervalos de tempo". O tempo em uma determinada região do planeta pode ser considerado como a soma da ação de diversas variáveis atmosféricas (por exemplo: chuva, sol e vento) num limitado e curto período de tempo, já o clima (da referida região) seria o comportamento médio da atmosfera por um longo período de tempo: meses ou anos.

<sup>13</sup> Para a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (UNFCCC) que será tratada na próxima seção deste trabalho, a definição do termo Mudanças Climáticas é: a mudança do clima que é atribuída direta ou indiretamente às atividades antropogênicas, as quais alteram a composição da atmosfera global e que são adicionais às variações climáticas naturais, observadas e comparadas por períodos de tempo. O termo Mudanças Climáticas é bastante genérico, pois engloba vários assuntos, tais como o efeito estufa, as causas da intensificação deste fenômeno natural, as conseqüências do aquecimento global, as medidas necessárias para prevenir ou minimizar (mitigar) este aquecimento, e também as prováveis medidas que a humanidade deverá adotar para se adaptar a esta mudança, conforme será comentado nas próximas seções.

Unidas, conhecido pela sua sigla em inglês- IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

O IPCC reúne mais de mil cientistas de diferentes partes do mundo e é o principal foro para avaliação do desenvolvimento científico sobre mudança do clima. O IPCC produz Ensaios Técnicos e Relatórios Especiais sobre assuntos específicos relacionados à mudança climática e realiza também importantes estudos para o aperfeiçoamento das metodologias de estimativa das emissões de gases de efeito estufa. Os trabalhos do IPCC são apoiados nos avanços no conhecimento científico do clima passado e presente, nos registros da variabilidade climática natural e na previsão das mudanças climáticas futuras. Periodicamente, a cada 5 ou 6 anos, o IPCC publica relatórios de avaliação das mudanças climáticas, divididos em três volumes, cada qual referente a um grupo de trabalho do IPCC. O Grupo de trabalho 1 trata da avaliação da ciência da mudança global do clima. O Grupo de trabalho 2 ocupa-se da avaliação da vulnerabilidade<sup>14</sup> da humanidade e dos sistemas naturais às mudanças climáticas, bem como, das opções para a adaptação às mudanças climáticas. O Grupo 3 analisa as possibilidades de limitação de emissões de gases do efeito estufa (GEE), relacionadas à mitigação da mudança climática e as consequências destas medidas do ponto de vista sócio-econômico. O IPCC publicou seu primeiro relatório de avaliação em 1990 e está publicando em 2007 seu quarto relatório de avaliação. A seguir serão comentadas algumas conclusões dos relatórios do IPCC, realçando a evolução das evidências científicas das mudanças climáticas antrópicas.

O Primeiro Relatório de Avaliação (*First Assessment Report - FAR*) do IPCC, afirmava que a mudança climática representava, de fato, uma ameaça à humanidade, sugerindo a adoção de um tratado internacional sobre o tema. O relatório citava que o aumento das concentrações atmosféricas de GEE desde o período pré-industrial<sup>15</sup>, havia alterado o balanço de energia da Terra/atmosfera, provocando um aquecimento global. Quanto ao aumento da temperatura, as simulações dos modelos do aquecimento global tenderam

---

<sup>14</sup> Os conceitos de vulnerabilidade, adaptação e mitigação às mudanças climáticas encontram-se nas na seção 2.3. Porém, de acordo como o IPCC (2001) vulnerabilidade é a sensibilidade de um sistema a uma determinada mudança do clima, adaptação é a capacidade do sistema se ajustar às novas condições ou de se antecipar a elas e, mitigação é a intervenção antropogênica para reduzir as fontes de gases de efeito estufa ou para realçar os seus sumidouros (loais ou processos que eliminam o carbono).

<sup>15</sup> O período pré-industrial é definido como os vários séculos anteriores a 1750. A concentração do GEE, normalmente, carbono são estimadas através de amostras de gelo.

para uma estimativa central de cerca de 1°C, devido ao aumento observado das concentrações de gases de efeito estufa no último século, enquanto a análise do registro instrumental da temperatura, revelaram um aquecimento de cerca de 0,5°C no mesmo período. Os aerossóis antrópicos foram considerados uma possível fonte de esfriamento regional, mas não foi apresentada nenhuma estimativa quantitativa dos seus efeitos. O relatório concluiu que o aumento observado poderia ser devido principalmente a essa variabilidade climática natural. Portanto, a qualidade e a quantidade de informação sobre o clima não permitiam afirmar categoricamente que a mudança do clima já estava ocorrendo (IPCC, 1990).

No segundo Relatório de Avaliação (*Second Assessment Report – SAR*) do IPCC, publicado cinco anos depois do primeiro, foram examinadas questões relativas à magnitude relativa dos fatores humanos e naturais em provocar mudanças no clima, incluindo o papel dos aerossóis; como a influência humana sobre o clima atual poderia ser detectada; e estimativas da mudança futura do clima e do aumento do nível do mar tanto em escala global como continental a partir da Revolução Industrial. O relatório cita que a temperatura média global do ar na superfície aumentou em torno de 0,3 a 0,6°C desde o final do século 19. O balanço das evidências indicava uma nítida influência das atividades humanas sobre o clima, mas de acordo como o relatório, os trabalhos deveriam continuar no sentido de distinguir o “sinal” antrópico sobre clima do “ruído” de fundo da variabilidade climática natural.

O Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (*Third Assessment Report – TAR*), publicado em 2001, cita que as ações decorrentes das atividades antrópicas provocavam alterações na biosfera, resultando na quase duplicação de gases de Efeito Estufa, durante o período de 1750 a 1998 (IPCC, 2001a). No século 20, a temperatura global da superfície da terra aumentou em  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Segundo o relatório era “provável” (probabilidade maior que 66%) que o aumento de temperatura observado desde a metade do século 20 seja resultado do aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, provocados por atividades humanas. As conseqüências previstas eram que a mudança climática global acarretaria impactos em todos os setores econômicos de todas as regiões do planeta, causando prejuízos a todos os seres vivos, em diferentes graus e intensidade, dependendo das condições locais. As Mudanças

Climáticas, no IPCC, foram definidas neste relatório como as variações estatisticamente significativas no estado do clima (pela média da temperatura) ou em sua variação, persistentes por um longo período de tempo (décadas ou centenas de anos), podendo ser decorrentes de um processo interno natural ou por forças externas, ou por persistentes interferências antropogênicas na composição da atmosfera ou uso da terra.

O quarto relatório de avaliação do IPCC (*Fourth Assessment Report* – FAR) afirma que a concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm<sup>16</sup> para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007). De acordo com o relatório, a taxa anual de crescimento da concentração de dióxido de carbono nos últimos dez anos foi em média de 1,9 ppm por ano (média de 1995-2005). Esse valor é maior do que a taxa média de crescimento desde o começo da medição contínua e direta da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (1960-2005 média: 1,4 ppm por ano), apesar de existir variações de crescimento de um ano para outro. O relatório afirma que é "muito provável" (probabilidade maior que 90%) que o aumento de temperatura observado desde a metade do século 20 seja resultado do aumento das concentrações de GEE na atmosfera, provocado pelas atividades humanas. Conclui que essas emissões têm causado o aquecimento do sistema climático e este está inequivocamente relacionado às observações de aumento global das temperaturas do ar e dos oceanos, derretimento de gelo e neve em larga escala e aumento global do nível dos oceanos (IPCC, 2007).

## **2.2 As negociações internacionais**

### **2.2.1 A Convenção do Clima**

Em resposta aos problemas ambientais ligados às mudanças climáticas globais, a comunidade internacional adotou a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) - conhecida internacionalmente pela sigla UNFCCC- *United Nations Framework Convention on Climate Change* - em 1992. A CQNUMC, foi aprovada e aberta para assinatura durante a Conferência das Nações Unidas sobre

---

<sup>16</sup> Partes por milhão (ppm) refere-se a razão do número de moléculas de gases de efeito estufa em relação ao número total de moléculas de ar seco. Por exemplo, 300 ppm significam 300 moléculas de um gás de efeito estufa por milhão de moléculas de ar seco.



Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), realizada no Rio de Janeiro no ano de 1992, quando mais de 150 países assinaram a Convenção.

De acordo com seu Artigo 2, o objetivo final da Convenção é alcançar a estabilização das concentrações dos gases de efeito estufa em nível que impeça interferências antrópicas perigosas ao sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável (UNFCCC, 1994).

Os países signatários da Convenção, também chamados de Partes da Convenção, estão divididos em grupos. Os países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), representados pelos países industrializados, com economias de mercado e com economia de transição (antigo bloco soviético), compõem o grupo de países do Anexo I<sup>17</sup>. Os países não listados no Anexo I são os países em desenvolvimento, incluindo o Brasil.

Alguns princípios orientam as Partes para o alcance do objetivo final da Convenção. Dentre esses princípios consta que todas as Partes devem proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras com base na equidade<sup>18</sup> e em conformidade com suas responsabilidades comuns, mas diferenciada em função da contribuição histórica pelas emissões de GEE e da capacidade atual econômica e tecnológica dos países (Artigo 3.1). Além disso, pelo princípio da precaução, as Partes devem adotar medidas para prever, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos, de acordo com seus diferentes contextos sócio-econômicos (Artigo 3.2). Também é um princípio da Convenção, o direito ao

---

<sup>17</sup> Países do Anexo I: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Econômica Européia, Croácia, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, República Eslovaca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia, Ucrânia. (países em processo de transição para uma economia de mercado)

<sup>18</sup> Abordagens com relação à equidade têm sido classificadas em uma variedade de categorias, incluindo aquelas baseadas em alocação, resultados, processos, direitos, responsabilidade, pobreza, e oportunidade, refletindo as diversas expectativas de justiça utilizadas para julgar processos políticos e os resultados da sua aplicação (IPCC, 2001).

desenvolvimento sustentável<sup>19</sup> para todas as Partes da Convenção (Artigo 3.4). Esse princípio considera que as políticas e medidas para proteger o sistema climático contra mudanças climáticas devem ser integradas aos programas nacionais de desenvolvimento e reconhece que o desenvolvimento sustentável é essencial à adoção de medidas para enfrentar as mudanças climáticas, em especial nos países em desenvolvimento.

As Partes, levando em conta os princípios da Convenção, devem assumir uma série de obrigações, que são mencionadas no Artigo 4 da Convenção. Destaca-se, entre outras, o dever das Partes em formular e implementar programas nacionais e, conforme o caso, regionais, que incluam medidas que permitam a mitigação das emissões de GEE e adaptação à mudança do clima (Artigo 4.1(b)). Também passou a ser um dever de todas as Partes da Convenção apresentar o Inventário Nacional de emissões antrópicas por fontes<sup>20</sup> e de remoções por sumidouros<sup>21</sup> de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal<sup>22</sup>, dentro de suas possibilidades, usando metodologias comparáveis desenvolvidas e aprovadas pela Conferência das Partes.

Entretanto, para os países em desenvolvimento, o cumprimento efetivo dos compromissos assumidos na Convenção ficou condicionado ao repasse de recursos financeiros e à transferência de tecnologia, levando em conta o fato de que o desenvolvimento econômico e social e a erradicação da pobreza são as prioridades primordiais e absolutas das Partes países em desenvolvimento (Artigo 4.7). Dessa forma, as Partes devem examinar que medidas são necessárias tomar sob a Convenção, inclusive medidas relacionadas ao financiamento, seguro e transferência de tecnologias, para atender as necessidades e preocupações específicas das Partes países em

---

<sup>19</sup> Desenvolvimento Sustentável é aquele que permite à geração atual suprir as suas necessidades sem comprometer a capacidade das gerações futuras, considerando que o desenvolvimento econômico precisa levar em conta também o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas (Relatório Brundtland de 1987).

<sup>20</sup> As categorias/ setores de fontes de GEE que devem ser contabilizadas nos Inventários são: Energia, processos industriais, uso de solvente e outros produtos, agricultura e resíduos

<sup>21</sup> Sumidouro significa qualquer processo, atividade ou mecanismo que remova um gás de efeito estufa, da atmosfera.

<sup>22</sup> Os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal são: (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Outros gases de efeito estufa, como os hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) e os clorofluorcarbonetos (CFCs), embora sejam gases de efeito estufa, não foram incluídos na Convenção por estarem incluídos no Protocolo de Montreal, o qual trata da redução das emissões de gases que afetam a camada de ozônio (ozônio estratosférico, cuja redução dessa camada permite a passagem de raios ultra- violetas para superfície terrestre, o que acarreta entre outros, danos à saúde humana e aos ecossistemas).

desenvolvimento resultantes dos efeitos negativos da mudança do clima e/ou do impacto da implementação de medidas de adaptação (Artigo 4.8).

É importante destacar a criação do Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (Artigo 9) e do Órgão Subsidiário de Implementação da Convenção (Artigo 10), cujas funções são, respectivamente, prover informações e assessoramento sobre assuntos científicos e tecnológicos relativos à Convenção e auxiliar a Conferência das Partes na avaliação e exame do cumprimento efetivo da Convenção. O Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico trabalha em relação direta com o IPCC, requisitando pesquisas e baseando suas decisões nos trabalhos do IPCC.

Igualmente importante é que a Convenção estabeleceu uma Conferência das Partes da Convenção (COP), como órgão supremo da Convenção e com a responsabilidade de manter regularmente sob exame a implementação da Convenção e de quaisquer de seus instrumentos jurídicos e de suas decisões (Artigo 7). Cada sessão da Conferência das Partes (Encontro das Partes) deverá ser realizada anualmente, salvo a necessidade de realização de sessões extraordinárias. Em qualquer sessão de suas sessões a Conferência das Partes pode adotar protocolos à Convenção (Artigo 17).

A primeira Conferência das Partes ou COP 1 foi realizada em Berlim (Alemanha), em 1995, quando foi lançado o Mandato de Berlim, que reconheceu a necessidade de definir compromissos futuros de redução de emissão de GEE para os países signatários. No ano seguinte, a COP 2 foi realizada em Genebra (Suíça), ocasião em que foi assinado o Acordo de Genebra, contemplando a criação de obrigações legais de redução de emissão de GEE. As metas de redução de emissões foram acertadas na COP 3, no Protocolo de Quioto.

### **2.2.2 Protocolo de Quioto**

No Protocolo de Quioto foram estabelecidos compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE para cada Parte do Anexo I da Convenção. As metas de redução diferem entre cada país do Anexo I, e foram estabelecidas com base nas emissões divulgadas nos Inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e de

remoções por sumidouros de gases de efeito estufa. Assim, os países Anexo I devem alcançar em média uma redução de 5,2% relativamente às emissões de 1990 no período 2008 – 2012 (conhecido como primeiro período de compromisso). As reduções variam segundo as emissões dos países industrializados, por exemplo: -6% para Japão e Canadá, 0% para Rússia, -8% para os 15 países da União Européia<sup>23</sup>, -21% para Alemanha, -12,5% para Grã-Bretanha, -6,5% para Itália, 0% para França, +15% para a Espanha, calculados para o período de 2008 a 2012 em relação aos níveis de emissão de 1990 (UNFCCC, 1998).

Para efeito do Protocolo, os gases de efeito estufa considerados são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Além disso, as emissões antrópicas<sup>24</sup> desses gases devem ser expressas em dióxido de carbono equivalente. Para expressar as emissões ou as remoções de gases de efeito estufa em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) se utiliza o poder de aquecimento global, conhecido pela sigla de GWP (Global Warming Power). O GWP expressa uma medida do poder relativo de aquecimento entre um gás em relação a outro gás (CO<sub>2</sub>) em um horizonte de tempo escolhido (IPCC, 2001). A quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente é o resultado do produto da quantidade de emissões de um determinado gás e seu GWP<sup>25</sup>, em relação ao CO<sub>2</sub>. Por exemplo, para o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em um horizonte de 100 anos, GWP é igual a 310 (esse gás tem 310 vezes mais impacto no clima do que o CO<sub>2</sub>, nesse horizonte de tempo), assim 1 tonelada de óxido nitroso corresponde a 310 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

No Protocolo foram criados os mecanismos adicionais de implementação das metas, os chamado mecanismos de flexibilização, permitindo que as reduções de emissão e/ou aumento da remoção de GEE pelas Partes do Anexo I fossem, em parte, obtidos além de suas fronteiras nacionais. Os mecanismos de flexibilização são três: o comercio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

---

<sup>23</sup> Os quinze países da União Européia são: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Grã-Bretanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal e Suécia.

<sup>24</sup> Refere-se às emissões líquidas que é igual ao que foi emitido por fontes menos o que foi removido por sumidouros.

<sup>25</sup> Outros exemplos de GWP para um horizonte de tempo de 100, são para o metano (CH<sub>4</sub>) igual a 21, hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) é 23.900, do hidrofluorcarbonos, (HFC-23 e HFC-134a) equivalente respectivamente a 11.700 e 1.300 (IPCC, 1995)

Pelo Comercio de Emissões, os países industrializados (ou firmas desses países) que conseguem emitir menos do que suas cotas de emissão, podem vender as cotas não utilizadas àqueles que não conseguem (ou não desejam) reduzir suas emissões (Artigo 17). Pelo mecanismo de implementação conjunta, qualquer país industrializado pode transferir ou adquirir de outro país industrializado unidades de redução de emissões provenientes de projetos que visem à redução das emissões antrópicas por fontes ou o aumento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único mecanismo de flexibilização que permite o envolvimento dos países em desenvolvimento. O objetivo do MDL é auxiliar os países em desenvolvimento a atingir o desenvolvimento sustentável, além de contribuir para o objetivo final da Convenção. Por esse mecanismo, os países industrializados (Anexo B) podem comprar reduções certificadas de emissões geradas por projetos sob o MDL<sup>26</sup> nos países em desenvolvimento e utilizá-las no cumprimento de suas metas. A redução certificada de emissão (RCE) é igual a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq), calculada com o uso do Poder de Aquecimento Global (GWP) e emitida em conformidade com os requisitos necessários para enquadramento como um projeto MDL<sup>27</sup>.

O artigo 12.8 do Protocolo refere-se à possibilidade de uma fração dos fundos advindos de atividades dos projetos MDL ser utilizada para cobrir despesas administrativas e assistir às Partes países em desenvolvimento particularmente vulneráveis aos efeitos adversos da mudança do clima, fazer face aos custos de adaptação frente às mudanças climáticas. Uma questão focal foi a importância das Partes transferirem tecnologias de adaptação às mudanças climáticas para os países em desenvolvimento, com a mesma prioridade dada à questão de mitigação. As discussões para se chegar a um acordo sobre vários assuntos referentes às questões de como operacionalizar o MDL e tratar da vulnerabilidade e adaptação das mudanças climáticas prosseguiram após a COP 3.

---

<sup>26</sup> Projetos sob o MDL atendem as regras específicas para cada categoria de projeto. Os projetos de MDL são divididos em três áreas maiores, a saber: 1) eficiência energética; 2) energias alternativas; e 3) sequestro de carbono.

<sup>27</sup> Além do país em desenvolvimento declarar que o projeto MDL contribui para seu desenvolvimento sustentável, os projetos MDL devem ser aprovados pelo Conselho Executivo da Convenção (tem a função de supervisionar a implementação deste mecanismo). As reduções de emissões resultantes de cada atividade de projeto devem ser certificadas por entidades operacionais (auditores independentes) a serem designadas pela Conferência das Partes. Essas entidades operacionais devem considerar se a participação de cada Parte envolvida é voluntária; se existem benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima e se as reduções de emissões são adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto.

Para que o Protocolo entrasse em vigor era necessária que pelo menos 55 países dos incluídos no Anexo B que juntos correspondiam por pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990, tenham depositado seus instrumentos de ratificação, aceitação, aprovação ou adesão ao Protocolo de Quioto. Isso significa que o Protocolo de Quioto precisa ser aprovado e sancionado pelo Poder Executivo dos países Partes da Convenção. Destaca-se que os Estados Unidos assinaram a Convenção, mas não aderiram ao Protocolo de Quioto. Em 16 de fevereiro de 2005 o Protocolo de Quioto entrou em vigor.

### **2.2.3. A Evolução das Negociações**

Somente a partir da COP 7 em Marrakesh (Marrocos) em 2001, o comércio de créditos de carbono previsto no Protocolo de Quioto foi iniciado, mesmo sem a entrada em vigor do Protocolo de Quioto<sup>28</sup>, contanto que estes projetos fossem aprovados pelo Comitê Executivo da Mudança Climática da Convenção. O acordo de Marrakesh terminou de definir as regras para operacionalizar o Protocolo de Quioto, destacando-se os mecanismos de flexibilização (MDL, Implementação Conjunta e Comércio de Emissões) e os inventários nacionais de emissões, entre outros.

Como comentado o Protocolo de Quioto estabeleceu que os mecanismos de flexibilização (Comercio de Emissões, Implementação Conjunto e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) são suplementares, ou seja, uma parte das reduções de emissões devem ser alcançadas através de reduções domésticas (pelos países em desenvolvimento). Assim, mesmo antes da entrada em vigor do Protocolo o carbono vinha se tornando uma “*commodity*” mundialmente negociada em mercados objetivando tanto a implementação futura do Protocolo quanto a criação e consolidação de outros mercados “não - conformidade” com Quioto. De certa forma podemos entender como mercado “não – conformidade” quando a compra e a venda dos créditos de carbono não são elegíveis para atender as metas estabelecidas no protocolo (em países que não são

---

<sup>28</sup> Em novembro de 2004, com ratificação da Rússia (aprovação pelo Parlamento Russo do Protocolo e para depois ser sancionada pelo presidente) o Protocolo atinge sua meta mínima para entrada em vigor (atingiu 55% das emissões de gases de efeito estufa dos países industrializados em 1990). Porém, conforme estipulado no Protocolo de Quioto, somente passados 90 dias de atingir a meta mínima, o Protocolo entraria em vigor. Em 16 de fevereiro de 2005 o Protocolo de Quioto entrou em vigor.

signatários do protocolo ou quando os critérios são diferentes dos acordados no Protocolo).

Dessa forma, além do mercado criado no âmbito do Protocolo de Quioto, outros mercados começaram a se formar, em “conformidade” ou “não - conformidade” com Quioto. Empresas americanas, como a DuPont, a Ford e a General Motors já formaram, por conta própria, uma espécie de bolsa privada, a Chicago Climate Exchange (CCX) para a compra de créditos de carbono oriundos de projetos (COSTA, 2003). O Banco Mundial formou também um fundo para compra de créditos de carbono (*Prototype Carbon Fund – PCF*), hoje referência no mercado, com mais de US\$ 300 milhões em projetos em desenvolvimento (BIOTA, 2004).

Também no Brasil, a BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros) lançou o MBRE – Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões em Outubro de 2005, objetivando inicialmente a implementação de um Banco de Projetos, de forma a dar visibilidade aos compradores internacionais das oportunidades de projetos existentes no Brasil. Esse Banco acolhe projetos que estejam alinhados com as regras de Quioto, seja na fase de concepção seja na fase de validação. A segunda etapa, prevê a implantação do ambiente de negociação de créditos de carbono, de projetos também alinhados com as regras de Quioto.

Dentro do quadro referente à de ações vulnerabilidade e adaptação, destacam-se: o apoio às atividades de capacitação para a avaliação das vulnerabilidades dos países em desenvolvimento; a promoção da transferência de tecnologias de adaptação; o apoio ao estabelecimento de projetos-piloto destinados à avaliação e ao planejamento da adaptação; o apoio à avaliação de medidas de adaptação com base nas realidades nacionais, de modo a evitar uma má adaptação e assegurar que as ações de adaptação sejam ambientalmente corretas e que produzam benefícios reais de apoio ao desenvolvimento sustentável.

Foram criados também os fundos especiais para a adaptação às mudanças climáticas, como o Fundo para apoio aos Países Menos Desenvolvidos, conhecido como LDCF (*Least Developed Countries Fund*) para apoiar na preparação e implementação dos

Programas de Ação Nacionais de Adaptação (NAPAs). Também o Fundo Especial de Mudança Climática, conhecido como SCCF (Special Climate Change Fund) destinado ao financiamento de projetos, programas e medidas relacionados às mudanças climáticas, nas seguintes áreas: adaptação, transferência de tecnologias e capacitação, energia, transporte, indústria, agricultura, floresta, manejo de resíduos e diversificação econômica. O LDCF e o SCCF, estabelecidos na COP 7, são gerenciados pelo GEF (*Global Environmental Fund* - Fundo Global de Meio Ambiente)

Após a entrada do Protocolo de Quioto em vigor, em dezembro de 2005, ocorreu a COP11, em conjunto com o primeiro encontro das Partes do Protocolo de Quioto - MOP1 (MOP é a sigla derivada do termo *Meeting of the Parties to the Protocol*). Destaca-se da COP11/MOP1, o início das discussões sobre o segundo período de compromisso (2013-2016) e as discussões sobre assuntos referentes à implementação do Fundo de Adaptação, constituído pelo valor correspondente a 2% dos créditos advindos de atividades projetos MDL destinados à assistência dos países em desenvolvimento vulneráveis aos efeitos adversos da mudança climática.

Na COP 12/MOP2, em Nairobi, Quênia, em 2006, entre os principais assuntos abordados estão às negociações dos compromissos que deverão ver assumidos no Protocolo para um segundo período de compromisso. Uma das propostas é que o texto do Protocolo de Quioto seja revisado e que os países em desenvolvimento também assumam compromissos concretos de redução de emissões de GEE. A fixação de metas de redução para os países em desenvolvimento a partir de 2013 é um assunto ainda muito polêmico. Os países em desenvolvimento emergentes encontram-se entre os maiores emissores de GEE, como é o caso da China, Índia, Indonésia e Brasil. Por outro lado, os países industrializados são os principais responsáveis pelo atual quadro do aquecimento global e que, portanto, devem assumir a sua quota de responsabilidade no efetivo combate ao efeito estufa. Além disso, os países em desenvolvimento alegam que têm participado ativamente dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, promovendo significativas reduções de emissões de gases de efeito estufa e que o foco no desenvolvimento sustentável deve prevalecer nesses países.



Algumas propostas nesse sentido envolvem uma nova subdivisão do grupo Não-Anexo I como forma de permitir uma maior diferenciação de responsabilidades e capacidades entre os países que formam este grupo. Além disso, uma nova proposta para a mais participação ativa dos países Não-Anexo I é a atribuição de metas mais qualitativas e tão não quantitativas, com destaque para a valorização das políticas e medidas direcionadas ao desenvolvimento, porém com consequências benéficas em termos de redução de emissão de GEE (mitigação) e a adaptação às mudanças climáticas.

Por último cabe ressaltar que atualmente existe um consenso que as metas de redução do Protocolo de Quioto não serão suficientes para conter o aquecimento global. Os países trabalham no sentido de identificar os custos e impactos das mudanças climáticas nas suas economias e no mundo. A questão das mudanças climáticas passa a ser cada vez mais socioeconômica e política. É necessário desenvolver um modelo de governança climática que seja capaz de evitar ou minimizar os efeitos adversos da mudanças climáticas.

Nas discussões sobre mudanças climáticas encontra-se cada vez mais em evidência as questões sobre as vulnerabilidades, impactos e adaptação às mudanças climáticas, que serão comentadas a seguir.

## **2.3 Impactos, Vulnerabilidade, Adaptação e Mitigação**

### **2.3.1. Modelos Climáticos**

Atualmente, os modelos climáticos reproduzem muito bem a evolução do clima dos últimos cem anos, incluindo os efeitos intrínsecos à variabilidade climática natural (com os efeitos de vulcões e da variabilidade solar), os efeitos dos aerossóis (forçamento radiativo negativo - resfriamento) e os decorrentes do aumento de GEE na atmosfera induzido pelas atividades humanas (forçamento radiativo positivo – aquecimento). Os resultados dos modelos matemáticos do sistema climático têm evidenciado que o aumento dos gases de efeito estufa pela ação humana é o principal responsável pelo aumento da temperatura da superfície nos últimos 100 anos (IPCC, 2007).

De acordo com o IPCC (2001a), os modelos climáticos são representações numéricas do sistema climático, baseados nas propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes, nas suas interações e nos processos de retroalimentação. O sistema climático pode ser representado por modelos que variam em complexidade - desde um componente até a combinação de componentes (hierarquia) - que diferem entre as dimensões espaciais adotadas, o grau de detalhamento da representação dos processos físicos, químicos e biológicos, e o nível no qual é feita a parametrização<sup>29</sup>. Os modelos acoplados de circulação geral da atmosfera/oceano/gelo (AOGCMs) provem uma representação integral do sistema climático. É possível simular o efeito do aumento da concentração de GEE nesses modelos, pois eles possuem representações físicas de como a radiação visível e infravermelha (térmica) interage com as moléculas presentes na atmosfera (principalmente, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, clorofluocarbonos, CFC), com as nuvens (gotículas d'água) e com os aerossóis.

Os AOGCMs são os modelos mais desenvolvidos para projetar o clima futuro. Esses modelos incluem, também, representações dos processos solo-superfície, processos relacionados com o gelo e muito outros processos complexos envolvidos no sistema climático. NOBRE (2001) esclarece que os modelos climáticos globais são longos programas de computador onde se resolvem numericamente aproximações das equações matemáticas que representam as Leis Físicas (leis de conservação da quantidade de movimento, de massa, de energia, de água na atmosfera e de sal no oceano, lei do gás ideal para a atmosfera), que regem os movimentos na atmosfera e as correntes nos oceanos, a interação entre estes dois fluidos e a interação da atmosfera com a vegetação.

As simulações em modelos climáticos podem ser utilizadas para a predição ou projeção climática. A predição (previsão) climática é o resultado de uma tentativa de descrever ou estimar a forma mais provável de evolução climática no futuro, em escalas de tempo sazonal, interanual ou de longo prazo. Por outro lado, a projeção climática é a resposta do sistema climático aos cenários de emissão ou de concentração de GEE e aerossóis,

---

<sup>29</sup> Parametrização se refere à técnica empregada para representar os processos que não possíveis de se resolver na escala espacial ou temporal dos modelos, comparando com outras escalas. Segundo o IPCC (2001a), muitos processos físicos, como os relacionados com as nuvens, acontecem em escalas espaciais muito menores do que as captadas pelos modelos (resoluções) e, portanto, não podem ser resolvidos e modelados explicitamente de forma apropriada, mas seus efeitos médios devem ser incluídos de forma simples, aproveitando as relações de base física com as variáveis de maior escala (uma técnica conhecida como parametrização).

ou dos cenários de forçamento radiativo, frequentemente baseados nas simulações dos modelos climáticos. Os efeitos das interações entre os GEE na atmosfera, são realizados pela simulação em modelos computacionais dos Modelos de Circulação Global - MCGs (Global Circulation Models – GCM). São exemplos de MCGs: CGCM1 (*Canadian GCM*), CSIRO-Mk2b (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, HadCM2 (*Hadley Center Coupled Model #2*), e CCSR (*Center for Climate Research Studies Model*), entre outros<sup>30</sup>.

A qualidade da simulação pode ser avaliada comparando-se as estatísticas do clima médio, o ciclo anual e as variabilidades climáticas naturais em diferentes escalas de tempo, com as observações do clima atual. O modelo é então rodado com mudanças no forçamento externo - mudando, por exemplo, as concentrações de gases de efeito estufa - as diferenças entre os dois fornece uma estimativa da mudança do clima resultante do fator de forçamento externo.

### **2.3.2. Os Cenários de Emissão do IPCC e os Impactos das Mudanças Climáticas**

As emissões futuras de gases de efeito estufa (GEE) são altamente incertas, pois envolvem sistemas dinâmicos e complexos, determinados por forças motrizes, tais como o crescimento demográfico, o desenvolvimento sócio-econômico e a mudança tecnológica, cujas evoluções possuem alto grau de incerteza. As ferramentas utilizadas nas análises das mudanças climáticas futuras são os cenários. Os cenários são imagens possíveis de como o futuro poderá se apresentar, quando se consideram determinadas variáveis, como as variáveis do clima e outras forças motrizes (políticas, sociais e econômicas), que podem influenciar a emissão de GEE na atmosfera.

Os cenários auxiliam nas análises de mudanças climáticas, incluindo modelagem do clima e avaliação de impactos, adaptação e mitigação. Os cálculos das concentrações futuras de gases de efeito estufa, dadas certas emissões estimadas nos cenários, envolvem a modelagem dos processos que transformam e removem os diferentes gases da atmosfera. Por exemplo, as concentrações futuras de CO<sub>2</sub> são calculadas usando modelos do ciclo do carbono que modelam as trocas de CO<sub>2</sub> entre a atmosfera e os

---

<sup>30</sup> Versões mais completas de modelos climáticos apresentam representações do ciclo de carbono, central à questão do aquecimento global, na atmosfera, nos oceanos e no solo-vegetação

oceanos e a ecossistemas terrestres, e então os modelos da química atmosférica são utilizados para simular a remoção de gases quimicamente ativos, como o metano.

Em 1992, o IPCC divulgou os cenários IS92<sup>31</sup> para serem usados por Modelos de Circulação Global. Os IS92 são cenários de referência, pois não incluem iniciativas climáticas adicionais, ou seja, não são incluídos cenários que explicitamente assumam a implementação da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ou das metas do Protocolo de Quioto. Os cenários IS92 foram os primeiros cenários globais a fornecer análises de possíveis mudanças climáticas, seus impactos e opções para mitigá-las. Porém, em 1996, após serem avaliados, o IPCC começou a desenvolver um novo grupo de cenários, de uso mais amplo que os cenários IS92, incorporando os novos entendimentos a respeito de possíveis emissões futuras de gases de efeito estufa e das mudanças climáticas.

Em 2000, o IPCC publicou seu Relatório Especial sobre Cenário de Emissão (*Special Report on Emissions Scenarios – SRES*), apresentando os cenários SRES que substituíram os cenários IS92. Os cenários SRES incluem parâmetros de desenvolvimento demográfico, tecnológico e econômico na abordagem, para descrever de modo consistente as relações entre as forças motrizes das emissões GEE e os aerossóis e sua evolução e, com isto, dotar a quantificação dos cenários de um contexto qualitativo. As principais forças motrizes das trajetórias futuras de gases de efeito estufa são: mudança demográfica, desenvolvimento social e econômico e a taxa e o sentido da mudança tecnológica (IPCC, 2000). Assim, esses fatores estão amplamente refletidos em quatro histórias de futuro (famílias de cenários) e nos cenários resultantes, cada qual representando diferentes desenvolvimentos demográficos, sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais.

Como comentado para os cenários IS92, também os cenários SRES, não incluem iniciativas climáticas adicionais (não é assumido nenhum cenário que explicitamente assumam a implementação da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ou as metas do Protocolo de Quioto). Portanto, os cenários SRES são cenários de

---

<sup>31</sup> Todos os seis cenários de emissões IS92 (IS92a a f) implicam no aumento das concentrações de gases de efeito estufa de 1990 a 2100 (por exemplo, os aumentos do CO<sub>2</sub> variam de 35 a 170%; CH<sub>4</sub>, de 22 a 175%; e N<sub>2</sub>O, de 26 a 40%).

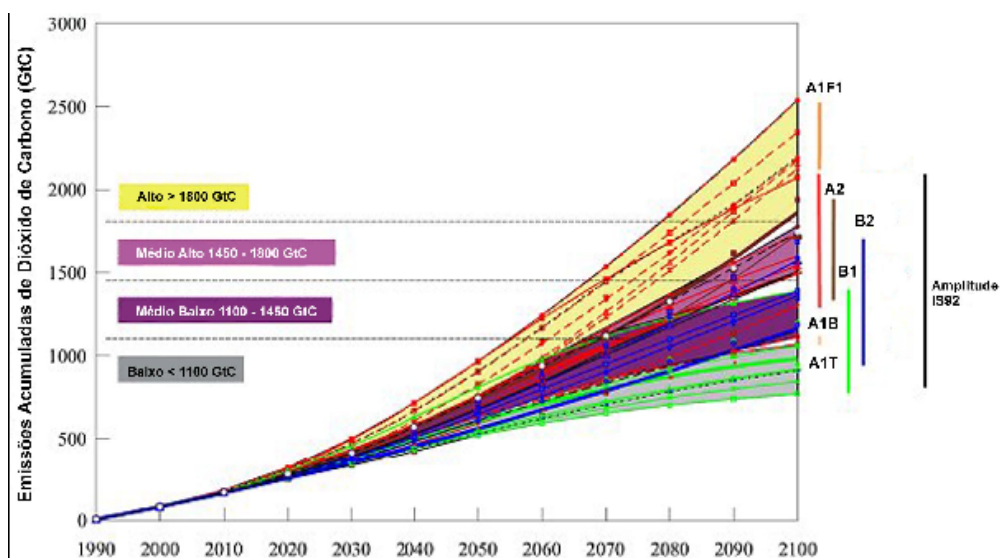
referência, ou de linha de base (*baseline*), quantificando as emissões GEE, caso nenhuma medida em relação às mudanças climáticas seja adotada de 1990 até 2100 (IPCC, 2000). No entanto, as emissões de GEE são diretamente afetadas por políticas não climáticas, formuladas para uma grande variedade de outros propósitos, que afetam as emissões de GEE, mas não têm esse objetivo direto de reduzir as emissões de GEE.

Cada cenário SRES (40 no total) representa uma interpretação quantitativa específica de uma das quatro histórias de futuro. Todos os cenários baseados em uma mesma história de futuro constituem uma “família” de cenários, denominados A1, A2, B1 e B2. Por exemplo, entre outras coisas, a família A1 descreve um crescimento econômico muito rápido, estabilização do crescimento populacional e rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. Essa família (somente essa família) é subdividida em A1FI (intensivo em combustível fóssil), A1B (equilíbrio em todas as fontes de energia), e A1T (predominantemente combustíveis não fósseis- renováveis). A família A2 descreve a globalização, menor crescimento econômico do que em A1, e maior crescimento da população do que nos cenários anteriores. A família B1 descreve o crescimento econômico considerável e crescimento populacional estável, com grande uso de energias renováveis. A família B2 descreve um mundo no qual a ênfase é nas soluções locais, para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e desenvolvimento tecnológico lento. Ressalta-se que nenhum dos cenários tem maior probabilidade de acontecer que o outro, os cenários apenas descrevem futuros divergentes.

Nesses cenários são estimadas as emissões dos seguintes GEE: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), clorofluorcarbonos (CFCs), os gases de dióxido sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ) quimicamente ativos, o aerossol precursor destes gases, o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos nitrogenados ( $\text{NO}_x$ ) e compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOCs). Os cenários SRES fornecem emissões agregadas para quatro regiões do mundo e em totais mundiais. As quatro regiões do mundo são: os países da OCDE (países industrializados), os Países com Economias em Transição (repúblicas da ex- URSS); a

Ásia; e o grupo ALM<sup>32</sup>; que representa a agregação das regiões da África, Oriente Médio e América Latina.

Posteriormente, foram obtidos resultados específicos para a América Latina calculados por intermédio da desagregação dos dados da ALM (LA ROVERE & COSTA, 2000). As emissões acumuladas<sup>33</sup> de CO<sub>2</sub> nos diferentes cenários para cada Família dos cenários SRES, estão apresentadas na Figura 3.



Fonte: IPCC, 2000

**Figura 3** - Emissões globais de CO<sub>2</sub> acumuladas (GtC) de 1990 a 2100 nos cenários SRES

Na Figura 3 pode-se observar a amplitude das emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> em GtC (10<sup>9</sup>t C) das famílias A1F1, A1B e A1T, A2, B1 e B2. Nota-se que a cada família de cenários se sobrepõem substancialmente as emissões de outras famílias de cenário. A superposição indica que um determinado nível futuro de emissões pode surgir de combinações muito diferentes de forças motrizes. As menores emissões acumuladas são encontradas na família B1 (cenários de baixas emissões, em contrapartida, a maior faixa para o carbono acumulado foi na família A1F (uso intensivo em combustível fóssil), seguida da Família A2 (altas emissões) (Figura 3).

<sup>32</sup> ALM refere-se a Africa, Latin America e Middle East.

<sup>33</sup> As emissões acumuladas são calculadas adicionando-se as emissões antropogênicas líquidas anuais dos cenários ao longo do tempo. Ao relacionar estas emissões acumuladas às concentrações atmosféricas, todos os processos naturais que afetam as concentrações de carbono na atmosfera foram levados em consideração.

Os cenários pós SRES, do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC – AR4 (*Fourth Assessment Report-IPCC*) (IPCC, 2007a) fornecem projeções para o clima futuro mais exatas e uma faixa de probabilidade avaliada para cada um dos cenários marcadores<sup>34</sup>, baseadas em um número maior de modelos do clima, conhecidos como modelos globais do IPCC AR4, de crescente complexidade e realismo, bem como em novas informações acerca da natureza da retroalimentação do ciclo do carbono e das condições das observações sobre a resposta do clima. Nesses cenários, mantêm-se praticamente as mesmas forças motrizes do SRES. Em geral, foram adotadas taxas menores do crescimento populacional do que nos cenários SRES. Esse fato é devido às menores taxas de crescimento populacional em vários países em desenvolvimento (sendo destacada inclusive a África, onde a AIDS tem representado uma ameaça importante para o crescimento populacional), entretanto, o impacto do uso de menores projeções de crescimento populacional nas emissões projetadas, foram compensadas pelas mudanças em outras forças motrizes. As projeções de crescimento econômico de alguns países em desenvolvimento são também mais baixas do algumas projeções utilizadas no SRES, mas considerando a ampla faixa das taxas de crescimento econômico adotada nos cenários SRES, os cenários posteriores não apresentam mudanças significativas.

Assim, as projeções de clima futuro são atualmente mais precisas do que as de 2001, sendo projetados um aumento de temperatura global entre 2 °C a 4,5 °C a mais do que os níveis registrados antes da Era Pré-Industrial, até o ano de 2100, sendo mais aceitável um aumento médio de 3°C, assumindo que níveis de dióxido de carbono se estabilizem 45% acima da taxa atual (IPCC, 2007 a). Enquanto que a partir dos cenários SRES eram esperados o aumento da temperatura média global de 1,4°C a 5,8 °C, a mais do que os níveis registrados no período pré-industrial até 2100 (IPCC, 2001a).

---

<sup>34</sup> Cenários marcadores são cenários escolhidos entre os cenários harmozidados (pela harmonização, as diferenças nos resultados dos modelos devidas às diferenças nos pressupostos adotados podem ser separadas daquelas resultantes dos parâmetros internos do modelo), para ilustrar determinada história de futuro. Esses cenários não são mais ou menos verossímeis do que quaisquer outros cenários, mas são considerados pela equipe de elaboração do SRES como ilustrativos de uma história de futuro particular

Porém, existem diversas fontes de incerteza na modelagem de clima para se obter as projeções de clima futuro a nível global ou regional quando considera-se a atual geração de modelos usados pelo IPCC, dentre as quais se destacam (MARENGO, 2007):

- Incerteza nas emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis, nas atividades vulcânica e solar que afetam a forçante radiativa do sistema climático;
- incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico nas plantas, e do efeito de comportamento das plantas no clima futuro.
- Incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos. Isto é devido às diferentes formas em que cada AOGCM representa os processos físicos e os mecanismos do sistema climático. Cada AOGCM simula um clima global e regional com algumas diferenças nas variáveis climáticas como temperatura do ar, chuva, nebulosidade e circulação atmosférica.

Não obstante, os diversos modelos climáticos são utilizados para projetar os impactos das mudanças climáticas em escalas continental, regional e de bacia oceânica, a partir das emissões dos cenários do IPCC (IS92, SRES, AR4). Os impactos à mudança climática referem-se aos efeitos adversos ou benéficos sobre os sistemas naturais e humanos, devido ao aumento da concentração de GEE na atmosfera.

Os resultados indicam numerosas mudanças de longo prazo no clima, as quais abrangem mudanças nas temperaturas e no gelo do Ártico, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e frequência e intensidade da ocorrência de eventos climáticos extremos<sup>35</sup>. Resumidamente, dentre outros, o aumento da temperatura levaria à evaporação mais rápida da umidade de terra que conduz a secas mais frequentes e intensas e ao aumento das áreas sobre desertificação, bem como, a menor cobertura de gelo durante as nevascas de inverno, ao derretimento de geleiras (encolhimento das geleiras) e a tendência de aumento do índice de calor (uma medida de desconforto que combina temperatura e umidade). (IPCC, 2007).

---

<sup>35</sup> Eventos climáticos extremos podem ser definidos como anomalias em relação à climatologia, em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios (AMBROZZI, *et al*, 2007).



Além disso, todas as projeções apontam para um maior aquecimento sobre os continentes do que sobre os oceanos, temperaturas mais altas nas médias e altas latitudes do que nas latitudes baixas, aumento da temperatura maior durante a noite do que de dia e maior no inverno do que no verão (exceto para regiões onde o verão é seco). Em todas as grandes cidades, o aquecimento também deve aumentar o problema das ilhas de calor, efeito decorrente da retenção de radiação térmica pelo prédios e asfalto das áreas urbanas. O ciclo hidrológico médio global ficará mais intenso. Porém, em algumas regiões a precipitação diminuiria no inverno (Austrália, América Central e África meridional). Os resultados indicam também o aumento do nível do mar na faixa de 9 cm a 88 cm de 1990 a 2100, principalmente devido à expansão térmica e à perda dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica (IPCC, 2001).

Quanto aos eventos climáticos extremos, recentemente, eventos extremos de curta duração têm sido considerados como os mais importantes pelos climatologistas, pois alguns modelos climáticos e estudos de projeções de clima para o futuro apontam para o aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos de curta duração em cenários de aquecimento global (chuvas intensas, ondas de calor e frio, períodos secos, temporais e ciclones tropicais<sup>36</sup>) (MARENGO et al, 2007). Os modelos indicam o aumento na amplitude e frequência do El Niño Oscilação Sul (ENOS)<sup>37</sup>, porém com várias incertezas associadas a este assunto (MARENGO, 2007).

A influência do El Niño na frequência de eventos extremos também se estende em várias regiões do mundo estando relacionadas à secas e eventos de chuvas extremas. Com a tendência do aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos alíseos<sup>38</sup> (que sopram de leste para oeste) na região equatorial, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade e, conseqüentemente, na

---

<sup>36</sup> Os ciclones tropicais compreendem os furacões e tufões.

<sup>37</sup> El Niño, que é caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e a componente atmosférica, a Oscilação Sul, é a flutuação interanual da pressão atmosférica ao nível do mar no Oceano Pacífico, devida a variações na circulação atmosférica. Normalmente, os ventos alíseos sopram para sudoeste (no hemisfério sul), levando a água da superfície do mar aquecida na região do equador para a costa da Indonésia e Austrália e, com ela, massas de ar também aquecidas. La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical.

<sup>38</sup> Normalmente, os ventos alíseos sopram para sudoeste (no hemisfério sul), levando a água da superfície do mar aquecida da região do equador para a costa da Indonésia e Austrália. e, com ela, massas de ar também são aquecidas.

distribuição das chuvas em regiões tropicais e nas regiões de médias e altas latitudes (FREITAS, 1999).

Os efeitos negativos do aumento de temperatura têm sido amplamente divulgados, tais como redução das terras agriculturáveis e florestas, degelo com inundação de cidades litorâneas, instabilidade meteorológica, mas por outro lado, estimam-se possíveis benefícios em países frios, onde poderia haver mais colheitas na agricultura e redução nos custos de aquecimento.

Para que os efeitos adversos das mudanças climáticas não sejam catastróficos, faz-se necessária a adoção de políticas globais de mitigação de GEE. Embora tais políticas não devam comprometer o processo de crescimento dos países em desenvolvimento, estes não estão isentos das responsabilidades internacionais e nacionais. Os impactos climáticos não devem ser negligenciados. É importante que os países em desenvolvimento avaliem os seus custos de mitigação e concomitantemente adotem estratégias de adaptação, uma vez que os impactos são inevitáveis (JUNG *et al*, 2000; STERN, 2006).

### **2.3.2.Vulnerabilidade**

Apesar das dificuldades de previsão e quantificação dos impactos das mudanças climáticas devido ao grande número de incertezas associadas aos modelos climáticos, é possível avaliar que as alterações climáticas terão implicações diretas sobre a maioria dos segmentos produtivos e ecossistemas naturais.

Os impactos ambientais e sociais da mudança de clima serão de muitos tipos, afetando a maioria dos interesses vitais das sociedades. Porém, o grau que um sistema (natural ou humano) é susceptível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo a variabilidade climática e os extremos climáticos, determina a vulnerabilidade desse sistema às mudanças climáticas. A vulnerabilidade é uma função da característica, magnitude e da taxa de variação climática ao qual o sistema é exposto, de sua sensibilidade (grau que o sistema é afetado) e da sua capacidade de adaptação (IPCC, 2001a). A capacidade de adaptação refere-se a habilidade de ajuste de um

sistema às mudanças climáticas, diminuindo os danos potenciais ou desastres e melhorando as possibilidades de lidar com as consequências. O oposto de vulnerabilidade é a resiliência, ou seja, quanto de mudança um sistema pode sofrer sem alterar seu estado.

A vulnerabilidade social às mudanças climáticas depende dos efeitos das mudanças climáticas em nível regional e local e da capacidade da sociedade em lidar com essas mudanças. A vulnerabilidade social é algo inerente a uma determinada população e variará de acordo com suas possibilidades sociais e econômicas para lidar com os efeitos locais das mudanças climáticas. Os padrões de desenvolvimento socioeconômicos determinam a vulnerabilidade da mudança de clima e a capacidade humana de adaptação à mudança climática.

A mudança do clima é uma ameaça grave para os países em desenvolvimento, podendo se caracterizar em obstáculo importante à redução da pobreza, através de suas muitas dimensões. Estes países estão mais próximos das margens de tolerância para mudanças de temperatura e de precipitação (mais secas e maiores áreas ameaçadas de inundações), Os países em desenvolvimento, especialmente os mais pobres, têm suas economias fortemente baseadas no setor primário, totalmente dependente dos recursos naturais. Em comparação aos outros setores da economia, o setor primário será o mais atingido pela mudança climática e com menor chance de se “adaptar” frente aos efeitos adversos da mudança climática (NOBRE, 2005).

Nos países em desenvolvimento, as comunidades que dependem dos recursos naturais para sua sobrevivência estão entre as mais duramente afetadas. Em comparação aos outros setores da economia, o setor agricultura é uma atividade extremamente vulnerável à mudança climática, uma vez que o clima é o fator mais importante na determinação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas e a agricultura está diretamente relacionado à segurança alimentar dessas comunidades. Aliado ao fato que os países em desenvolvimento em geral, sofrem com a provisão inadequada e baixa qualidade dos serviços públicos e dispõe de recursos econômicos limitados.

O aumento da frequência e da severidade dos períodos de seca em algumas regiões poderá prejudicar fortemente a agricultura, a população, a vida silvestre a até mesmo as atividades de turismo. Poderá haver maior demanda por água, que estará mais escassa tanto em termos de quantidade como de qualidade. Por outro lado, em outras regiões, o número de tempestades tende a ser maior, causando enchentes que afetam não só a agricultura, mas também a vida urbana. Acúmulo de águas de chuva associadas ao calor intenso podem trazer problemas à saúde humana, com o aumento dos vetores de doenças veiculadas pela água, como a dengue, por exemplo.

O aumento do nível do mar representa um risco para os manguezais localizados em áreas baixas das planícies costeiras e em estuários, que apóiam a cadeia biológica da fauna marinha, além de reter os sedimentos e impedir ou reduzir os problemas de sedimentação em portos (Muehe & Neves, 1995). As pequenas ilhas desapareceriam e muitas áreas costeiras seriam invadidas pelo mar, além da possível perda de biodiversidade, a população que habita ou depende economicamente desses ambientes são as mais vulneráveis (IPCC, 2001).

Porém, as comunidades locais e as empresas dos países em desenvolvimento não estão conscientes de suas vulnerabilidades. Situações de enchentes ou secas são tratadas como uma atitude reativa, isto é, depois do ocorrido e não como um mecanismo preventivo (KLEIN, 2002). Além-se o fato que os países em desenvolvimento, em geral, sofrem com a provisão inadequada e a baixa qualidade dos serviços públicos e dispõem de recursos econômicos limitados para lidar com essas questões. Para atuar preventivamente é necessário identificar as vulnerabilidades locais às mudanças climáticas e criar estratégias que aumentem a capacidade de adaptação (IPCC, 2001 a). A abrangência dos efeitos das mudanças climáticas e a vulnerabilidade das sociedades frente a esses impactos definem a necessidade da adoção de medidas de adaptação.

### **2.3.3. Adaptação**

Uma vez que os impactos das mudanças climáticas não poderão ser evitados, torna-se necessário e urgente proteger a sociedade das mudanças climáticas por meio do planejamento de medidas de adaptação. Adaptação refere-se aos ajustes dos sistemas

naturais ou humanos aos estímulos climáticos atuais e/ou aos efeitos das mudanças climáticas esperadas (IPCC, 2001a). O objetivo final da adaptação é diminuir a vulnerabilidade da sociedade frente às mudanças climáticas, pela redução de seus impactos negativos. A adaptação às mudanças climáticas está, portanto, associada à proteção dos recursos naturais e ao fortalecimento socioeconômico das populações, porque os aspectos ambientais, sociais e econômicos, em última análise, determinam a vulnerabilidade às mudanças climáticas de uma região e de sua população (HUQ, 2005).

O primeiro passo para o planejamento de medidas de adaptação é conhecer a vulnerabilidade local às mudanças climáticas. Algumas medidas de adaptação às mudanças climáticas podem estar relacionadas à prevenção de perdas, como as medidas de precaução, visando reduzir a intensidade do sofrimento / privação, sendo neste caso necessário o desenvolvimento de um programa de ações como, por exemplo, a proteção de ambientes costeiros ou ações para minimizar o efeito do aumento do nível do mar em algumas áreas.

Por outro lado, as medidas de adaptação podem visar a tolerância à perda, ou seja, a aceitação de algumas mudanças de curto prazo que podem minimizar as perdas, como, por exemplo, o desenvolvimento de novas cultivares agrícolas, a diversificação agrícola, visando a introdução de espécies resistentes à seca ou à inundação. Além disso, podem ser empregadas medidas de adaptação visando à mudança das atividades principais de uma região que poderão ser alteradas devido às mudanças climáticas, ou mesmo medidas de adaptação visando à restauração de um sistema danificado a sua condição original, como, por exemplo, a reconstrução de casas danificadas por enchentes.

Porém, de toda forma, as estratégias de adaptação devem ser desenvolvidas de forma integrada com a política de desenvolvimento adotada pelo setor privado e com as políticas nacionais, como as políticas de desenvolvimento econômico, prevenção e gerenciamento de desastres, planos de gerenciamento ambiental. Muitas vezes políticas que não objetivam adaptação às mudanças climáticas, acabam por ter um efeito colateral de funcionarem como uma estratégia de adaptação, por exemplo, políticas que visam à redução da pobreza ou diminuição de desigualdades sociais, podem reduzir a vulnerabilidade de um grupo da sociedade frente às mudanças climática. A promoção

do desenvolvimento sustentável reduz a vulnerabilidade dos sistemas às mudanças climáticas. Nesse sentido, ADGER *et al* (2007) ressaltam que adaptação é composta de ações ao longo da sociedade, passando por indivíduos, grupos e governos. As estratégias de adaptação podem ser motivadas por muitos fatores, inclusive a proteção de bem-estar econômico ou melhoria da segurança.

De acordo com o IPCC (2001), o planejamento de uma estratégia de adaptação pode considerar os seguintes itens:

- Adaptar-se a que? A variabilidade climática atual, a variabilidade e a mudança climática futura, ou a ambos? Estudos demonstram que caso o processo de adaptação inicie-se hoje, a capacidade dos países de adaptarem-se no futuro será maior.
- Quais são ou serão as regiões, setores, comunidades, ecossistemas mais vulneráveis à mudança climática e quanto à economia como um todo será afetada?
- Qual a capacidade de adaptação do país? O sucesso de uma estratégia de adaptação depende entre outras coisas do avanço tecnológico, acordos internacionais, políticas existentes, disponibilidade de financiamento e troca de informações.
- Quais são os objetivos de desenvolvimento do país? Desenvolvimento sustentável, conservação do meio-ambiente, redução da pobreza etc. Qualquer estratégia de adaptação deve ser desenvolvida de acordo com as estratégias de desenvolvimento do país.

Assim, destaca-se a grande urgência em se integrar a questão da adaptação no centro da formação da tomada de decisão e da política, para suportar eficazmente a adaptação à mudança climática e minimizar os riscos associados aos impactos preditos. No entanto, a adaptação à mudança climática não é suficiente, faz-se necessária a adoção de

políticas de mitigação das emissões dos GEE, para que os efeitos climáticos do aumento global de temperatura não sejam catastróficos.

#### **2.3.4. Mitigação**

Mitigação é definida como a intervenção antrópica para reduzir as fontes de gases de efeito estufa ou para realçar os seus sumidouros. A mitigação pode ser vista como um investimento, um custo incorrido agora para evitar os riscos de consequências mais severas no futuro (STERN, 2006). Se estes investimentos são feitos sabiamente, os custos serão manejáveis e haverá uma gama extensiva de oportunidades para crescimento e desenvolvimento no caminho. O quanto antes medidas de mitigação forem adotadas, maiores serão as facilidades de adaptação no futuro, porém a adaptação é a única resposta disponível para os impactos que ocorrerão nas próximas décadas e antes que as medidas de mitigação possam ter efeito (STERN, 2006).

A eficiência das medidas de mitigação varia de acordo com a localidade; as tecnologias disponíveis; os instrumentos de políticas implantados (certificados de carbono, taxas, subsídios para tecnologias limpas, normas, acordos voluntários); as políticas nacionais e setoriais existentes e as ações coordenadas entre países (ASHTON& WANG, 2003).

As medidas de mitigação que estão diretamente relacionadas ao uso de combustíveis fósseis incluem a melhoria na eficiência de equipamentos de uso final e de tecnologias de conversão de energia, uso de tecnologias de baixa emissão de carbono, melhorias no gerenciamento energético, redução das emissões de gases na forma de sub-produtos e gases de processo, remoção e estocagem de carbono de processo e uso de recursos renováveis em substituição (parcial ou total) aos combustíveis fósseis. Os sistemas de suprimento de energia de baixa intensidade de emissão de carbono podem ter uma importante contribuição através da biomassa de florestas e de sub-produtos agrícolas, lixo industrial e municipal para energia, cultivo dedicado de biomassa onde houver terra e água adequadas disponíveis, metano de aterros sanitários, energia eólica e hídrica, e através do uso ou da extensão da vida útil de usinas nucleares.

Quanto às medidas de mitigação que visam realçar os sumidouros de carbono, essas estão associadas ao sequestro de carbono nos oceanos e nos ecossistemas terrestres. Uma vez na atmosfera o CO<sub>2</sub> pode ser incorporado aos ecossistemas terrestres pela fotossíntese e aos oceanos, pela fotossíntese e pela dissolução na forma de carbonatos. Os oceanos mantêm o carbono dissolvido na água permitindo que os lentos processos de sedimentação operem, retornando o carbono ao seu reservatório fóssil (WIGLEY & SCHIMMEL, 2000). Pode ainda ocorrer a injeção (artificial) de CO<sub>2</sub> nos sedimentos profundos dos oceanos, mas atualmente essas tecnologias ainda não estão totalmente viáveis, tanto econômica quanto ambientalmente (DOE, 1999).

O potencial de sequestro de carbono dos ecossistemas terrestres depende do tipo e condição de cada bioma, dependendo da composição das espécies vegetais, estrutura e idade, além das condições locais, como solo e clima, distúrbios naturais e manejo (CAMPOS, 2001). Os diferentes usos do solo possibilitam a redução de emissão de carbono, seja pela produção de biomassa/ resíduos que podem substituir combustíveis fósseis, seja pelo emprego de técnicas de manejo que permitem a redução de emissão de carbono do solo (plantio direto, recuperação de pastagens) ou mesmo pela manutenção de florestas em “pé”, que mantêm o estoque de carbono nos reservatórios do sistema florestal (desmatamento evitado) ou pelo florestamento e reflorestamento<sup>39</sup> (aumento dos estoques de carbono).

Os Cenários de mitigação exploram a viabilidade e o custo de se alcançar um nível de emissões de GEE, em comparação a um cenário de referência (linha de base). São cenários de mitigação, pois incluem políticas e medidas diretamente relacionadas à mitigação de GEE, visando, geralmente, à estabilização de concentração de GEE em determinado nível<sup>40</sup>. Esses cenários permitem a avaliação dos aspectos científicos, técnicos, ambientais, econômicos e sociais da mitigação da mudança do clima, levando em conta as mudanças políticas voltadas à mitigação das mudanças climáticas, como o

---

<sup>39</sup> Para a Convenção, florestamento é entendido como o plantio (ou semeadura) de espécies florestais em áreas sem florestas a no mínimo 50 anos e reflorestamento é o plantio de espécies florestais em área sem florestas no início do ano de 1990.

<sup>40</sup> Alguns cenários de mitigação são elaborados para estabilizar o nível de forçamento radiativo, ou de temperatura média da superfície, por exemplo. Porém, como o objetivo da Convenção é de estabilizar os níveis concentração de carbono na atmosfera em patamar que impeça as interferências antrópicas perigosas ao sistema climático, em geral os cenários de mitigação são elaborados para estabilizar a concentração de GEE (CO<sub>2</sub> eq.).



Protocolo de Quioto e outras políticas e instrumentos voltadas a mitigação da mudança climática.

No Terceiro Relatório de Avaliação – TAR do IPCC (IPCC, 2001a) foram apresentados os cenários de mitigação para diferentes alternativas de trajetórias de desenvolvimento exploradas nos cenários SRES. Os cenários de mitigação do IPCC (2001a) variam entre si, principalmente, em relação à estabilização de concentração GEE na atmosfera até o ano de 2100. Eles estão divididos em subgrupos de cenários que expressam um determinado nível de concentração de GEE na atmosfera, expressos em termos da concentração de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>) que variam entre 450, 550, 650 e 750 ppmv. Estes cenários não são exploratórios, mas sim normativos e fixam um nível de GEE que se deseja alcançar no futuro.

Os cenários de mitigação indicam que não existe somente uma maneira de se atingir um futuro de baixas emissões e cada país terá que escolher seu próprio caminho. Os resultados da maioria dos modelos utilizados indicam que com as opções tecnológicas conhecidas pode-se atingir um amplo espectro de níveis de estabilização de dióxido de carbono atmosférico, tais como 550 ppmv, 450 ppmv ou abaixo desses níveis nos próximos 100 anos ou mais, mas a implementação exigirá mudanças institucionais e sócio-econômicas associadas. Para se atingir a estabilização nesses níveis, os cenários do IPCC sugerem que será necessária uma redução bastante significativa das emissões mundiais de carbono por unidade de Produto Interno Bruto (PIB) em relação aos valores de 1990.

Por último vale ressaltar que os modelos climáticos globais utilizados nos cenários de mitigação mostram que os mecanismo de flexibilização do Protocolo de Quioto são importantes para reduzir o custo de mitigação em certos países desenvolvidos, tendo, portanto, uma função de complementar as políticas domésticas de mitigação desses países. Os custos marginais nacionais para atender os objetivos do Protocolo de Quioto variam entre US\$ 20/tC e US\$ 600/tC, sem considerar o comercio de emissões entre os países desenvolvidos e ficam entre US\$ 15/tC e US\$ 150/tC com troca de emissões entre os países do Anexo I e países em desenvolvimento (IPCC, 2001a).

### **2.3.5 Sinergia de Estratégias de Mitigação e Adaptação**

Como comentado há, basicamente, duas estratégias para lidar com a mudança climática: mitigação da mudança climática, pela redução das emissões de GEE ou pelo aumento dos estoques de carbono, e adaptação aos impactos das mudanças climáticas. No entanto, durante mais de uma década, a política climática foi focada na mitigação de GEE, voltada principalmente à questão energética, com pouca atenção dada ao aumento de reservatórios de carbono (ecossistemas terrestre e oceanos) ou à adaptação à mudança climática. A adaptação para mudança de clima e o aumento de sumidouros de carbono eram quase que politicamente incorretos, porque insinuavam que não era importante cortar as emissões. A lógica era de se atacar a causa do problema, as reduções de emissões de GEE são necessárias, a queima de combustíveis fósseis é o principal responsável e deve ser reduzido.

Porém, a política climática até então adotada não foi suficiente para controlar as mudanças climáticas e limitar seus impactos, mesmo que as emissões de GEE fossem reduzidas ao nível ótimo para não prejudicar o sistema climático, devido ao tempo de residência desses gases na atmosfera, os impactos são inevitáveis. TOL (2005), destaca que para impedir que a concentração de gás carbônico dobre da concentração pré-industrial de 275 ppm, seria necessário um corte de mais de dois terços de emissões de CO<sub>2</sub>, assumindo uma população de 9 bilhões antes de 2050. Além disso, os EUA, responsáveis por mais de 25% das emissões globais de carbono, não ratificaram o Protocolo de Quioto e, portanto, não se comprometeram em reduzir suas emissões de GEE. As evidências mostravam que ignorar a mudança do clima poderá danificar o crescimento econômico. A adaptação era a única resposta disponível para os impactos que ocorrerão nas próximas décadas e será percebida antes que as medidas de mitigação possam ter efeito (STERN, 2006).

Os desafios da mitigação e adaptação são muito diferentes, pois a mitigação ataca a causa da mudança climática e a adaptação os efeitos; a mitigação é focalizada nos emissores de GEE e a adaptação é focalizada nos impactos e na sensibilidade setorial ou local; a mitigação tem um efeito global, sobre um bem público global, a atmosfera, enquanto a adaptação tem um efeito local; os benefícios da mitigação são demorados,

distinto de alguns benefícios da adaptação que podem ser imediatos (WILBANKS, 2005). Além disso, ORLOVE (2005) ressalta que a adaptação às alterações climáticas já é um conhecimento consolidado para as sociedades que vivem em ambientes alterados por natureza, podem ser chamado de conhecimento prático e neste caso os riscos e perdas associados às medidas de adaptação tenderiam a ser menores quando comparados às medidas de mitigação.

Por outro lado, as medidas de adaptação e mitigação podem mostrar importante relacionamento entre elas, incluindo possíveis interações e complementaridades (ORLOVE, 2005). De fato, desde 2002, uma aproximação complementar entre adaptação e mitigação ganhou suporte, com o conhecimento de que adaptação e mitigação não são alternativas, mas dois lados de uma mesma moeda, daí surgindo interessantes sinergias entre os conceitos (MAROUN, 2006).

A sinergia ou integração entre estratégias de adaptação e mitigação às mudanças climática são criadas quando a adoção de medidas de redução das emissões de GEE ou o aumento de sumidouros também reduzem os efeitos adversos da mudança climática, ou vice-versa. Essa sinergia pode oferecer benefícios econômicos e sociais tangíveis, ou podem derivar das políticas e programa visando o desenvolvimento. Por exemplo, os efeitos da mudança climática à saúde humana são predominantemente negativos e impactam mais seriamente os países de baixa renda, onde a capacidade de adaptação é a mais fraca. Neste caso, a redução do uso de combustíveis fósseis em grandes centros urbanos, promove uma redução de emissões de GEE, ao tempo que contribui para o decréscimo da poluição local do ar e, conseqüentemente, das doenças respiratórias da população que vive nos grandes centros urbanos. Outro exemplo ilustrativo são as práticas agrícolas que promovem a conservação do solo e da água, como o cultivo mínimo e o plantio direto. Essas práticas reduzem as emissões de GEE tanto do solo - redução da emissão do carbono orgânico (matéria orgânica) - quanto em relação ao menor uso de mecanização (combustível fósseis) e fertilizantes (emissão de  $N_2O$ ) Por outro lado, estas técnicas aumentam a resiliência desses sistemas às mudanças climáticas e tendem a aumentar a produtividade agrícola, podendo, em algumas regiões, contribuir para a segurança alimentar, dimuniundo a vulnerabilidade de determinada população rural.

As estratégias de adaptação podem ser baseadas na vulnerabilidade e integradas às estratégias de desenvolvimento do país, as quais derivam das necessidades da realidade local ou setorial (WILBANKS, 2005). Para os países em desenvolvimento, como o Brasil, as medidas de adaptação podem ser extensões das boas práticas de desenvolvimento. Dessa forma, os recursos gastos em aumentar a capacidade de adaptação não serão desperdiçados se os impactos reais da mudança do clima forem diferentes dos impactos projetados e, além disso, as comunidades e os governos aumentam sua capacidade de lidar com os impactos relacionados a variabilidade climática atual, se preparando para as mudanças climáticas futuras.

O fato de não “desperdiçar” recursos é particularmente importante para os países em desenvolvimento. Nesses países os recursos são escassos e existem questões prioritárias e mais imediatas que as mudanças climáticas, como a redução da pobreza, a segurança alimentar, a saúde, o gerenciamento dos recursos naturais, o acesso à energia, a má distribuição de renda e a fome (ADGER *et al.*, 2003). Por outro lado, os padrões de desenvolvimento socioeconômicos e ambientais determinam a vulnerabilidade dessas sociedades às mudanças climáticas (DAVIDSON *et al.*, 2003). O Fundo de Adaptação criado pelo Acordo de Marraqueche reflete essa temática, cujo propósito é ajudar nações em desenvolvimento a se adaptarem aos efeitos adversos da mudança climática. Nesse sentido, a sinergia entre as estratégias de mitigação e adaptação vem ao encontro do desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável por si só traz a diversificação, a flexibilidade e o capital humano que são componentes cruciais da adaptação (TOMPKINS & ADGER, 2005). Falar em adaptação de comunidades vulneráveis às mudanças climáticas é, portanto, retornar a temática de redução de pobreza e empoderamento (*empowerment*) dessas comunidades.

No Brasil, a produção de biomassa energética<sup>41</sup> pode envolver as comunidades agrícolas, especialmente, as mais enfraquecidas pelos processos de desenvolvimento vigentes e, ao mesmo tempo, permitir a inclusão social dessa população rural, reduzindo sua vulnerabilidade aos impactos de mudança climática. Cabe ressaltar novamente que

---

<sup>41</sup> A biomassa energética aqui referida é de origem vegetal, como as árvores, plantas e resíduos agrícolas, que através da combustão direta ou através da queima dos combustíveis derivadas da biomassa (etanol, metanol, biogás, óleos) geram energia.

em comparação aos outros setores da economia, o setor agrícola é uma atividade extremamente vulnerável à mudança climática, uma vez que o clima é o fator mais importante na determinação da sustentabilidade de sistemas de produção agrícolas. As comunidades que dependem dos recursos naturais para sua sobrevivência estão entre as mais duramente afetadas pelas mudanças climáticas. Além disso, quando as plantações de biomassa para fins energéticos são bem localizadas, planejadas e manejadas, podem gerar serviços ambientais adicionais, como a redução de nutriente lixiviado pela erosão, o acúmulo de carbono no solo, conduzir à melhora de fertilidade de terra e contribuir para o fomento da diversificação de cultivos adaptados as condições climáticas atuais e futuras.

A mudança climática renovou a urgência em promover as opções viáveis de biomassa energética e de políticas do uso da terra sustentável (BEG *et al.*, 2002). Existe uma tendência emergente para o aproveitamento dos produtos agrícolas como substitutos de combustíveis fósseis. Nesse sentido, o biodiesel é derivado da biomassa energética, sendo uma fonte de energia renovável<sup>42</sup> com grande potencial para contribuir na transição para uma nova matriz energética e, paulatinamente contribuir para redução do uso de petróleo, reduzindo as emissões de GEE. Do ponto de vista social, a produção de biomassa energética pode ampliar as oportunidades de emprego e renda e a distribuição mais equitativa entre os atores, pois permite a interiorização e a regionalização do desenvolvimento, fundado na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor da produção agrícola. Além disso, particularmente na região Nordeste do Brasil, onde a viabilidade de diversificação de cultivos agrícolas é escassa, o mercado emergente de biodiesel, pode auxiliar no desenvolvimento do setor agrícola local.

No capítulo seguinte serão apresentadas as principais projeções das mudanças climáticas no Brasil, com enfoque especial sobre o Nordeste, que, como será apresentado, é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas no Brasil. Em seguida serão expostos alguns aspectos técnicos referente ao biodiesel e apresentado o Programa Nacional de Produção e Uso de biodiesel.

---

<sup>42</sup> A energia renovável é aquela que é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar rapidamente. Teoricamente a emissão de carbono pelo uso de fonte de energia oriundas da biomassa energética vegetal é nula, uma vez que o conteúdo de carbono absorvido durante o crescimento da biomassa (fotossíntese) será emitido pelo uso dessas fontes de energia e voltaram a ser assimilados posteriormente com o novo crescimento das plantas.

## Capítulo 3 - Mudanças Climáticas no Brasil e Perspectiva de Integração de Estratégias de Adaptação e de Mitigação à Política de Promoção do Uso de Biodiesel

### 3.1. As Mudanças Climáticas no Brasil, com Ênfase no Nordeste

#### 3.1.1 Aspectos Gerais do Clima Presente

No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75°C durante o Século XX, sendo o ano de 1998 registrado como o mais quente da época, com um aumento correspondente de 0,95°C em relação à temperatura média anual de 1961-90 de 24,9°C (MARENGO, 2007). O aumento da temperatura média brasileira está na mesma faixa observada para outras regiões do mundo, da ordem de 0,6°C para o século XX, sendo 1998 o ano em que a temperatura média do ar em nível global foi, também, mais alta, desde início do período de observação em 1861 (IPCC, 2001a).

SALATI *et al.* (2007) verificaram as possíveis variações climáticas ocorridas no território nacional durante o período de 1961 a 2004. Os estudos foram feitos analisando as diferenças médias no período de 1991 a 2004 em referência ao período de 1961 a 1990. Foram analisados os dados de temperaturas máximas, médias e mínimas e precipitações anuais. Os resultados estão sintetizados na Tabela 1.

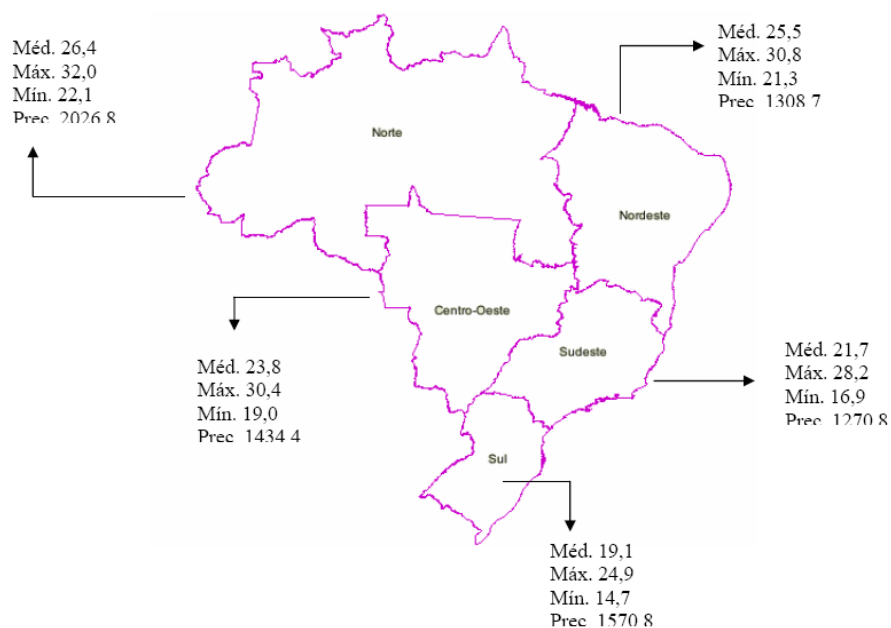
**Tabela 1** -Valores obtidos entre as diferenças das médias de temperatura (média, máxima e mínima) (°C) e da precipitação (mm) entre os períodos de 1991 a 2004 e 1961 a 1990, para as Regiões brasileiras

Regiões	Diferença das médias entre os períodos de 1991 a 2004 em relação 1961 a 1990 (°C)			
	Média	Máxima	Mínima	Precipitação
Norte	0,70	0,52	1,60	57,2
Nordeste	0,50	0,50	0,52	-153,30
Centro-oeste	0,70	0,75	0,43	-5,52
Sudeste	0,10	0,43	0,40	57,50
Sul	0,30	0,25	0,38	264,37

Fonte: Adaptados de SALATI *et al.* (2007)

A análise dos dados de temperatura do período de 1991 a 2004 indica um aumento de temperatura para todas as regiões brasileiras, quando comparado com os dados do período de 1961 a 1990, (Tabela 1). Na região Nordeste a temperatura média apresentou um aumento de 0,5°C entre os períodos estudados. O aumento das temperaturas observadas no Brasil pode ser decorrente das variações climáticas naturais, do aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera e da variação da cobertura vegetal e do uso do solo (SALATI *et al.*, 2007).

Quanto às precipitações, existe uma grande variabilidade entre as regiões brasileiras, sendo que o maior aumento observado foi na região Sul (17,8%) e a maior diminuição na região Nordeste com 11,6% (SALATI *et al.*, 2007). Entretanto, segundo os autores, em relação às precipitações pluviométricas, não há indicação clara de mudanças no Brasil. Na Região Sul, o observado aumento das chuvas nos períodos comparados na Tabela 1 é consistente com tendências similares em outros países do sudeste da América do Sul e, na Região Sudeste, o total anual de precipitação parece não ter sofrido modificação perceptível nos últimos 50 anos (MARENGO, 2007). Para a região Nordeste e a Amazônia observam-se, também, variações interdecadais, com períodos de aproximadamente 25-30 anos, alternando épocas mais ou menos chuvosas, que podem ser explicadas pela variabilidade natural do clima na forma de variações decadais no Oceano Pacífico e do Atlântico tropical (MARENGO, 2007). Em síntese, em relação à precipitação, o que se observa é a variabilidade climática nas escalas interanual e interdecadais de períodos relativamente mais secos ou chuvosos no Brasil, na Amazônia e Nordeste (NOBRE, 1991). As médias de temperaturas (médias, máximas e mínimas) e precipitações registradas no período de 1961 a 2004 para as regiões brasileiras estão apresentadas na Figura 4, a seguir



**Fonte: SALATI *et al.* (2007)**

**Figura 4** - Valores médios das temperaturas (°C) (média, máxima e mínima) e precipitação (mm) para as regiões brasileiras no período de 1961 a 2004.

Particularmente a região Nordeste apresenta temperaturas elevadas, cujas médias anuais variam de 20° a 28°C. Nas áreas situadas acima de 200 metros e no litoral oriental, as temperaturas médias anuais variam de 24° a 26°C (CARVALHO & EGLER, 2003). O Nordeste tem também um número elevado de horas de sol por ano (estimado em cerca de 3.000) e índices acentuados de evapotranspiração, em torno de 2.000mm/ano, devido à incidência perpendicular dos raios solares sobre a superfície do solo (CAMPOS, 1997).

A distribuição da pluviosidade da Região Nordeste é muito complexa, não só em relação ao período de ocorrência (três meses, podendo às vezes nem existir), como em seu total anual, que varia de 300 a 2.000mm dependendo da sub-região Nordestina. No litoral, a pluviosidade anual supera 1.000mm, chegando a 2.000mm em alguns casos, enquanto no semi-árido, está em torno de 800 milímetros, podendo atingir 300 mm ou menos (CAMPOS, 1997). É conhecido que as chuvas do semi-árido da região Nordeste apresentam enorme variabilidade espacial e temporal, com alternância de anos de secas



e chuvas abundantes. Na seção 4.2, serão comentados maiores detalhes sobre o clima semi-árido.

No Brasil, as regiões que apresentam sinais mais consistentes entre a variabilidade climática e o El Niño e El Niña são as regiões Nordeste, a Amazônia e o sul do Brasil. O El Niño é o aquecimento acima do normal das águas oceânicas (Temperatura da Superfície do Mar -TSM) do Oceano Pacífico Tropical central e do leste. O fenômeno La Niña, ou episódio frio do Oceano Pacífico, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental, praticamente o oposto do El Niño. Esses processos agem na atmosfera que, por sua vez, age mecanicamente sobre os oceanos tropicais, redistribuindo as anomalias da TSM através de fluxo de calor (evaporação, convecção, formação de nuvens), que age novamente na atmosfera e provocam modificações no campo de vento em baixos níveis (ventos alísios<sup>43</sup>), gerando instabilidade no sistema acoplado oceano-atmosfera (FREITAS, 1999). Além de índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, esses fenômenos podem ser também quantificados pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). De acordo OLIVEIRA (2001), este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália), estando relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, como consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores positivos e negativos da IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente. Esse efeito é conhecido como fase quente/fase fria do El Niño/La Niña Oscilação Sul (ENOS), sendo que o El Niño/La Niña é a componente oceânica e a Oscilação Sul é a componente atmosférica.

O ENOS provoca modificações na circulação geral da atmosfera, isto é, na célula de Walker<sup>44</sup>, que desencadeiam adversidades climáticas em várias partes do mundo. O El Niño é cíclico, mas não possui um período regular, dura em média de 12 a 18 meses e ocorre em intervalos de 2 a 7 anos, com diferentes intensidades, enquanto o La Niña

---

<sup>43</sup> Ventos alísios - ventos próximos à superfície que sopram de leste para oeste na região equatorial. Normalmente, os ventos alísios sopram para sudoeste (no hemisfério sul), levando a água da superfície do mar aquecida na região do equador para a costa da Indonésia e da Austrália.

<sup>44</sup> Célula de circulação de Walker - padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial no sentido leste-oeste. É a circulação do ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e Oeste e que vai para o leste em altos níveis da atmosfera e desce no Pacífico Leste, em conjunto com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera.

possui maior variabilidade, ocorrendo com menor frequência do que os do El Niño. No período de 1900 a 1997 ocorreram 28 eventos de El Niño e 18 de El Niña (OLIVEIRA, 2001). No Nordeste, o El Niño causa a predominância de um ramo de ar descendente que inibe a formação de nuvens e este efeito está associado com chuvas abaixo do normal na região semi-árida, o efeito contrário do La Niña, está relacionado a chuvas acima da média sobre a região semi-árida do Nordeste (FREITAS, 1999). O El Niño é, historicamente, associado à seca no Nordeste. A Tabela 2 apresenta os anos de seca no Nordeste Brasileiro, coincidentes com anos de El Niño, durante os últimos 4 séculos até 1998.

**Tabela 2** - Anos de seca no Nordeste Brasileiro, coincidentes com anos de El Niño, durante os últimos 4 Séculos

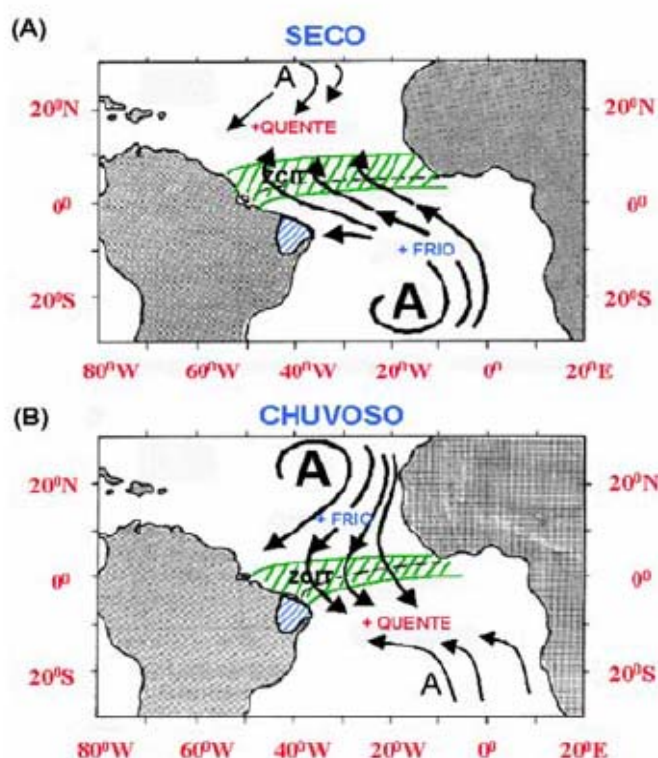
Séculos			
XVII	XVIII	XIX	XX
1603	1711	1804	1900
1614	1721	1809	1902
1692	1723-24	1810	1907
	1736-37	1816-17	1915
	1744-46	1824-25	1919
	1754	1827	1932-33
	1760	1830-33	1936
	1772	1845	1941-44
	1776-77	1877-79	1951
	1784	1888-89	1953
	1790-94		1953
			1958
			1970
			1979-80
			1981
			1982-83
			1986-87
			1991-92
			1997-98

**Fonte: MARENGO (2007)**

Quanto à variabilidade climática em escala interanual, as distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e o Atlântico Tropical afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)<sup>45</sup> sobre o

<sup>45</sup> A ZCIT é uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo, formada pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul (a confluência de ventos faz com que o ar quente e úmido ascenda, carregando umidade do oceano para os altos níveis da atmosfera resultando em nuvens). A ZCIT é

Atlântico, influenciando a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul (MARENGO, 2007). De acordo com NOBRE & UVO (1989), a ZCIT é um dos sistemas meteorológicos mais importantes que atuam nos trópicos, ela é parte integrante da circulação geral da atmosfera e a permanência mais longa ou curta da ZCIT em torno de suas posições mais ao sul é o fator mais importante na determinação da qualidade da estação chuvosa no Nordeste. A Figura 5 ilustra a relação entre a posição do ZCIT e a ocorrência de secas ou chuvas no Nordeste Brasileiro.



\*Área em verde representa a posição da ZCIT

Fonte: MARENGO (2007)

**Figura 5** Padrões de circulação atmosférica e de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Norte e Sul durante anos secos (a) e chuvosos (b) no Nordeste.

A variabilidade do padrão espacial predominante do ciclo anual e interanual das TSM e ventos à superfície (ventos alísios), mostra uma estrutura predominantemente norte-sul das anomalias de TSM sobre o Atlântico, conhecido como dipolo do Atlântico Tropical

---

mais significativa sobre os oceanos e por isso, a Temperatura da Superfície do Mar-TSM é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade.

(MARENGO, 2007). Em anos e períodos secos no Nordeste, a ZCIT permanece em suas posições mais ao sul de meados de fevereiro até março e, em anos chuvosos, até maio (NOBRE & UVO, 1989). Assim, os anos de seca no Norte do Nordeste estão associados à ZCIT, quando esta não atravessa o Equador, em sua migração para o sul, induzindo chuvas sobre o continente durante período de tempo relativamente curto. Sua migração para o Norte é iniciada já em abril. Nessas circunstâncias, o Nordeste brasileiro fica ao Sul da região de alta pluviosidade e na região de movimento predominantemente descendente, inibidor das precipitações pluviométricas. (NOBRE, *et al.*, 1993). De acordo com MARENGO (2007), essas modificações são devidas à formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM que provocam confluência dos ventos alísios, no sentido norte para sul sobre o Atlântico. O deslocamento do ZCIT mais para o norte acarreta diminuição da precipitação e mais para o sul, totais pluviométricos acima da média, sobre a parte norte do Nordeste (Figura 5).

### **3.1.2. Aspectos Gerais das Projeções Climáticas Futuras**

Na maioria das vezes, o planejamento de estratégias de adaptação às Mudanças Climáticas depende do desenvolvimento de uma capacidade de previsão de detalhes espaciais e temporais da mudança do clima em nível regional. O Brasil tem uma posição privilegiada dentre os países em desenvolvimento, notadamente como resultado dos investimentos feitos no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Embora esses estudos ainda se encontrem em estágio inicial e as incertezas referentes às projeções das mudanças climáticas em nível global e regional ainda são importantes, a obtenção e avaliação das projeções das mudanças climáticas em nível regional já permitem identificar a vulnerabilidade às mudanças climáticas globais de alguns setores da sociedade, da economia e do ambiente. De acordo com NOBRE (2005), o avanço do conhecimento científico sobre o funcionamento do complexo sistema climático levará, talvez em menos de 10 anos, à diminuição das incertezas nas projeções das alterações das mudanças climáticas em escala regional.

Recentemente, o INPE/CPTEC, lançou relatórios divulgando os estudos das projeções futuras das mudanças de clima para o Brasil, até os finais do século XXI. Baseado em

cenários regionais de mudanças climáticas desenvolvidas pelo CPTEC/INPE através de técnicas de “*downscaling*” (regionalização)<sup>46</sup> dos modelos climáticos globais do IPCC TAR do IPCC (2001a)<sup>47</sup>, foram desenvolvidos projeções futuras das mudanças climáticas para várias regiões e setores brasileiros até o ano de 2100. Essas projeções consideram a variabilidade temporal de temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos, embasadas a partir dos dados observacionais durante o Século XX.

As projeções futuras da mudança de clima no Brasil consideram os cenários extremos de altas emissões (A2) e de baixas emissões (B2) que foram usadas para o IPCC TAR. Para as análises de extremos de clima foram também considerados os modelos globais do IPCC AR4<sup>48</sup> do IPCC. Neste último caso foram considerados somente índices anuais de eventos extremos, como por exemplo, dias secos consecutivos, número de dias com precipitação maior que 10 mm, precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva, entre outros (MARENGO *et al.*, 2007)

Para o Brasil, todas as projeções a partir dos modelos climáticos globais apresentam aumento da temperatura (aquecimento), entretanto as taxas de aquecimento variam entre os modelos. Por exemplo, na Amazônia, o modelo HAdCM3 (do *Hadley Centre*) projeta para o cenário A2 um aquecimento que chega a 8°C em 2100, ao passo que para o mesmo cenário, o aquecimento chega a 3°C no modelo GFDL (do *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*, EUA). A Tabela 3 apresenta as taxas médias de aquecimento em 2100, a partir dos modelos do IPCC TAR para as várias regiões do país.

---

<sup>46</sup> Explicações mais detalhadas sobre a técnica de regionalização fogem ao escopo dessa tese, mas podem ser encontradas em AMBRIZZI *et al.* (2007). De maneira simplificada, a técnica mais aceita de regionalização permite traduzir a relativamente baixa resolução espacial dos modelos climáticos globais para escalas mais refinadas, usando modelos climáticos regionais de mais alta resolução sobre a área de interesse e tendo como condições de fronteira (ou de contorno) do domínio geográfico do mesmo, dados provenientes do modelo climático global do HadCM3-Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra (AMBRIZZI, *et al.*, 2007).

<sup>47</sup> HadCM3- Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra; CSIRO-Mk2 - Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, da Austrália; CCCMA- Canadian Center for Climate Modeling and Analysis, do Canadá; GFDL-CM2- National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA-Geophysical e Fluids Dynamic Laboratory, dos Estados Unidos ; CCSR/NIES - Center for Climate Studies and Research CCSR/National Institute for Environmental Studies NIES, do Japão.

<sup>48</sup> Foram utilizados 8 modelos globais do IPCC AR4 (GFDL-CM2; GFDL-CM2.1; CCSM3; PCM; MIROC3.2; MIROC3.2 –medres; INM-CM3.0, cujas informações fogem ao escopo dessa tese, mas podem ser encontradas em MARENGO *et al.* (2007).

**Tabela 3** - Aumento de temperatura do ar (°C) representado pela média dos modelos climáticos globais do IPCC TAR, para dois cenários de emissões A2-pessimista e B2-otimista, nas diversas regiões do Brasil, em 2100

Região	Cenário A2	Cenário B2
Amazônia	+5,3	+3,0
Nordeste	+4,0	+2,0
Pantanal	+4,6	+3,4
Sul – Bacia do Prata	+3,5	+2,3

**Fonte: AMBRIZZI *et al.*, 2007**

Como pode ser confirmada na Tabela 2, em relação à temperatura do ar, a média de todos os modelos globais, apresenta maior aquecimento no futuro, em todas as regiões do País, mas, especialmente, na Amazônia no cenário A2. No Nordeste, os resultados das projeções futuras de aumento da temperatura para o período 2071-2100 variaram de 2 a 4°C, respectivamente para o cenário de altas emissões A2 (pessimista) e para o cenário de baixas emissões B2 (otimista), conforme apresentado na Tabela 3.

As projeções derivadas dos modelos regionais podem apresentar um viés associado ao fato de que as simulações do modelo climático global do Hadley Centre (HadCM3) foram utilizadas como condição de contorno para a integração com os modelos regionais. Este modelo climático global é aquele que projeta climas mais secos e quentes para a Amazônia e Nordeste, em comparação com maioria dos demais modelos do IPCC-TAR (AMBRIZZI, *et al.* 2007). Entretanto, de acordo com os mesmos autores, as projeções em relação ao aumento da temperatura apresentam alta consistência entre os modelos, resultado em alto grau de confiabilidade, principalmente para o Nordeste. Em relação à precipitação, o Nordeste é a região que apresenta maior confiança nas projeções de clima futuro. Para 2071-2100, existe média a alta confiança, que a estação chuvosa nesta região poderá apresentar chuvas mais fracas no futuro, especialmente durante o outono, que é o pico da estação chuvosa no Norte e Nordeste (MARENGO, 2007).

Também MARENGO (2007) conclui que apesar das diferenças entre os resultados apontados entre os modelos globais e regionais utilizados, para o Nordeste, no cenário climático pessimista (A2), as temperaturas aumentariam de 2°C a 4°C e as chuvas

seriam reduzidas entre 15-20%. No cenário otimista (B2), de acordo com o mesmo autor, o aquecimento seria entre 1°C a 3°C e as chuvas ficariam entre 10-15% menores que no presente, ambas as projeções até o final do século XXI.

Em geral, as mudanças na temperatura do ar são mais intensas que as anomalias de chuva, entretanto, a região Nordeste caracteriza-se naturalmente como de alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas, como será comentado com maiores detalhes no Capítulo 4. Aumentos de temperatura, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas. A menos que haja um aumento das chuvas, a água poderá se tornar um bem mais escasso nessa região, com sérias conseqüências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional (MARENGO *et al.*, 2007).

Quanto aos balanços hídricos<sup>49</sup> do Nordeste, SALATI *et al.*, 2007, mostram que o período chuvoso e de recarga de umidade do solo é entre fevereiro e abril e depois o período é de retirada e deficiência de água durante a estação seca, que vai de julho até antes da pré-estação chuvosa em janeiro. Para o futuro (2071-2100), o modelo HadCM3 indica que, para o cenário A2, o excesso de água no solo seria nulo em todos os meses do ano, sugerindo que o semi-árido Nordestino ficaria árido<sup>50</sup> até finais do Século XXI (SALATI *et al.*, 2007). O balanço hídrico realizado com as médias dos valores dos modelos HadCM3, GFDL, CCCMa, CSIRO e NIES é menos extremo do que o HadCM3, sugerindo que a estação chuvosa seria mais fraca e os déficits de umidade no solo seriam apenas maiores no futuro, mas compatíveis com a semi-aridez do presente (SALATI *et al.*, 2007).

Em relação aos eventos climáticos extremos, a maior consistência encontrada para o Nordeste, a partir dos modelos globais AR4, foi ao aumento na frequência de dias secos

---

<sup>49</sup> A metodologia utilizada para o balanço hídrico será explicada no capítulo 4. De maneira bem simplificada trata-se do balanço da água no solo disponível para as plantas, dividido em períodos de excedentes, retirada, reposição e deficiência da água no solo.

<sup>50</sup> Árido seria a situação na qual o déficit hídrico que atualmente apresenta-se no semi-árido durante 6-7 meses do ano seja estendido para todo o ano, em conseqüência de um aumento na temperatura e redução das chuvas (SALATI *et al.*, 2007).

consecutivos e o aumento da tendência de ocorrência de veranicos<sup>51</sup>, que fica mais intenso no cenário pessimista A2 (MARENGO *et al.*, 2007). Também é projetado, com menor confiabilidade, o aumento de chuvas torrenciais e das chuvas concentradas em curto espaço de tempo no semi-árido nordestino (MARENGO *et al.*, 2007). As mudanças nos padrões de precipitação e dos eventos extremos podem ter fortes impactos no meio ambiente e na sociedade, ainda maiores do que as tendências na precipitação acumulada ou na temperatura média a nível anual ou sazonal (AMBROZZI *et al.*, 2007).

As projeções das mudanças climáticas mostram poucas evidências de mudanças na amplitude do fenômeno ENOS para os próximos 100 anos, principalmente derivadas das incertezas dos modelos climáticos globais que ainda não conseguem simular corretamente o fenômeno ENOS nem para o clima do presente (MARENGO *et al.*, 2007). Entretanto, os mesmos autores comentam que o aumento na concentração de GEE resulta num aumento da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) globalmente, e alguns modelos climáticos globais sugerem que isso possa resultar no aquecimento do Pacífico Tropical similar ao de um típico El Niño. Assim, existe a possibilidade de uma intensificação dos extremos de secas que ocorrem na região do semi-árido em anos de El Niño, devido ao aumento da temperatura projetada para o futuro. Também, de modo geral, o modelo HadCM3 indica uma variabilidade interanual grande e simula eventos El Niño mais intensos.

No Atlântico tropical o modelo HadCM3 mostra, também, a ZCIT mais ao norte e mais próximo ao Equador no Pacífico tropical do leste, posição consistente com secas no Nordeste (MARENGO, 2007). Além disso, o autor comenta que há possibilidades de uma intensificação dos extremos de secas e enchentes que ocorrem durante eventos quentes do El Niño, devido ao efeito do aumento nas TSM projetado em nível global, que sugere um padrão de aquecimento que pode ser similar ao de um típico El Niño.

Nos setores de saúde, recursos hídricos e energia, zonas costeiras e desenvolvimento sustentável do semi-árido, as análises dos impactos e da vulnerabilidade ainda são insuficientes, o que aponta para uma premente necessidade de desenvolver estudos para

---

<sup>51</sup> Períodos sem chuva durante a estação chuvosa.

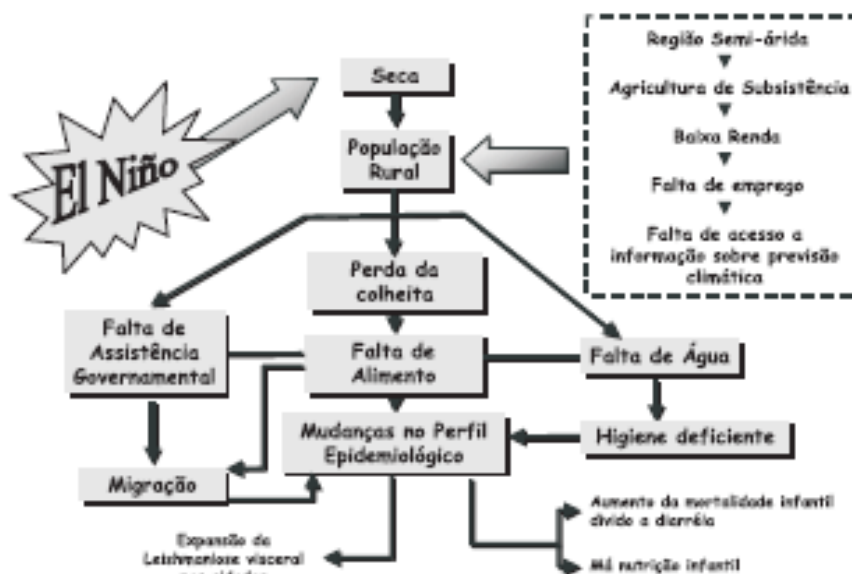


esses setores. É fato que a população mais pobre é a que sofrerá mais e a região mais afetada seria um quadrilátero no Nordeste, que compreende desde o oeste do Piauí, o sul do Ceará, o norte da Bahia até o oeste de Pernambuco, onde estão as cidades com menor desenvolvimento humano, ou seja, grande parte do semi-árido Nordestino (MARENGO *et al.*, 2007).

Da mesma forma faz-se necessário o entendimento de como os ecossistemas naturais respondem e se adaptam a esta mesma variabilidade climática e às mudanças climáticas (NOBRE *et al.*, 2007). O conhecimento sobre impactos setoriais avançou um pouco sobre a vulnerabilidade da mega diversidade biológica e de alguns agro-ecossistemas (milho, trigo, soja e café) às mudanças climáticas, com indicações iniciais de significativa vulnerabilidade no Brasil (NOBRE *et al.*, 2007, MARENGO, 2007).

### **3.1.3. Projeções dos Impactos e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Semi-Árido**

No que se refere à vulnerabilidade social da população do semi-árido a mudança climática, CONFALONIERE *et al.*, (2005) analisaram os dados socioeconômicos, epidemiológicos e climáticos dos Estados brasileiros, a fim de quantificar a vulnerabilidade brasileira frente às mudanças climáticas. Os autores indicaram a região Nordeste, especialmente o semi-árido, como a região socialmente mais vulnerável aos riscos à saúde causados pelas mudanças climáticas no Brasil. CONFALONIERE *et al.*, (2005) ilustram as vulnerabilidades sociais das interações ambientais, sociais, econômicas e culturais, que podem resultar de um aumento de extremo climático ou meteorológico sob a região do semi-árido nordestino (Figura 6).



Fonte: CONFALONIERE, in NAE (2005)

**Figura 6** - Vulnerabilidade Social à Seca no Semi-Árido Nordeste

Particularmente quanto aos riscos à saúde humana associados às mudanças climáticas, o semi-árido como um todo é menos preparado, sua população é mais pobre, com pior escolaridade, com maior dificuldade de acesso aos serviços básicos de saúde. A região já enfrenta problemas de doenças endêmicas crônicas (como a Leishmaniose), sensíveis ao clima (CONFALONIERE *et al.*, 2005). Além disso, as mudanças climáticas tendem a afetar a produção de alimentos, que tem um impacto direto na saúde humana.

Quanto à vulnerabilidade da produção agrícola à variabilidade dos regimes de chuvas da agricultura de sequeiro praticada principalmente para as culturas de subsistência (milho, feijão, mandioca) no semi-árido nordestino o conhecimento dos detalhes das projeções climáticas tem importância relevante. Como mencionado o aquecimento de 2°C (cenário otimista) a 4°C (cenário pessimista) projetado para o Nordeste até o ano de 2100, tem um efeito na taxa de evaporação, prejudicando o desenvolvimento das culturas agrícolas, mesmo considerando que as projeções de alteração do regime de chuvas são incertas (MARENGO *et al.*, 2007).

Neste sentido, para não haver aumento da intensidade das secas edáficas no semi-árido (falta de umidade no solo, prejudicando as culturas agrícolas) seria necessário que a

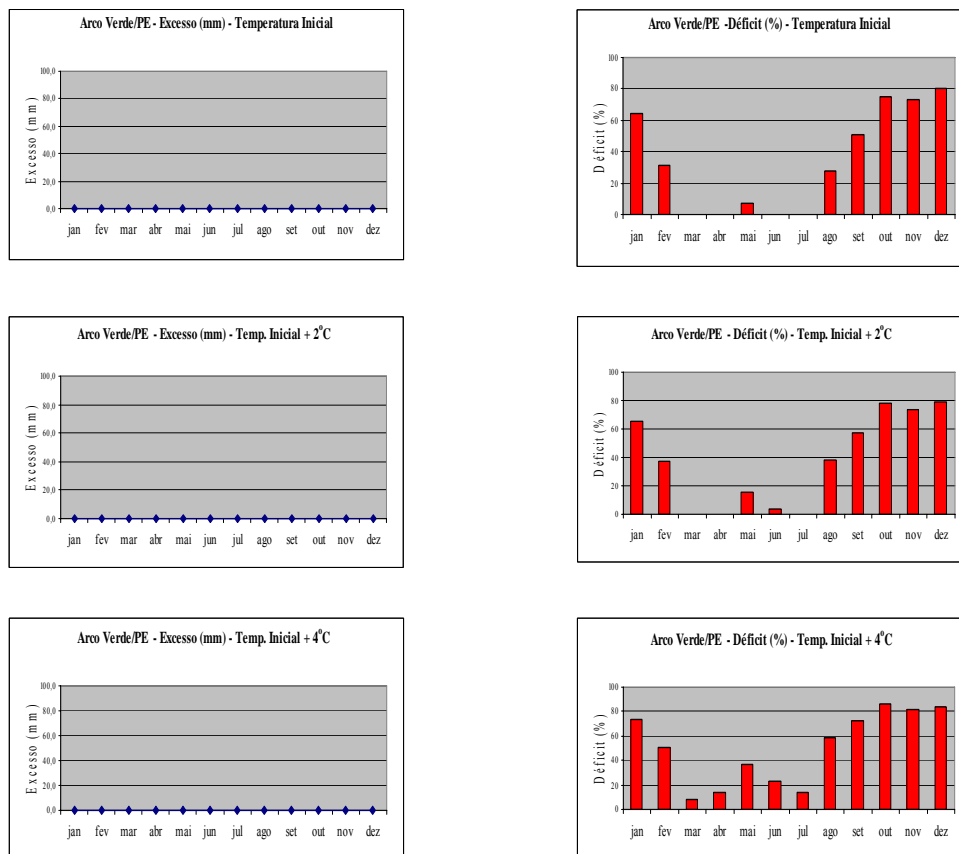
pluviosidade aumentasse para compensar o efeito do aumento da evaporação. CAMPOS, *et al.*, (1994) estimaram qual seria o percentual de aumento necessário na pluviosidade média de uma região para contrabalançar o aumento da evapotranspiração decorrente de um aumento de temperatura, sem aumentar a intensidade das secas edáficas. Os autores selecionaram três locais no Estado do Ceará: Crato, Saboeiro e Fortaleza e dois tipos de solos caracterizados pela capacidade de retenção de água. Os resultados indicam, para todos os casos, que a pluviosidade deveria aumentar em um percentual maior do que a evaporação, entretanto esse aumento da disponibilidade de água, além da taxa de evaporação não seria armazenado pelo solo, pois encontraria o solo saturado e essa água seria percolada ou escoada superficialmente (CAMPOS, 1997). Esse fato é mais uma indicação à alta vulnerabilidade da agricultura do semi-árido à mudança climática, uma vez que, mesmo o aumento da precipitação poderia não compensar o efeito na agricultura do aumento da temperatura no semi-árido.

SALATI *et al.*, (2005) estudaram a mudança no balanço hídrico para o município de Arco Verde, no semi-árido Pernambucano, para cenários de aumento de 15% na precipitação, distribuída igualmente durante um ano e de aumento de temperatura de 1°C, 2°C, 3°C e 4°C. Os dados utilizados no balanço hídrico (temperatura, precipitação, evapotranspiração potencial, entre outros) foram as médias dos períodos de 1961 a 1990. A capacidade de água disponível (CAD)<sup>52</sup>, também utilizada no balanço hídrico, foi considerada como sendo 100 mm, o que, de acordo com autores, reflete o balanço hídrico para as plantas cultivadas anuais ou perenes, com sistema radicular que exploram até um metro de profundidade. Os resultados desses balanços hídricos são mostrados na Figura 7. Note-se que excesso representa a água que sofre percolação profunda ou escoamento superficial no mês considerado (mm/mês) e o déficit indica a percentagem da falta de água em termos da demanda pelas plantas<sup>53</sup>.

---

<sup>52</sup> Quantidade de água retida no solo que se encontra entre o limite superior de água disponível ou capacidade de campo e o limite inferior de água disponível ou ponto de murcha. Ponto de murcha, ou ponto de murcha permanente é o teor de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele crescem atingem um murchamento irreversível, mesmo quando colocada em uma atmosfera saturada de vapor d'água.

<sup>53</sup> A falta de água para as plantas é calculada pela diferença entre a evapotranspiração potencial (a máxima perda de água para a atmosfera, em forma de vapor, que ocorre com uma vegetação em crescimento, sem restrição de água no solo) e a evapotranspiração real (perda de água por uma cultura, em função dos fatores climáticos, das características da planta e da disponibilidade de água no solo).



Fonte: Salati *et al.*, 2005

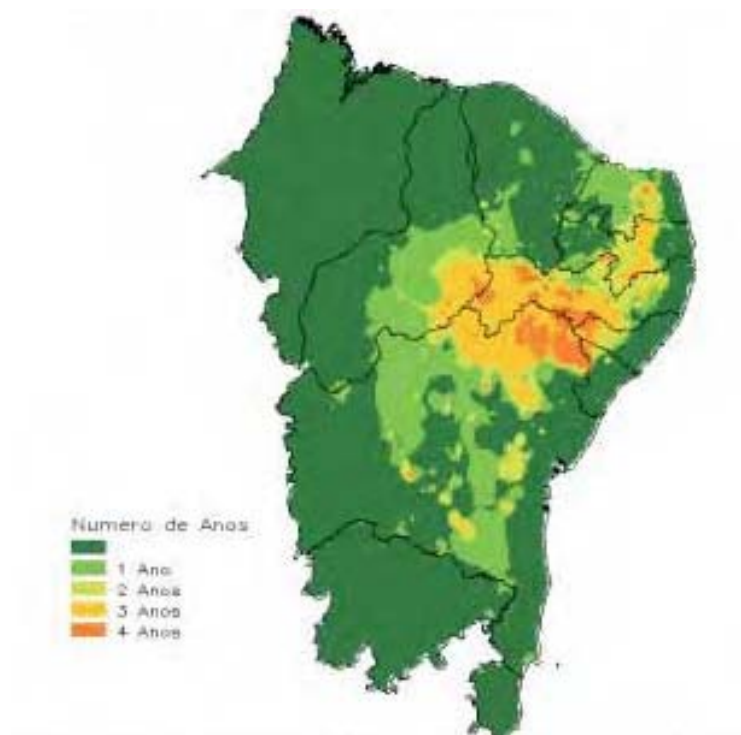
**Figura 7** - Excesso (mm) e Déficit (%) de Água para o Município de Arco Verde/PE, para a Temperatura Inicial, Temperatura Inicial mais 2°C, Temperatura Inicial mais 4°C

Na Figura 7 quando se observam os balanços hídricos atuais e modificados pelo aumento da temperatura, nota-se que um aumento de até 2°C da temperatura não indica nenhuma deficiência de água relevante nos meses de março e abril, indicando a manutenção das condições propícias para os cultivos de subsistência de ciclo curto. Para aumentos maiores da temperatura existem restrições acentuadas para essas e outras culturas na região semi-árida. Mesmo assumindo um cenário de aumento de 15% nas chuvas, o aumento da evaporação devido ao aumento da temperatura faria com que houvesse déficits hídricos em todos os meses do ano, para um aquecimento de 4°C, ou seja, a região se tornaria totalmente imprópria para agricultura de sequeiro (Figura 7).

MARENGO (2005) salienta que no semi-árido ocorre uma grande variabilidade dentro do período chuvoso principal, de janeiro a maio, portanto a ocorrência de chuvas, por si só, não garante que as culturas de subsistência de sequeiro serão bem-sucedidas. Um período seco dentro da estação chuvosa (conhecido como veranico<sup>54</sup>) normalmente tem impactos bastante adversos à agricultura da região. Assim, o autor propõe como indicador de vulnerabilidade da agricultura de sequeiro o número de dias com déficit hídrico dentro do período chuvoso, uma vez que um número pequeno de dias com déficit hídrico no período indica chuvas em quantidade e regularidade suficientes para garantir safras normais. Por outro lado, um número de dias com déficit hídrico elevado é indicativo de chuvas insuficientes ou da ocorrência de veranicos em períodos críticos de desenvolvimento da cultura, podendo ser associado à diminuição significativa ou perda total de culturas de subsistência. A Figura 8 apresenta esse indicador de vulnerabilidade da agricultura de sequeiro à irregularidade das chuvas para um período de 4 anos (1999 a 2003), destacando as áreas com déficit hídrico superior a trinta dias dentro do período chuvoso. As regiões mais vulneráveis são aquelas que apresentam um maior número de anos com ocorrência desses veranicos. Na região do semi-árido esse fato ocorreu por três e até quatro anos seguidos do período analisado.

---

<sup>54</sup> O veranico é chamado de seca verde no semi-árido.



**Fonte: NAE, 2005**

**Figura 8** - Áreas com Déficit Superior a 30 dias no Trimestre Chuvoso no Período de 1999 a 2003

Outro aspecto a ser analisado refere-se ao efeito direto nas plantas do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, conhecido como “efeito fertilizante”, ou seja, o aumento da atividade fotossintética em função do aumento da concentração do dióxido de carbono. A concentração de CO<sub>2</sub> próxima de 300 ppm está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas; níveis excessivos próximos de 1.000ppm passam a causar fitotoxidade às plantas, nesse intervalo, de modo geral, o aumento do CO<sub>2</sub> promove maior produtividade biológica dos vegetais (PINTO *et al.*, 2001). Entretanto, os vegetais diferem nas vias bioquímicas de fixação do CO<sub>2</sub> (assimilação do CO<sub>2</sub> durante a fotossíntese). Essas diferenças fisiológicas são conhecidas como vias fotossintéticas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub><sup>55</sup>. A princípio, quando se considera somente o aumento da

<sup>55</sup> Em linhas gerais a fotossíntese é dividida em duas fases, a primeira conhecida pela fase clara, luminosa ou fotoquímica é quando a molécula de clorofila absorve energia luminosa, acumulando esta em elétrons que liberam a energia utilizada na produção de ATP (adenosina tri-fosfato), que por via de transferência energética fornece a energia necessária para a redução do CO<sub>2</sub> atmosférico e formação da glicose na fase escura da fotossíntese, que em algumas plantas (a maioria das plantas temperadas) ocorre pelo ciclo de Calvin, ou ciclo C<sub>3</sub>, chamado assim pois o primeiro composto estável após a fixação do CO<sub>2</sub> tem três átomos de carbono. Em outras plantas a fixação do CO<sub>2</sub> pelo ciclo de ácido dicarboxílico resultando em composto com 4 carbonos, a maioria das gramíneas são C<sub>4</sub>, tais

concentração de CO<sub>2</sub>, as plantas C3 (como o trigo, a soja, o feijão e a mamona) poderão ser mais beneficiadas do que as plantas com metabolismo C4 (como o milho, a cana e a maioria das gramíneas), pois as plantas C3 respondem melhor a um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> (nível de saturação maior). Por outro lado, as plantas C4 estão mais adaptadas às condições de alta luminosidade e temperatura e possuem uma maior eficiência do uso da água (razão entre o CO<sub>2</sub> assimilado e a água transpirada durante a fotossíntese) precisando de menos de 400 g de água para produzir 1 g de matéria seca; as plantas C3 são inibidas por altas temperaturas e luminosidade, precisando de 400 a 1000 g de água para produzir 1 g de matéria seca (ODUM, 1986).

Portanto, o efeito combinado de concentrações crescentes de CO<sub>2</sub> e as variações de temperatura nos sistemas agrícolas, devem ser considerados. O aumento da temperatura, como já comentado, promove uma maior evaporação e evapotranspiração, podendo reduzir a produtividade agrícola, principalmente nas regiões tropicais onde a temperatura média já é alta (LIMA, 2005). De modo geral, a longo prazo, o efeito fertilizante do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é anulado pelos impactos previstos das mudanças climáticas. Para SIQUEIRA *et al.*, (1994) os efeitos fisiológicos de 555 ppm de CO<sub>2</sub> no trigo combinado com aumento de +4°C acarretaram um aumento de produtividade, comparado com o aumento +4°C na temperatura sem o aumento na concentração de CO<sub>2</sub>; para o milho, os efeitos fisiológicos de 555ppm de CO<sub>2</sub> e +4°C seriam menores em termos de produtividade de grãos do milho (planta C4) do que para o trigo (planta C3). Os mesmos autores concluíram que o efeito da elevação da temperatura em 4°C na produtividade dos grãos (soja, milho e trigo) variou de acordo com a região brasileira em cerca de -20% na região Centro-Sul até -28% na região Nordeste.

O impacto líquido da mudança do clima seria negativo para a agricultura do sequeiro no semi-árido, principalmente afetando os agricultores com menos recursos e menor acesso à terra e à água da região que dependem da agricultura de sequeiro para sua subsistência. Também a combinação das alterações do clima associada à falta de chuva

---

plantas apresentam grandes cloroplastos dispostos próximos das nervuras das plantas (baixas de feixes) essa organização funcional permite que elas tenham respostas diferentes a luz, temperatura e umidade, produzindo melhor as de C3, em ambientes mais secos (perdem menos água para assimilar uma molécula de CO<sub>2</sub> que as C3), com mais alta luminosidade e alta temperatura.

ou pouca chuva, ameaçam intensificar as dificuldades de quantidade e qualidade da água e, conseqüentemente, a competição por recursos hídricos (MARENGO *et al.*, 2007). Durante o período de secas, o nível dos cursos de água deverá diminuir em numerosas regiões, em razão da evaporação elevada, cujos efeitos poderão ser ampliados ou neutralizados em função do aumento da precipitação (FREITAS, 2005). Novamente, nesse caso, os agricultores do semi-árido que praticam a agricultura de sequeiro para sua subsistência seriam mais vulneráveis, devido à ocupação de áreas com maior disponibilidade de recursos hídricos pelos grandes proprietários rurais, dificultando o acesso dos pequenos agricultores a este recurso.

Além disso, a vulnerabilidade da erosão do solo tende a aumentar nos cenários de aumento de temperatura. O aumento de temperatura diminui a umidade dos solos já secos na maior parte do ano no semi-árido, aumentando a vulnerabilidade para a erosão eólica. Nas regiões onde a chuva é restrita, o aumento da temperatura aumenta as taxas de evaporação e, conseqüentemente, o risco de salinização desses solos (YEO, 1999). No caso do aumento de eventos de precipitação intensa, a erosão dos solos também tende a aumentar (FAVIS-MORTLOCK & GUERRA, 1999). Os efeitos de mudança do clima associados com a desertificação são preocupantes, principalmente nos Estados nordestinos já sujeitos aos processos de desertificação.

NOBRE (2004) destaca que as mudanças climáticas projetadas, somadas àquelas devidas às alterações da cobertura da vegetação, podem levar a alteração dos biomas, com a tendência a biomas mais secos, havendo uma tendência da caatinga de parte do semi-árido tornar-se um semi-deserto, pois o aumento da temperatura induz a um aumento da evapotranspiração das plantas, independente das mudanças na precipitação.

De forma resumida, de acordo com NOBRE *et al.* (2007), pode-se destacar que as projeções futuras de mudanças climáticas do Nordeste podem acarretar, entre outros, os seguintes impactos<sup>56</sup>:

---

<sup>56</sup> Os aspectos específicos da vulnerabilidade da região Nordeste e semi-árido às mudanças climáticas serão discutidos no capítulo 4, item 4.4.



- A caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas, com predominância de cactáceas;
- um aumento de 3°C ou mais na temperatura média deixaria ainda mais secos os locais que hoje têm maior déficit hídrico no semi-árido;
- a produção agrícola de subsistência em grandes áreas do semi-árido pode se tornar inviável, colocando a própria sobrevivência do homem em risco;
- o alto potencial para evaporação do Nordeste, combinado com o aumento de temperatura, causaria diminuição da água de lagos, açudes e reservatórios;
- o aumento das chuvas torrenciais e concentradas em curto espaço de tempo no semi-árido resulta em enchentes e graves impactos socioambientais;
- as maiores frequências de dias secos consecutivos e de ondas de calor tendem a aumentar a frequência de veranicos;
- o aumento da temperatura aliado à tendência de aumento de chuvas torrenciais, tende a aumentar a degradação do solo, afetando as atividades agrícolas;
- o clima mais quente e seco tende a levar a população a migrar para as grandes cidades da região ou para outras regiões, gerando ondas de “refugiados ambientais”, aumentando assim os problemas sociais já existentes nos grandes centros urbanos do Nordeste e do Brasil;
- em grande parte do semi-árido nordestino, onde a agricultura não irrigada já é uma atividade marginal, tornar-se-ia ainda mais marginal para a prática da agricultura de subsistência.

De fato o semi-árido Nordestino pode ser considerado como um *hot spot*, ou seja, uma região que conjuga a vulnerabilidade climática atual, aos efeitos das mudanças climáticas projetadas e aos aspectos da fragilidade socioeconômica local (que serão comentados no capítulo 4). Os impactos projetados sobre os frágeis recursos naturais e sobre a agricultura de sequeiro poderão contribuir para deixar ainda mais vulnerável a população rural do semi-árido, que depende da atividade agrícola para sua manutenção.

Particularmente no semi-árido, as políticas de desenvolvimento nacionais, com enfoque nas questões socioeconômicas e no setor agrícola, podem vir ser integradas à estratégia de adaptação às mudanças climáticas, de modo a tornar factível a manutenção da

agricultura familiar<sup>57</sup> em pequenas e médias propriedades, já que nesta escala, os impactos das mudanças climáticas são mais previsíveis e serão mais rápidos e drásticos.

### **3.2. Políticas Nacionais de Desenvolvimento e Perspectivas de Adaptação e Mitigação à Mudança Climática**

Conforme já comentado, de acordo com o princípio das responsabilidades comuns mas diferenciadas da Convenção do Clima, somente os países do Anexo I têm metas quantificadas de redução de emissão de GEE. Entretanto, os países em desenvolvimento (Não-Anexo I), assumiram compromissos sobre o artigo 4.1 da Convenção, que envolvem, entre outros: a execução de inventários de emissões antrópicas por fontes e de remoções por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal; o estabelecimento de programas nacionais e regionais, que incluam medidas para mitigar e permitir adaptação à mudança do clima; a cooperação para o desenvolvimento, aplicação, inclusive transferência, de tecnologias, práticas e processos que controlem, reduzam ou previnam as emissões antrópicas de gases de efeito estufa; as pesquisas científicas em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema climático; a promoção e cooperação na educação, treinamento e conscientização pública em relação à mudança do clima.

No entanto, a Convenção do Clima reconhece que "o grau de efetivo cumprimento dos compromissos assumidos pelas Partes países em desenvolvimento dependerá do cumprimento efetivo dos compromissos assumidos sob a Convenção pelas Partes países desenvolvidos, no que se refere ao repasse de recursos financeiros e transferência de tecnologia". Além disso, para o cumprimento dos compromissos dos países em desenvolvimento deverá ser levado em conta o fato de que o desenvolvimento econômico e social e a erradicação da pobreza são as prioridades primordiais e absolutas dos países em desenvolvimento.

Não obstante, as dificuldades administrativas, institucionais e os limitados recursos financeiros para a implementação dessas diretrizes, o Brasil criou a Coordenação Geral

---

<sup>57</sup> Em poucas palavras a agricultura familiar pode ser entendida como aquela em que a mão-de-obra familiar predomina sobre a mão-de-obra contratada e a renda familiar origina-se principalmente das atividades econômicas vinculadas da própria propriedade rural (INCRA/FAO, 2000).

de Mudanças Globais do Clima-CGMG, em 1994, dentro da estrutura do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), com a responsabilidade de coordenar a implementação dos compromissos resultantes da Convenção. À CGMG coube a tarefa principal de coordenar e elaborar o inventário nacional de emissões antrópicas de GEE, lançado em 2004, sob o título de Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT, 2004).

Além disso, o Brasil conta com a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, criada em 1999, cuja presidência e secretaria executiva são também do MCT, que atua nas mais diversas frentes relacionadas à questão das mudanças climáticas no Brasil, sendo inclusive a instância responsável pela normatização, avaliação e aprovação dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo em nível nacional. O País conta também com o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas-FBMC, presidido pelo Presidente da República, criado em 2000, que visa promover a conscientização e a mobilização da sociedade sobre a mudança global do clima, desenvolvendo uma série de atividades nessa área, tendo por objetivo ser uma instância pública de debates sobre o tema.

A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, sediada no Rio de Janeiro em 1992 (Rio-92), o País vem desempenhando um papel de destaque e liderança nas questões relativas às mudanças climáticas. Na ocasião, o Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção. Desde então, tem merecido destaque internacional as iniciativas de formação de capacitação nacional relacionada com a mudança do clima, em especial as atividades do CPTEC/INPE, a participação de cientistas brasileiros no IPCC e a participação brasileira na criação do Instituto Interamericano para Pesquisas em Mudanças Globais-IAI, organização intergovernamental, dedicada à pesquisa do tema. O país também desempenha reconhecida liderança entre os países em desenvolvimento nas propostas e execução de projetos de MDL sob o Protocolo de Quioto, tendo sido o primeiro país a ter aprovado um projeto MDL no Comitê Executivo do MDL da UNFCCC.

No País existe uma série de programas que promovem considerável redução de GEE, embora, na maioria dos casos, esses programas não tenham como objetivo direto a

redução de GEE, mas colaboram para que o País tenha uma matriz energética mais “limpa” e, conseqüentemente, reduzem a emissão de GEE no setor de energia.

Em linhas gerais, pode-se citar como exemplos desses programas: o Programa Nacional do Álcool-PROÁLCOOL (1975), que inicialmente visava diminuir a dependência externa do Brasil ao petróleo; o Programa CONSERVE (1981) com objetivo de promover a conservação da energia na indústria pelo desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes e estímulo à substituição do petróleo por fontes alternativas de energia; o Programa Nacional de Energia Elétrica-PROCEL (1985) com o objetivo de combater o desperdício na produção e no uso da energia elétrica e propiciar um menor consumo e uma maior eficiência energética, além de reduzir custos e investimentos em novas instalações elétricas; o Programa RELUZ (2000) com o objetivo de promover a implantação de sistema de iluminação pública eficiente e proporcionar a melhoria da segurança pública em todo o País; o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo do Gás Natural-CONPET (1991) com a finalidade de desenvolver e integrar ações que visam à racionalização do uso de derivados de petróleo e do gás natural, por meio de redução de perdas e da eliminação do desperdício; o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios-PRODEEM (1994), que visa atender as localidades isoladas com fontes de energia renovável a nível local, de modo a promover o desenvolvimento social e econômico dessas localidades.

Os mecanismos de redução de GEE (mitigação) desses programas têm merecido, na maioria das vezes, maior reconhecimento e valorização política em nível nacional. A mobilização política brasileira referente às questões climáticas é, predominantemente, voltada às questões de mitigação de GEE. Há indícios de que esse fato esteja muitas vezes relacionado à falta de conhecimento sobre a potencialidade da implementação desses programas em reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas. Também a falta de certeza científica sobre as vulnerabilidades regionais às mudanças climáticas, ou mesmo à falta de mercado e apoio financeiro para lidar com as questões de adaptação às mudanças climáticas nos países em desenvolvimento, podem contribuir para menor evidência dos benefícios “colaterais” como estratégia de adaptação às mudanças climáticas de alguns desses programas do setor energético.

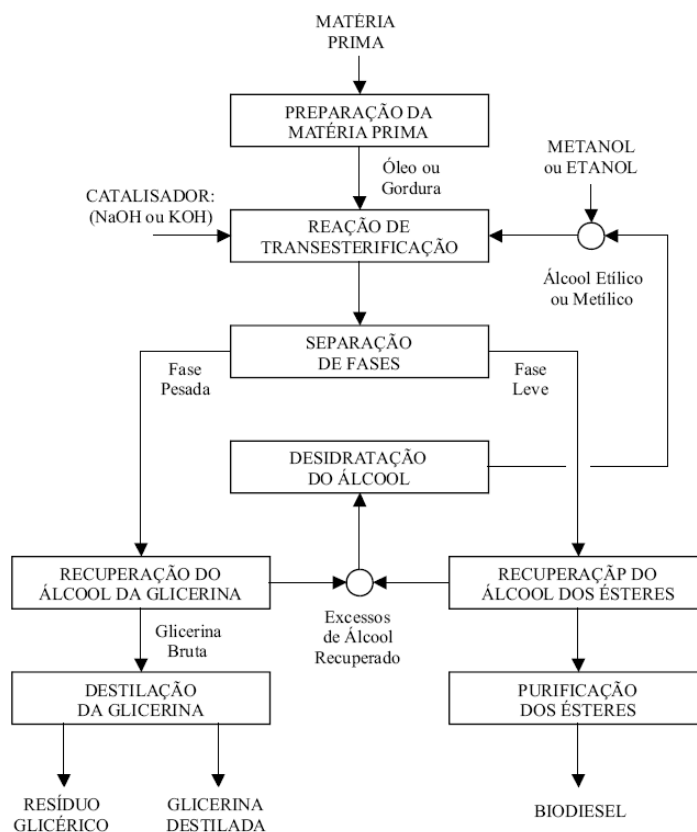
Como também comentado anteriormente, as estratégias de adaptação em países em desenvolvimento, como o Brasil, podem ser extensões das boas práticas de desenvolvimento. O planejamento da adaptação abrange esforços desde restaurar a resiliência (elasticidade) dos ecossistemas até de manter a biodiversidade e continuar a entregar os bens e os serviços dos ecossistemas que protegem as comunidades dos perigos do clima, como a erosão, a inundação e a conservação da água e, que ao mesmo tempo são medidas de mitigação. Por exemplo, atender as localidades isoladas com fontes de energia renovável a nível local, de modo a promover o desenvolvimento social e econômico dessas localidades, como previsto no PRODEEM (1994), com certeza irá diminuir a vulnerabilidade ou aumentar a resiliência da região e população beneficiada pelo Programa, criando novas oportunidades, em regiões que atualmente não tem acesso ao a energia elétrica. De fato essa geração de energia ser oriunda de fonte renovável cria um diferencial sociambiental impar nesse programa, que ultrapassa em muito a redução de emissões de GEE.

Assim, como a produção de biomassa energética pode envolver as comunidades agrícolas, especialmente as mais enfraquecidas pelos processos de desenvolvimento vigente e, ao mesmo tempo, permitir a redução da vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas sobre as populações rurais, pelo fortalecimento dessa população. Na seção seguinte serão comentados alguns aspectos gerais do biodiesel e o do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), com foco na perspectiva desse Programa integrar os agricultores familiares do semi-árido na cadeia produtiva de biodiesel e funcionar como um vetor de desenvolvimento do semi-árido Nordeste com potenciais benefícios na adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

### **3.2.1. O Biodiesel**

O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável, predominantemente produzido por uma reação denominada transesterificação, que consiste em uma reação de triglicerídeos (óleos ou gorduras animais ou vegetais) com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um catalisador, produzindo um éster (o biodiesel) e o glicerol, como um co-produto (PARENTE, 2003).

No caso da utilização de insumos ácidos, como esgoto sanitário ou ácidos graxos, a reação é de esterificação e não há formação de glicerol, mas de água simultaneamente ao biodiesel (OLIVEIRA, 2004). As etapas do processo de transesterificação são apresentadas no Fluxograma 1, a seguir:



**Fonte: Parente (2003)**

**Fluxograma 1. - Etapas da Transesterificação**

O preparo da matéria-prima visa obter as condições favoráveis para a reação de transesterificação, a fim de alcançar a maior taxa de conversão possível, permitindo que vários tipos de materiais graxos sejam utilizados na produção do biodiesel. O óleo bruto contém, além dos triglicerídeos (~95 a 97%), traços de metais (Ca, Mg, Fe, Cu), umidade, ácidos graxos livres e surfactantes naturais (fosfolipídios), esteróis, ceras, hidrocarbonetos, vitaminas, pigmentos, proteínas e gomas, entre outras substâncias (AMARAL, 2006).

Os ácidos graxos livres influenciam na hidrólise e oxidação do biodiesel quando em valores altos. Além disso, a acidez elevada pode catalisar reações intermoleculares dos trigliceróis, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão (DANTAS, 2006). Em geral, é necessário, no mínimo, a redução da umidade e da acidez do óleo, por um processo de neutralização, através da adição de uma solução alcalina, resultando na saponificação desses ácidos, seguida de uma lavagem, para retirada dos restos de sabão e uma operação de secagem ou desumidificação para redução do percentual de água (PARENTE, 2003). A degomagem do óleo também se faz necessária, para matéria-prima com alto teor de gomas, bem como a retirada de ceras, como no caso do girassol e do algodão (FERRARI, 2006).

As especificidades do tratamento dependem da natureza e das condições da matéria graxa empregada como matéria-prima. No tratamento da matéria-prima são reduzidas as impurezas sólidas para não provocar entupimentos e comprometimento da qualidade da glicerina, o índice de acidez deve ficar menor que 1% para não induzir a saponificação<sup>58</sup> e dificultar a separação dos monoglicerídeos da glicerina; a umidade deve ser menor ou igual a 0,05%, devido à otimização do rendimento do processo e diminuição do consumo de catalisador (AMARAL, 2006). As gomas devem ficar a baixo de 10ppm devido à redução da qualidade da glicerina, incrustamento, separação dificultada e as ceras devem ser removidas para evitar solidificação (FERRARI, 2006). Além dos triglicerídeos, também o álcool e o catalisador são os insumos básicos para a produção do biodiesel.

O agente da reação de transesterificação pode ser o álcool metílico (metanol é derivado do petróleo, ou produzido a partir do biogás ou da gaseificação da madeira – e outras biomassas) ou álcool etílico (etanol renovável). Quanto ao consumo de álcool, as condições de reação e de separação da glicerina são diferentes em função das propriedades de cada álcool. (KAHLIL, 2006). O excesso de agente transesterificante (álcool) é focado no estímulo à transesterificação – quase que como um catalisador – e na competição com a saponificação – visto que, ao produzir o intermediário ativo, reduz a possibilidade de reação entre os ácidos graxos e a base (OLIVEIRA, 2004).

---

<sup>58</sup> Saponificação : é a reação de um ácido graxo + base, formando sal (sabão).

A rota metílica (uso de metanol) é técnica e economicamente mais viável do que a etílica (uso do etanol), uma vez que em relação ao uso do etanol (rota etílica), o consumo do metanol é menor em relação ao etanol<sup>59</sup>, o tempo de reação também é menor e a separação da glicerina do meio de reação, no caso da síntese do éster metílico, é mais fácil, podendo ser obtida por simples decantação (KAHLIL, 2006). Os excedentes de álcool são diferentes. Para o metanol, normalmente usa-se 50%, mas pode atingir 100%. Já o etanol requer até 400% de excedente<sup>60</sup>. O primeiro efeito disto é a redução da capacidade produtiva, pois o reator tem um limite volumétrico e, ao ser ocupado pelo excedente, perde espaço para produzir.

Os excessos residuais de álcool, após os processos de recuperação, contêm quantidades significativas de água, necessitando de uma separação. No caso da desidratação do metanol, a destilação é muito simples e fácil de ser conduzida, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande e, ademais, inexistente o fenômeno da azeotropia para dificultar a completa separação (OLIVEIRA, 2004). Diferentemente, a desidratação do etanol complica-se em razão da azeotropia, associada à volatilidade relativa não tão acentuada como é o caso da separação da mistura metanol-água. No caso do etanol, é inviável a recuperação total do excedente, visto que o etanol anidro reage com a água formando hidratado, por azeotropia. Por outro lado, apesar do etanol proporcionar menor reatividade e maior consumo, a oferta desse álcool, em relação ao metanol, é maior no Brasil (cana-de-açúcar); além disso, o metanol é de manuseio perigoso, representando risco à saúde (tóxico), quando não considerados os cuidados com seu manuseio (KAHLIL, 2006).

A transesterificação pode ser conduzida na presença de catalisadores ácidos ou básicos. Os catalisadores são conceitualmente classificados como substâncias de elevada atividade e promotoras da reação química específica (CASTRO *et al.*, 2004). Atualmente, a catálise homogênea<sup>61</sup> é a rota tecnológica predominante para a produção do biodiesel (SOLDI *et al.*, 2006). A catálise homogênea básica apresenta melhor

---

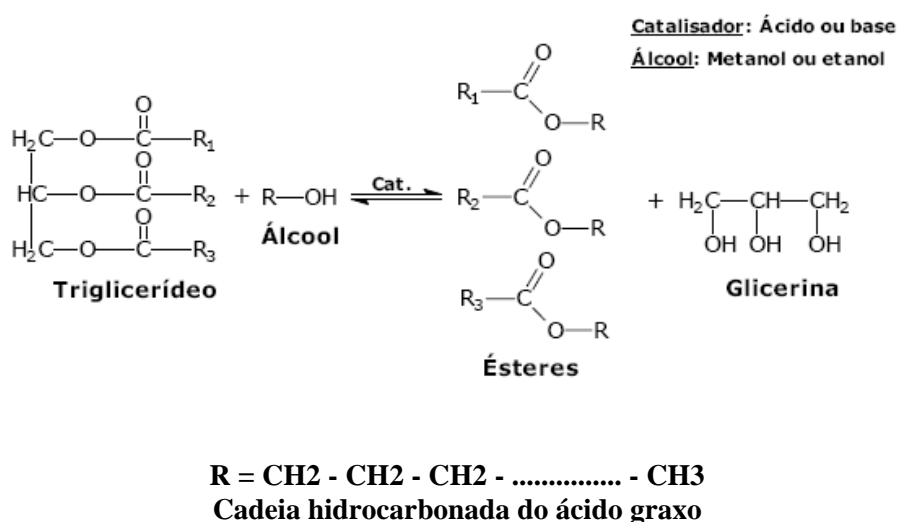
<sup>59</sup> A diferença entre as quantidades de álcool usadas no processo de transesterificação denota suas massas moleculares, sendo importante ressaltar que a quantidade de glicerol obtida é a mesma, pois a reação de transesterificação é uma conversão do éster de glicerol em éster metílico ou etílico.

<sup>60</sup> Luciano Oliveira – comunicação pessoal

<sup>61</sup> A catálise homogênea ocorre quando a mistura catalisadores + reagentes é uma mistura homogênea. Nesse caso o catalisador participa efetivamente da reação, mas não é consumido no processo é regenerado no final (WIKIPÉDIA, 2007).



rendimento e menor tempo de reação do que a catálise no meio ácido, sendo a primeira geralmente empregada em nível industrial, utilizando o hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), como catalisadores (PARENTE, 2003). A transesterificação catalisada por ácido não é muito utilizada em aplicações comerciais, devido ao fato de que a reação em meio ácido ser aproximadamente 4.000 vezes mais lenta que a reação catalisada por base. A catálise ácida apresenta como principais vantagens o fato do catalisador não ser afetado pela presença de ácidos graxos livres da matéria-prima e a não produção de sabões durante o processo (SOLDI *et al.*, 2006). A Figura 9 apresenta a reação de transesterificação.



**Fonte: FERRARI, 2006**

**Figura 9** - Esquema do Processo de Transesterificação

O processo de transesterificação consiste da reação de um triglicerídeo e um álcool obtendo um éster e um co-produto (glicerina), sendo realizado em uma sequência de três reações reversíveis e consecutivas, em que os monoglicerídeos e os diglicerídeos são os intermediários (DANTAS *et al.*, 2006). Durante o processo de transesterificação, a glicerina é removida do óleo vegetal (cerca de 12% da molécula de óleo é glicerina, ou seja, o correspondente a quantidade de álcool que entra), sendo substituída pelo álcool (Figura 9), deixando o óleo mais fino e reduzindo sua viscosidade. O processo pode ser contínuo ou em batelada.

De forma resumida, conforme descrito por PARENTE (2003), as demais etapas do processo produtivo do biodiesel são:

- a) Separação de fases – consiste em separar a massa reacional da transesterificação, que é constituída de duas fases, uma mais pesada, composta de glicerina bruta, excesso de álcool, de água, e de impurezas inerentes à matéria prima; outra menos densa composta de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos e glicerídeos, separáveis por decantação e/ou por centrifugação;
- b) recuperação do álcool da glicerina - a fase pesada, contendo água e álcool, é submetida a um processo de evaporação, eliminando-se da glicerina bruta os constituintes voláteis;
- c) recuperação do álcool dos ésteres - da fase mais leve, o álcool residual é recuperado liberando para as etapas seguintes, os ésteres metílico ou etílico ainda com a presença de álcool, água e glicerídeos;
- d) desidratação do álcool - a desidratação do álcool é feita normalmente por destilação a fim de separar dos excessos residuais de álcool a água. No caso da desidratação do metanol, a destilação é bastante simples e fácil de ser conduzida, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande;
- e) purificação dos ésteres - os ésteres são lavados por centrifugação e desumidificados resultando no biodiesel, o qual deverá ter suas características enquadradas nas especificações das normas técnicas estabelecidas para o biodiesel como combustível para uso em motores do ciclo diesel;
- f) destilação da glicerina (opcional) - a purificação da glicerina bruta, emergente do processo, é feita por destilação a vácuo, resultando um produto límpido e transparente, denominado comercialmente de glicerina destilada.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes técnicos do processo de produção de biodiesel pela rota etílica e metílica, de acordo com dados de JORDÃO FILHO (2004).

**Tabela 4** - Coeficientes Técnicos do Processo de Produção de Biodiesel

	<b>Rota Etílica</b>	<b>Rota metílica</b>
<b>Insumos</b>	<b>Consumo (% do biodiesel produzido)</b>	
<b>Óleo vegetal</b>	94,4	99,5
<b>Álcool</b>	14	10,3
<b>Catalisador</b>	0,05	0,05
<b>Co-produtos</b>	<b>Produção (% do biodiesel produzido)</b>	
<b>Glicerina</b>	9,35	9,75
<b>Ácidos graxos</b>	0,1	0,1

**Fonte: Jordão Filho (2004)**

Para cada litro de biodiesel são produzidos aproximadamente 100 gramas de glicerina ou glicerol (Tabela 4). A glicerina, ou glicerol, resultante do processo de transesterificação, pode ser obtida com diferentes graus de pureza, dependendo das tecnologias utilizadas de purificação. A qualidade da glicerina está relacionada à matéria-prima. Os resíduos têm, normalmente, mais impurezas que os óleos novos, sendo sua maior parte retida na glicerina produzida. Alguns processos geram glicerina de forma impura, com menor valor comercial e que tendem a ser absorvidas em menor quantidade pelo mercado. A glicerina pode torna-se um importante efluente da planta, exigindo tratamento adequado, o que demanda investimentos adicionais. As melhores tecnologias, porém, possibilitam a produção de um produto conhecido comercialmente por “glicerina bi-destilada”, a qual atualmente tem mercado cativo, gerando renda adicional. Esta glicerina é utilizada como matéria-prima da indústria de cosméticos, sabões, produtos farmacêuticos, alimentação, bebidas, filmes de celulose, papel, resinas entre outros, que juntos respondem por cerca de 64% das aplicações da glicerina (OLIVÉRIO, 2006). Outros mercados importantes são os de resinas e ésteres, farmacêutico, têxteis e tabaco (MENEGHETTI, 2006). Segundo fontes ligadas às indústrias químicas, o preço médio da glicerina, que em 2005 chegou a R\$ 3,00/kg, hoje sai entre R\$ 1,60 e R\$ 1,70/kg e, nas regiões onde usinas de biodiesel operam, o valor médio caiu para R\$ 0,60 a R\$ 0,70/kg (BIODIESEL BR). Estima-se que, se houver uma grande oferta de glicerol e uma conseqüente redução do seu preço, a demanda por esse produto poderia ganhar impulso com a substituição do sorbitol<sup>62</sup> em alimentos por glicerol (NAE, 2004). O desafio, portanto, será criar novas destinações para a glicerina, viabilizadas em novas aplicações, em função do menor preço esperado pelo aumento da

<sup>62</sup> O sorbitol ou açúcar de álcool ocorre extraído do fruto da sorveira (*Couma guianensis*) e pode também ser sintetizado a partir da glicose, sendo utilizado como adoçante, laxante, umectante, entre outras aplicações (WIKIPÉDIA, 2007).

oferta, ou mesmo o desenvolvimento de soluções técnicas para uma destinação ambientalmente correta desse co-produto da transesterificação, ou, ainda, a viabilização dos processos de produção de biodiesel com menor ou sem produção de glicerina.

### **3.2.2. Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**

Em julho de 2003 foi instituído, pela Presidência da República, um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) com o intuito de fomentar a realização de estudos sobre a viabilidade de produção e uso do biodiesel na Matriz Energética Brasileira. À época, considerava-se que a substituição do diesel mineral parcialmente importado pela produção interna de biodiesel poderia levar a uma melhora não desprezível na balança comercial. A Presidência da República orientou esses trabalhos técnicos de maneira explícita, para que se evitem as distorções sociais e ambientais do PROÁLCOOL e se garantisse aos agricultores familiares – sobretudo os do Nordeste – parte da oferta de matérias-primas para o produto. O GTI concluiu que o biodiesel poderia, além de reduzir a dependência de importações de petróleo, contribuir favoravelmente para o equacionamento das seguintes questões fundamentais para o País:

- ✓ Geração de emprego e renda;
- ✓ redução de emissões de poluentes e custos na área de saúde;
- ✓ atenuação das disparidades regionais .

Entre dezembro de 2003 e novembro de 2004, deu-se início ao estabelecimento dos marcos legal e regulatório e da definição do modelo tributário e de medidas complementares a fim de introduzir o biodiesel na Matriz Energética Nacional. Para tanto, foram instituídos pelo Decreto de 23 de dezembro de 2003, uma Comissão Executiva Interministerial e o Grupo Gestor do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Esta fase culminou no lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), pelo Presidente da República, em 6 de dezembro de 2004. O programa tem as seguintes diretrizes gerais:

- ✓ Introdução do biodiesel na matriz energética brasileira de forma sustentável;

- ✓ geração de emprego e renda, especialmente no campo, com a produção de matérias-primas oleaginosas (inclusão social);
- ✓ atenuar disparidades regionais;
- ✓ reduzir as emissões de poluentes;
- ✓ reduzir a importação de diesel de petróleo;
- ✓ não privilegiar rotas tecnológicas;
- ✓ conceder incentivos fiscais e implementar políticas públicas (financiamento, assistência técnica) para conferir sustentabilidade econômica, social e ambiental do biodiesel.

Em 13 de janeiro de 2005, a Lei nº 11.097/05, introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, estabelecendo percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel mineral e o monitoramento da inserção do novo combustível no mercado, estabelecendo, também, prazos para cumprimento da adição de percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel mineral. Os percentuais da mistura do biodiesel ao diesel mineral, que deverá ser comercializado ao consumidor final em todo o território nacional (Lei nº 11.097/05) e o mercado potencial de biodiesel estimado pelo Governo Federal, estão apresentados na Figura 10, a seguir:



Fonte: PNPB ([www.biodiesel.gov.br](http://www.biodiesel.gov.br))

**Figura 10** – Percentuais previstos de mistura de biodiesel ao diesel no Brasil e mercado potencial de biodiesel

Complementando o marco regulatório do novo segmento, um conjunto de decretos, normas e portarias, cria mecanismos de incentivos à inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel, tendo como marco mais importante o Selo Combustível

Social. O Selo Combustível Social (SCS) é concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) às empresas que adquiram a matéria-prima de agricultores familiares, em percentuais mínimos de 50% para a região Nordeste e semi-árido; 30% para as regiões Sudeste e Sul; e 10% para as regiões Norte e Centro-Oeste (Instrução Normativa MDA N.º 1, de 05 de julho de 2005). A aquisição de matéria-prima do agricultor familiar é estabelecida por meio de contrato com os agricultores familiares e produtores de biodiesel. Esses contratos devem ser realizados, necessariamente, através de um representante da associação de agricultores familiares, esclarecendo duração, valor total de compras de matéria-prima, condições de ajustes de preços e condições de entrega da matéria-prima (prazo). Os produtores de biodiesel detentores do SCS devem também prover assistência técnica aos agricultores familiares e os agricultores familiares devem entregar a matéria-prima contratada aos produtores de biodiesel.

Quanto ao prazo contratual, na região Norte, a Agropalma adquire o produto durante vários anos, em função do ciclo natural das plantas (no caso do dendê) e, para a mamona no Nordeste, os contratos são geralmente bienais. O valor a ser pago pelo produto é estipulado em contrato, ou consta de alguma cláusula contratual que o produtor vai garantir um preço superior ao que o mercado paga habitualmente ao fornecedor de matéria-prima. As empresas devem também oferecer assistência técnica aos produtores; este item é importante nas situações em que se cultivam produtos novos ou, principalmente em algumas regiões do Nordeste, onde o nível de esclarecimento dos agricultores familiares é, em geral, baixo. Os sindicatos devem acompanhar a prestação de assistência técnica ao agricultor familiar.

Algumas empresas, como a BRASIL ECODIESEL, por exemplo, vêm se destacando na região Nordeste por firmar contratos com agricultores familiares de 2 anos de duração que consiste em cada agricultor entrar com a sua terra (no mínimo 3ha) e o trabalho, e a empresa fornecer: sementes de mamona na proporção de 6kg de grãos por hectare a ser plantado; sementes de feijão na quantidade de 8kg por hectare; assistência técnica através de técnicos próprios; debulha da mamona na propriedade; fazer a pesagem (levam balança até a propriedade); e fornecer a sacaria. O contrato estabelece um preço fixo para cada oleaginosa e, adicionalmente, “premia” o agricultor por faixa de

produtividade, oferecendo maior valor para a colheita acima da produtividade média estipulada.

No geral, a garantia que de fato os contratos são cumpridos e que, portanto, a empresa faz efetivamente jus ao selo social, vem de contratos individuais com os produtores assinados pelo presidente do Sindicato dos Trabalhadores do município em questão e da verificação das notas fiscais de compra de matéria-prima. A verificação do cumprimento do contrato é feita por meio de auditoria anual pelo MDA, que pode renovar ou não o Selo Combustível Social. No que tange também à inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel, pode-se destacar outras medidas adotadas pelo MDA, dentro as quais de acordo com CAMPOS & CARMELIO (2006) incluem:

- ✓ Mobilização das principais representações da agricultura familiar e movimentos sociais do campo em torno do tema. A CONTAG<sup>63</sup>, por exemplo, articulou todo o seu sistema estadual e municipal para participar das negociações entre agricultores e empresas, para monitorar as ações locais;
- ✓ criação do PRONAF<sup>64</sup> Biodiesel, pelo qual o agricultor familiar pode tomar mais um crédito custeio antes de pagar o anterior para o plantio de oleaginosas;
- ✓ modificação de uma resolução do PRONAF, possibilitando que o agricultor familiar do micro-crédito (que são a maioria no Nordeste) possa pegar o crédito custeio para a mamona, antes não permitido (só podia usar o recurso para investimento);
- ✓ modificação de uma resolução do seguro garantia-safra para priorizar o agricultor familiar do semi-árido nordestino que planta o feijão em consórcio com a mamona. Se houver perda de safra, ele tem prioridade de obter o benefício sobre os outros;

---

<sup>63</sup> A CONTAG (Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura) e seus filiados optaram pelo vínculo com as empresas. Entre os movimentos sociais rurais, parte da FETRAF e do MST, inicialmente rejeitaram o modelo que estimula a integração entre agricultores familiares e grandes empresas privadas, mas atualmente estão mais engajados.

<sup>64</sup> O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) destina-se à aplicação do crédito rural à agricultura familiar para projetos produtivos adequados às potencialidades regionais e às especificidades de cada bioma e será detalhado no Capítulo 4 desta tese.

- ✓ negociação com o Banco do Brasil, Banco do Nordeste e Banco da Amazônia para o atendimento das demandas de crédito PRONAF para custeio e investimento de oleaginosas para biodiesel; e
- ✓ aporte de mais de 5 milhões em projetos de formação de pólos de produção de matérias-primas para biodiesel, em aprimoramento e disponibilização de novas tecnologias agrícolas para a agricultura familiar e de tecnologias de baixa escala para biodiesel.

As empresas produtoras de biodiesel detentoras do SCS passam também a ter acesso a melhores condições de financiamento junto ao BNDES e suas instituições financeiras credenciadas: BASA (Banco da Amazônia SA); BNB (Banco do Nordeste) e; Banco do Brasil S.A.. O Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel do BNDES, instituído pela Resolução BNDES nº 1.135/2004, prevê o financiamento de investimentos em todas as etapas da cadeia produtiva, ou seja, investimentos na fase agrícola, produção de óleo bruto, produção de biodiesel, armazenamento, logística e equipamentos para produção de biodiesel, prevendo, ainda, recursos para o beneficiamento de co-produtos de biodiesel (2006). Em linhas gerais, o programa financia até 90% dos recursos para empresas com Selo Social e até 80% para empresas sem o Selo Social. A carteira de projetos de biodiesel no BNDES era de cerca de 1 bilhão de litros por ano de capacidade instalada, já havendo financiado cerca de 600 milhões de reais até o final de 2006 (MELLO *et al.*, 2007).

O governo criou, também, incentivos tributários consolidados no PNPB, visando estimular a produção de oleaginosas nas regiões Norte e Nordeste, através da agricultura familiar. As usinas de biodiesel com SCS que adquiram a matéria-prima de agricultores familiares do Norte e Nordeste são as mais beneficiadas pelo direito à desoneração de alguns impostos. A Tabela 5 apresenta a estrutura do regime tributário do PNPB.



**Tabela 5** – Impostos Federais para produtores de Biodiesel com e sem o Selo Combustível Social (SCS)

	PIS/PASEP e CONFINS <sup>65</sup>			
	Desconto (%)	Valor (R\$/l)	Desconto (%)	Valor (R\$/l)
Região Norte, Nordeste e semi-árido	Sem SCS		Com SCS	
Mamona e Palma	30,50%	0,15	100%	0
Outra matéria-prima	0% <sup>1</sup>	0,218	67%	0,07
Região Centro-oeste, Sudeste e Sul				
Qualquer matéria-prima	0%	0,218	67%	0,07

<sup>1</sup> Neste caso a alíquota dos tributos federais sobre o diesel e biodiesel são iguais

Fonte: Adaptado do PNPB (2007)<sup>66</sup>

Na Tabela 5 nota-se que os produtores de biodiesel que adquirirem matéria-prima dos agricultores familiares (com SCS) têm reduções parciais ou totais dos impostos federais, sendo que a redução no imposto é total quando o produtor de biodiesel adquirir matéria-prima oriunda da mamona ou palma (dendê) da região Norte, Nordeste e semi-árida. A política de incentivo fiscal visa, não apenas, estimular a relação contratual entre empresas e os agricultores familiares, mas também beneficiar, de forma suplementar, o uso de matérias-primas pouco empregadas na produção de biodiesel (ABRAMOVAY & MAGALHÃES, 2007).

O PNPB, além do alinhamento com a estratégia nacional de diversificação da matriz energética, está alinhado a estratégia nacional de gerar emprego e renda nas diferentes regiões do País. Concomitantemente, pretende-se desenvolver mercados novos para potenciais produtos sub-aproveitados do setor agricultura e criar mercados alternativos de expressão para *commodities* brasileiras (petróleo/gás, complexo soja, setor sucroalcooleiro) e subprodutos (glicerina), bem como desenvolver tecnologias nacionais para produção de biocombustíveis (MCT, 2004). Além disso, o PNPB está alinhado à estratégia internacional de redução dos gases causadores do efeito estufa,

<sup>65</sup> Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) são contribuições sociais de natureza tributária devida pelas pessoas jurídicas. No caso geral a base de cálculo é o total das receitas da pessoa jurídica, sem deduções em relação a custos, despesas e encargos (receita bruta). Nesse regime, as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS são, respectivamente, de 0,65% e de 3%.

<sup>66</sup> PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Disponível em [www.biodiesel.gov.br](http://www.biodiesel.gov.br).

principalmente o CO<sub>2</sub>. O biodiesel é um combustível renovável, o CO<sub>2</sub> gerado na sua queima foi absorvido no processo de crescimento de oleaginosas, possibilitando ainda a obtenção de créditos de carbono, desde que em percentagem superiores às estabelecidas no PNPB.

Cabe ressaltar que todo agente econômico que se interessar em produzir e comercializar biodiesel pode fazê-lo, devendo, inicialmente, obter autorização da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP), cujos requisitos estão expressos em sua Resolução ANP nº 41, de 24 de novembro de 2004. Em seguida, é necessário que a pessoa jurídica beneficiária de autorização da ANP obtenha, junto à Secretaria da Receita Federal, um registro especial, como prevê a Lei nº 11.116/2005 (RODRIGUES, 2006). O PNPB admite também a possibilidade dos agricultores familiares se tornarem sócios ou quotistas das empresas produtoras de biodiesel, diretamente, ou por meio de associações ou cooperativas de produtores.

Uma vez estabelecida toda a base legal do biodiesel, foi promovido um mecanismo de incentivo a produção de biodiesel até 2008, quando o biodiesel passa a ser obrigatório. Para isto, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) adotou uma medida de antecipação da obrigatoriedade, por meio de leilões públicos realizados pela ANP.

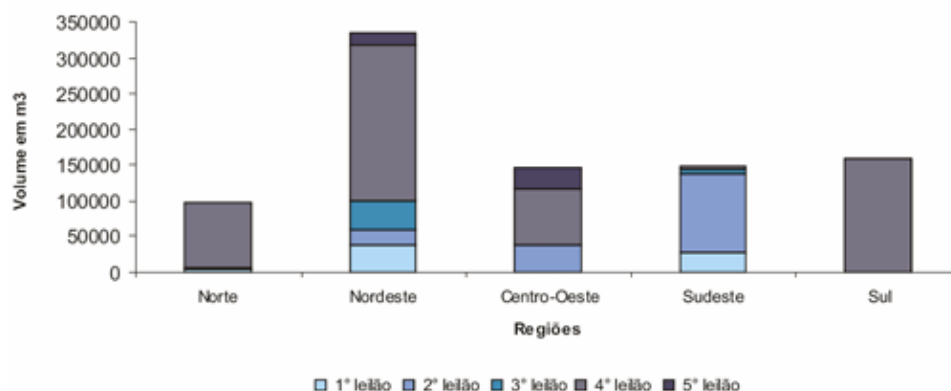
### **3.2.3. Leilões de Biodiesel**

Quanto aos leilões de compra de biodiesel realizados pela ANP, já foram realizados ao todo cinco leilões de biodiesel, sendo o primeiro em novembro de 2005 e o último em fevereiro de 2007. Os leilões de compra conduzidos pela ANP tiveram como objetivos básicos, estimular a formação/desenvolvimento do mercado interno de biodiesel, reduzindo a assimetria de informações quanto aos preços e aos custos e, ao mesmo tempo, antecipar as oportunidades de promover a inclusão social (GOMIDE, 2006). Por essa razão, a obrigatoriedade da mistura B2 foi condicionada aos volumes arrematados nos leilões, dos quais somente puderam participar as empresas detentoras do Selo Combustível Social.

Como o ano meta (2008) para a obrigatoriedade do B2 está muito próximo, o Ministério de Minas e Energia autorizou as refinarias a adicionar o biodiesel ao diesel a ser comercializado durante um período estabelecido. No período, o biodiesel será comercializado através das rotas de venda do diesel combustível. Desta forma, será possível às refinarias fornecer B2 às distribuidoras. As refinarias estarão obrigadas a comprar biodiesel de acordo com a capacidade de produção da região. A ANP estabelece o volume de biodiesel que cada refinaria deverá comprar. Além de esses fornecedores serem limitados àqueles produtores com o SCS, como já comentado, o volume a ser ofertado pelos produtores de biodiesel nos leilões foi definido de acordo com sua capacidade de produção anual. A partir de janeiro de 2008, o sistema de venda será igual ao do etanol, ou seja, somente as distribuidoras estarão autorizadas a adicionar o biodiesel ao diesel combustível, essa prática será proibida às refinarias (JIBC/MAPA, 2006).

Os produtores e importadores de petróleo estão obrigados a adquirir o biodiesel de acordo com sua participação no mercado, no qual a PETROBRÁS é a maior compradora, completando-se, assim, um ciclo que se inicia com a produção de matérias-primas (oleaginosas cultivadas por agricultores familiares) e se estende até os postos de distribuição de combustíveis.

De acordo com RODRIGUES (2006), a lógica dos leilões é que em condições normais de mercado e enquanto sua mistura biodiesel não fosse obrigatória, o uso de biodiesel só seria viável caso seu custo fosse competitivo com o diesel mineral. Assim, o desdobramento mais provável seria o fabricante aguardar a entrada em vigor dessa obrigatoriedade e/ou montar coalizão da oferta diante da situação de poderem ditar preços de venda. O volume arrematado de biodiesel por regiões do Brasil, nos cinco leilões de biodiesel promovidos pela ANP, está apresentado no Gráfico 1:



**Fonte: BIODIESEL BR (2007)**

**Gráfico 1.-** Volume de biodiesel (m<sup>3</sup>) arrematado nos cinco leilões de biodiesel da ANP

Como resultado geral foi arrematado um volume total de biodiesel de cerca de 880 milhões de litros, com ciclo de entregas que se iniciaram em 2006 e se estenderão até o fim de 2007. A capacidade total instalada das empresas vencedoras é de 1 bilhão de litros, ou seja, acima da necessidade de biodiesel para o B2 (820 milhões de litros).

As usinas de biodiesel da região Nordeste tiveram uma participação bastante expressiva em todos os leilões da ANP, como pode ser confirmado na Tabela 6. Essas usinas foram responsáveis por cerca de 54% do volume arrematado no primeiro leilão, 13% no segundo leilão, 80% no terceiro leilão, 31 e 38%, respectivamente, no quarto e quinto leilões.

**Tabela 6** - Total de Biodiesel arrematado no Nordeste e no Brasil em cada leilão da ANP, em milhões de litros.

Usinas	Volume arrematado (milhões litros)					
	1º leilão 22/11/05	2º leilão 30/06/06	3º leilão 11/07/06	4º leilão 11/07/06	5º leilão 15/02/07	Total
<b>Total Nordeste</b>	<b>38</b>	<b>21,78</b>	<b>40</b>	<b>168,2</b>	<b>17</b>	<b>285</b>
<b>Brasil biodiesel/ Floriano/PI</b>	38,0	-	40,0	-	-	78
<b>Brasil biodiesel/ Cratús/CE</b>	-	1,78	-	88,2	2,0	92
<b>Brasilbiodiesel/ Iraquara/BA</b>	-	20,0	-	80,0	6,0	106
<b>IBR/ Simões Filho/BA</b>	-	-	-	-	9,0	9
<b>Volume total arrematado no Brasil</b>	<b>70</b>	<b>170</b>	<b>50</b>	<b>550</b>	<b>45</b>	<b>885</b>

No Nordeste, a empresa BRASIL BIODIESEL ganha destaque em todos os leilões, arrematando 276 milhões de litros, 31% do total negociado no Brasil e quase 100% do total negociado no Nordeste (Tabela 6). A empresa participou também dos leilões, através de suas representantes em Tocantins (Porto Nacional), Rio Grande do Sul (Rosário do Sul), arrematando, com isso, mais de 70% do volume de biodiesel negociado no Brasil (BIODIESEL BR, 2007).

O mecanismo dos leilões de compra desempenhou papel importante neste início do mercado do biodiesel, havendo um grande interesse das indústrias, evidenciado pela superioridade da quantidade ofertada em relação à arrematada (RODRIGUES, 2006). Os leilões fixaram um preço de referência e as empresas vencedoras foram as que oferecem biodiesel ao menor preço, atendidos os critérios de qualidade exigidos pela ANP. Entretanto, em todos os leilões de biodiesel, foram registrados um deságio em relação ao preço máximo de referência e o preço arrematado (ANP, 2007). O preço médio arrematado nos 5 leilões da ANP é apresentado na Tabela 7.

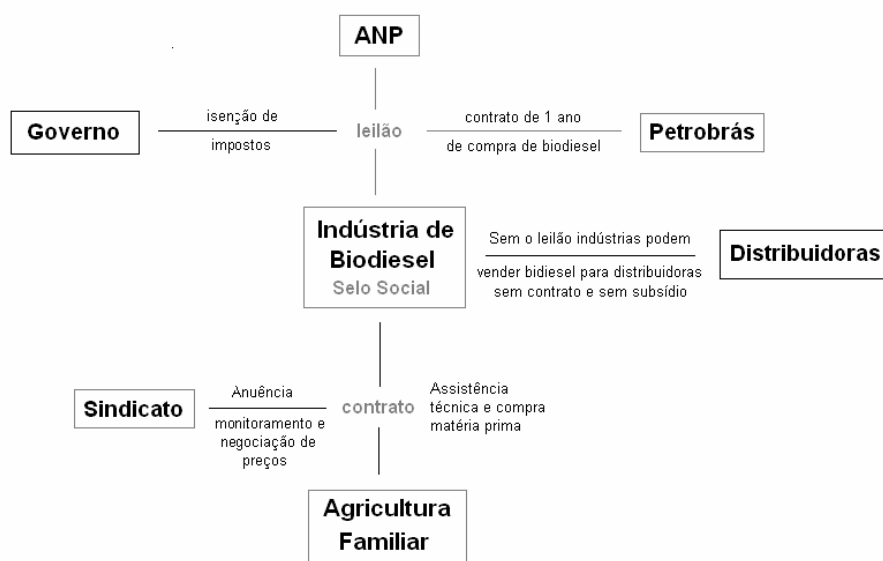
**Tabela 7** - Preço médio de biodiesel arrematado nos leilões da ANP, em R\$ por litros

Leilões	Preço médio (R\$/l)
1º	1,9
2º	1,86
3º	1,75
4º	1,74
5º	1,74

**Fonte: ANP (2007)**

Note-se, na Tabela 7, que a redução dos preços médios entre o primeiro e o quinto leilões atingiu 9,1% em termos nominais, mostrando que a indústria nacional vem avançando em sua curva de aprendizado e tende a ofertar o biodiesel a preços cada vez mais competitivos com o diesel mineral.

Como salientam ABRAMOVAY & MAGALHÃES (2007), o mercado de biodiesel se forma a partir de um conjunto de forças cuja junção é inédita: os contratos são públicos, monitorados socialmente, regulamentados pelo Governo e sujeitos à negociações que não se limitam à empresa e aos agricultores, pois os sindicatos não são apenas organizações de defesa dos interesses dos agricultores, mas participantes ativos na formulação e na execução dos contratos. De acordo com o autor, o PNPB estimulou a formação de “laços fracos” por parte de todos os protagonistas nele envolvidos, incentivando vínculos sociais entre atores que não pertencem ao mesmo universo econômico, político e cultural. Atores que antes se encontravam apenas em situações de conflito passaram a ser responsáveis conjuntamente pela formação de um arranjo produtivo. Assim as organizações sindicais passam a estabelecer relações de parceria com empresas, os empresários passam a apoiar várias atividades dos sindicatos e o Governo (no caso do MDA), deixa de ter relações quase exclusivas com os movimentos sociais e passa também a negociar com as empresas. A Figura 11 ilustra os agentes envolvidos no mercado de biodiesel criado pelo PNPB.



**Fonte: ABRAMOVAY & MAGALHÃES (2007)**

**Figura 11** – Agentes envolvidos no PNPB

Nesse arranjo produtivo diversas são as vantagens para as empresas produtoras em relação às despesas e custos transacionais. Além da isenção fiscal e da garantia de compra do produto pela PETROBRÁS, a empresa reduz seus custos na busca de parceiros, pois os dirigentes sindicais ajudam a organizar reuniões em que a empresa expõe seus objetivos e convoca os agricultores a aderirem aos contratos que não precisam, necessariamente, ser negociados e explicados individualmente (ABRAMOVAY & MAGALHÃES, 2007). Em virtude dos leilões, o biodiesel já responde pela contratação da produção de cerca de 60 mil famílias que desenvolvem a agricultura familiar, sendo que mais da metade dessas famílias se encontram no Nordeste, de acordo com MDA (KATNER, 2007).

Há que se destacar que a utilização de misturas superiores aos 2% está condicionada à realização de programas de testes. Desse modo, ainda que haja o atrativo econômico da utilização de níveis mais elevados de mistura nas regiões distantes das refinarias de petróleo (pois o óleo diesel chegaria a preços mais elevados), essa prática somente pode ser legalmente adotada a partir da homologação de programas de testes que assegurem a sua viabilidade (VIEIRA, 2006).

### **3.2.4. Cadeia de Produção de Biodiesel**

A rota de comercialização da matéria-prima ao produtor de biodiesel pode ocorrer de várias maneiras: os produtores de óleo vegetal ou de biodiesel compram diretamente dos produtores individualmente (por contrato); a venda de produtores de óleo vegetal de forma coletiva pela associação; a venda por um intermediário que compra dos agricultores para posteriormente vender aos produtores de óleo vegetal; o produtor de óleo vegetal ou de biodiesel cultivar diretamente a matéria-prima e extrair o óleo vegetal.

Vale lembrar que já existia uma cadeia de óleos vegetais, antes do crescimento do mercado para biodiesel. O Brasil é o segundo maior produtor e exportador mundial de óleo de soja do mundo, por exemplo. Nessa cadeia, os agricultores familiares do Nordeste, em particular, mantinham alguma relação (em menor intensidade que o agro-negócio) de fornecimento de óleos vegetais às empresas produtoras de óleo. Os produtores familiares plantavam a oleaginosa (geralmente mamona), que era vendida normalmente para atravessadores. Estes atravessadores, em geral, mantêm o agricultor familiar sob domínio, tendo maior poder de mercado e fixando o preço que lhe é mais conveniente, uma vez que tradicionalmente não apenas compram a produção do agricultor familiar, mas na maior parte dos casos financiam a lavoura, adiantando recursos que são descontados na colheita, quando a produção é vendida. A indústria processadora de óleos vegetais, por sua vez, compra a oleaginosa desses atravessadores e inicia o processamento. Parte dessa produção é vendida para exportação (BOM BRASIL, BRASWEY na Bahia, por exemplo) e outra parte é encaminhada para indústrias de beneficiamento, fabricantes de rações, cosméticos entre outros (como a CARGILL).

Quanto à extração de óleo para a produção de biodiesel, os processos de extração e rendimento em óleo de acordo com as oleaginosas, serão comentados no Capítulo 4; entretanto, em termos de capacidade instalada das indústrias de extração de óleo, cabe ressaltar que, em relação à soja, tanto a capacidade de produção como de expansão são significativos. A Tabela 8 mostra como se distribui a capacidade de extração de óleo por Estado. (As plantas extratoras de óleo no Brasil utilizam principalmente a soja e sua



capacidade de produção está ao redor de 143 mil t/dia, de acordo com os dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE).

**Tabela 8** – Capacidade de extração de óleo das indústrias associadas à ABIOVE nos Estados do Brasil, em 2006

<b>Estado</b>	<b>Capacidade (t/dia)</b>	<b>%</b>
<b>PR</b>	32.950	23
<b>RS</b>	23.600	16,4
<b>MT</b>	21.400	14,9
<b>GO</b>	18.800	13,1
<b>SP</b>	16.400	11,4
<b>MS</b>	9.360	6,5
<b>MG</b>	6.600	4,6
<b>BA</b>	<b>5.500</b>	<b>3,8</b>
<b>SC</b>	4.034	2,8
<b>PI</b>	<b>2.460</b>	<b>1,7</b>
<b>AM</b>	<b>2.000</b>	<b>1,4</b>
<b>PE</b>	400	0,3
<b>CE</b>	-	-
<b>Total</b>	<b>143.504</b>	<b>100</b>

**Fonte ABIOVE (2007)**

**([www.abiove.com.br](http://www.abiove.com.br))**

No Nordeste, de acordo com a ABIOVE, a capacidade de extração de óleo correspondia a cerca de 8mil t/dia em 2006, representando cerca de 6% da capacidade produtiva do Brasil. De acordo com a ABIOVE, a Bahia ocupa a oitava posição nacional em capacidade de processamento de óleos vegetais, com uma produção na faixa de 5.500 toneladas ao dia em 2006 (Tabela 8). Entretanto no Nordeste há várias indústrias extratoras de óleo de algodão e outros óleos, em atividade ou não, que não se encontram nas estatísticas da ABIOVE. O Estado da Bahia, antes do fortalecimento do mercado de biodiesel, já apresentava um importante mercado consolidado para óleos vegetais. O mercado de ricinocultura (mamona) sempre desempenhou um importante papel na economia baiana, cujas principais indústrias (ambas voltadas para a exportação do óleo de mamona) eram a BOM BRASIL e a BRASWEY. Além do mercado de ricinocultura, o óleo de dendê também ocupa uma importante posição na Bahia, especialmente para fins alimentícios, produção de sabões, cosméticos, entre outros. As principais empresas produtoras e consumidoras do óleo de dendê são a OLDESA e a AGROPALMA.

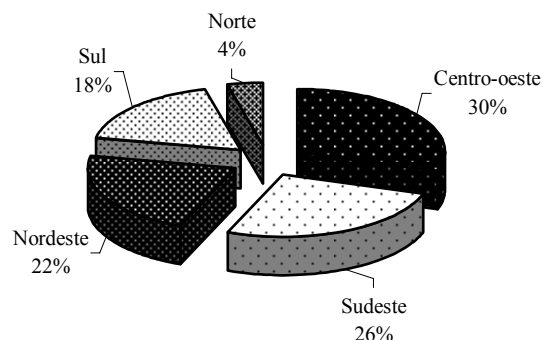
Especificamente para o Estado do Ceará foram localizadas 19 empresas que extraem óleo, principalmente do caroço de algodão, mas com possibilidade de extrair óleo de mamona e outras oleaginosas, representando uma capacidade de extração de óleo da ordem de 40 mil toneladas por mês<sup>67</sup>

No processo de extração de óleo da matéria-prima de biodiesel se geram diversos co-produtos, tal como as tortas oriundas da extração do óleo, que podem ser utilizados como ração ou adubos orgânicos. O volume de extração de óleo varia entre 20% e 50% e os co-produtos que restam, ainda têm um bom preço de mercado, gerando valores agregados. A possibilidade de agregar valor à produção de matéria-prima para a produção de biodiesel pela venda desses co-produtos vem estimulando o aumento no número de pequenas extratoras de óleo descentralizadas. O DNOCS pretende instalar 20 mini-usinas de extração de óleo vegetal nas proximidades de cada uma das usinas de biodiesel da PETROBRÁS (Candeias - BA, Quixadá-CE e Montes Claro-MG) no próximo ano, tendo como meta construir 600 unidades de extração de óleo vegetal até 2010 (BIODIESEL BR, 2007).

Existem atualmente 100 usinas produtoras de biodiesel distribuídas ao longo do território nacional (BIODIESEL BR, 2007). As plantas se localizam majoritariamente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. O Gráfico 2 mostra a distribuição das plantas de biodiesel, por região, em porcentagem.

---

<sup>67</sup> Levantamento da Petrobrás em relatório de pesquisa de campo, dados de 2006.



**Fonte: BIODIESEL BR (2007)**

**Gráfico 2.-** Distribuição Geográfica das Plantas de Biodiesel, por Região em 2007

Observa-se no Gráfico 2 que apenas a região Norte do País tem uma participação menor em relação às usinas produtoras de biodiesel e a região Centro-Oeste é que apresenta maior destaque. A lógica da distribuição das usinas no território nacional parece estar obedecendo à proximidade de matéria-prima, que no caso do Centro-Oeste, está centrada na soja. No caso do Nordeste, região onde atualmente estão localizadas 22% das usinas de biodiesel do Brasil, a oferta de matéria-prima é atualmente concentrada no cultivo da mamona.

A capacidade estimada de produção anual de biodiesel era de 581 mil m<sup>3</sup>/ano em 2006, considerando 300 dias de operação das usinas (ANP, 2007). Atualmente, dessas 100 usinas produtoras de biodiesel, apenas 18 unidades estão efetivamente produzindo biodiesel, com uma capacidade instalada de cerca de 600 mil/m<sup>3</sup> de biodiesel por ano, conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9** – Situação das Usinas de Biodiesel no Brasil em 2007

<b>Usinas de Biodiesel</b>		
<b>Situação</b>	<b>Unidades</b>	<b>Capacidade Instalada (Mil m<sup>3</sup>/Ano)</b>
<b>Produzindo</b>	18	608,0
<b>Construídas sem produção</b>	12	356,0
<b>Em construção</b>	23	1.321,6
<b>Usinas-Piloto</b>	13	13,1
<b>Em Planejamento</b>	34	2.256,5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>4.555,2</b>

**Fonte: BIODIESEL BR<sup>68</sup>**

A produção de biodiesel no país era ainda muito pequena no ano de 2006. Nesse ano, a produção do biodiesel puro (B100) das usinas autorizadas pela ANP, foi de cerca de 60.000m<sup>3</sup>, representando cerca de 0,18% da produção total de óleo diesel no País, que foi de aproximadamente 38.660 mil m<sup>3</sup> (ANP, 2007). Já no primeiro trimestre de 2007, o total de biodiesel produzido foi de 52.000m<sup>3</sup>, um valor ainda muito abaixo da produção necessária para quando o uso do B2 for obrigatório em todo o País, em 2008 (BIODIESEL BR, 2007). Quando se compara a produção do primeiro trimestre de 2007 com a do primeiro trimestre de 2006, nota-se que o aumento da produção foi de 1.254,4%. Se essa taxa de aumento se mantivesse até final do ano de 2007, o Brasil teria uma produção de quase 860 milhões de litros, o que ultrapassaria a demanda por B2 do Brasil, estimada em 840 milhões de litros (BIODIESEL BR, 2007). Mas, no caso em que a produção do primeiro trimestre de 2007 se mantenha igual nos próximos trimestres, a produção do ano de 2007 será de 208,22 milhões de litros, 25% do necessário para substituir 2% de todo o diesel consumido no Brasil. Portanto, existem indícios que a oferta de biodiesel possa não atender à demanda projetada desse biocombustível em 2007, provavelmente por falta de oferta de matéria-prima suficiente para atender a demanda, ou mesmo em virtude da precariedade atual da organização da cadeia produtiva. Possivelmente, se não houver disponibilidade local de matéria-prima, haverá importação.

Especificamente, no caso do Nordeste, foco desta tese, o estágio produtivo das usinas de biodiesel, sua localização, a capacidade instalada e as matérias-primas previstas para serem utilizadas em cada usina, estão apresentados na Tabela 10, a seguir:

---

<sup>68</sup> Situação em 26/01/2007.

**Tabela 10** – Situação das Usinas de Biodiesel no Nordeste em 2007

Usinas	Município	Estados	Capacidade (10 <sup>6</sup> litros/Ano)	Matéria Prima*
<b>Em Planejamento</b>				
Crow West Company	Luis Eduardo Magalhães	BA	76	Algodão e sebo
Dagris	Luis Eduardo Magalhães	BA	100	Mix
Orbitrade	Feira de Santana	BA	90	Mamona
Biovasf (COVESF)	Petrolina	PE	60	Mix
Biobrax	Salvador	BA	50	Mix
<b>Total (6)</b>			<b>376</b>	
<b>Em Construção</b>				
Petrobrás	Candeias	BA	57	Mix
Petrobrás	Quixadá	CE	57	Mix
Bioma	Porto Franco	MA	33	
Brasil Biodiesel	Itaqui	MA	120	Mix
Bahia Eco Bio Diesel	Jeremoado	BA	18	
Biobrax	Una	BA	60	Mix
Biotel	Campina Grande	PB	40	Mix
<b>Total (4)</b>			<b>385</b>	
<b>Produzindo</b>				
Brasil Biodiesel	Crateús	CE	120	Mix
IBR	Simões Filho	BA	24	Mix
Brasil Biodiesel	Iraquara	BA	120	Mix
Brasil Biodiesel	Floriano	PI	45	Mix
<b>Total (4)</b>			<b>309</b>	
<b>Piloto</b>				
DNOCS 1	Tauá	CE	0,8	Mamona
DNOCS 2	Tauá	CE	0,8	Mamona
NUTEC	Fortaleza	CE	0,7	Mamona
UFBA	Salvador	BA	5	Mix
UFPE	Recife	PE	0,06	Mix
CETENE	Serra Talhada	PE	1,8	Algodão e mamona
Petrobrás	Guamaré 1	RN	0,9	Mix
Petrobrás	Guamaré 2	RN	0,9	Mix
Grupo Brastec	Murici	AL	3	Mamona
<b>Total (8)</b>			<b>14,26</b>	

\*Mix refere-se a todas oleaginosas (mamona, algodão, amendoim, entre outras, sebo bovino e óleos e gorduras residuais (OGR)).

**Fonte: BIODIESEL BR (2007)<sup>69</sup>**

<sup>69</sup> Situação em 01/06/2007

A região Nordeste tem um nível de suficiência relativamente elevado quanto à capacidade instalada de produção de biodiesel (planejada, construída, produzindo e usinas-piloto), equivalente a cerca de 24% do potencial de produção apresentado na Tabela 5. Como pode ser constatado na Tabela 10, são quatro as usinas de biodiesel que já estão efetivamente produzindo, sendo estas responsáveis por cerca de 63% da capacidade produtiva de biodiesel atual do Brasil. Considerando ainda os dados apresentados na Tabela 10, a capacidade produtiva das usinas de biodiesel no Nordeste não seria um obstáculo para a participação dessa região na produção de biodiesel nacional.

O biodiesel produzido deverá ser transportado até as refinarias onde será efetuada a mistura ao diesel mineral. Conforme comentado, quando o mercado de biodiesel estiver consolidado, estima-se que as distribuidoras de petróleo comprarão o biodiesel diretamente dos produtores e depois de adicionar o biodiesel ao diesel, esse será vendido aos postos, para chegar ao consumidor final. A Tabela 11 mostra a localização das refinarias no Brasil e capacidade de produção de cada refinaria, assim como sua produção durante o ano de 2002.

**Tabela 11** - Produção das Refinarias de Petróleo no Brasil em 2002

<b>Refinaria</b>	<b>Capacidade (barril/dia)</b>	<b>Mercado (%)</b>
<b>REPLAN (SP)</b>	352.230	18,4%
<b>RLAM (BA)</b>	263.229	13,7%
<b>REDUC (RJ)</b>	242.158	12,6%
<b>REVAP (SP)</b>	225.805	11,8%
<b>REFAP (RS)</b>	188.695	9,8%
<b>REPAR (PR)</b>	188.695	9,8%
<b>RPBC (SP)</b>	169.825	8,9%
<b>REGAP (MG)</b>	150.956	7,9%
<b>RECAP (SP)</b>	53.463	2,8%
<b>REMAN (AM)</b>	45.916	2,4%
<b>MANGUINHOS (RJ)</b>	13.838	0,7%
<b>IPIRANGA (RS)</b>	12.580	0,7%
<b>LUBNOR (CE)</b>	6.290	0,3%
<b>SIX (PR)</b>	4.875	0,3%
<b>Total</b>	<b>1.918.553</b>	<b>100,0%</b>

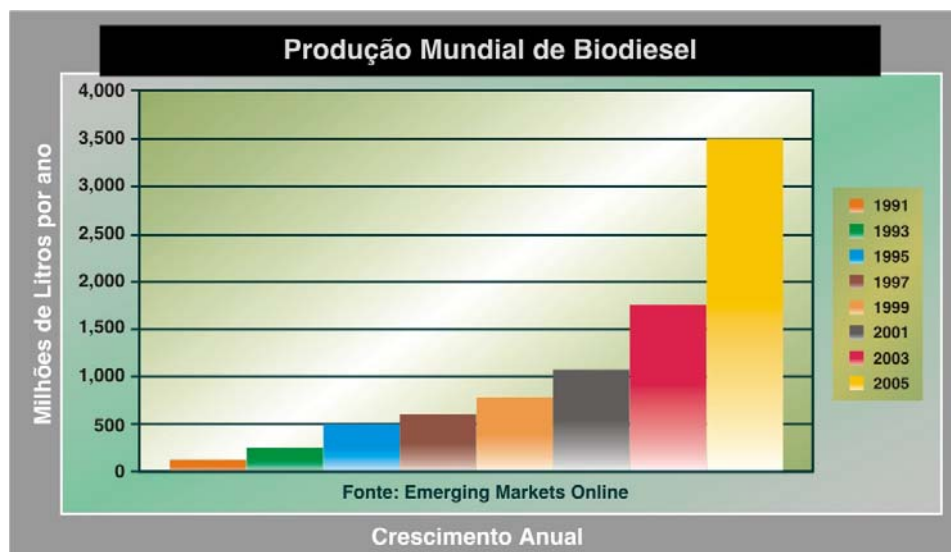
**Fonte: JICP/MAPA (2006)**

Note-se na Tabela 11 que a maior concentração das refinarias é na região Sudeste. Entretanto, na região Nordeste encontra-se 14% capacidade das refinarias de Petróleo. A Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (LUBNOR) está localizada em Fortaleza, no Ceará, com capacidade de 6 mil barris/dia e a Refinaria Landulpho Alves (RLAM) localiza-se em São Francisco do Conde, na Bahia e possui capacidade instalada de cerca de 293 mil barris/dia. Essas duas refinarias são do sistema Petrobras. No momento, a capacidade para a execução da mistura de biodiesel ao diesel das refinarias não representa um problema para execução da mistura de 2% prevista para 2008.

Existem cadastradas na ANP, 254 distribuidoras de combustíveis líquidos, das quais 149 estão operando regularmente, sendo que 138 possuem postos ostentando sua marca (bandeira) (BIODIESEL BR, 2007). O número de distribuidoras de combustíveis não representa um gargalo para o escoamento da produção de biodiesel (JIBC/MAPA, 2006).

### **3.2.5. Panorama da Produção Mundial de Biodiesel e das Oleaginosas Utilizadas para Produção de Biodiesel**

Em termos mundiais, o uso do biodiesel representou aproximadamente 3% do uso do óleo mineral bruto, em 2005/2006 (OIL WORLD, 2006). Na Europa, o volume de produção de biodiesel foi de 3.184 mil toneladas em 2005, registrando um aumento de 65% em relação ao ano de 2004, com destaque para a Alemanha, responsável pela produção de 1.669 mil toneladas, o que corresponde a cerca de 52% do volume produzido na Europa em 2005 (EBB, 2007). O Gráfico 3 apresenta a produção mundial de biodiesel de 1991 a 2005, em milhões de litros por ano.



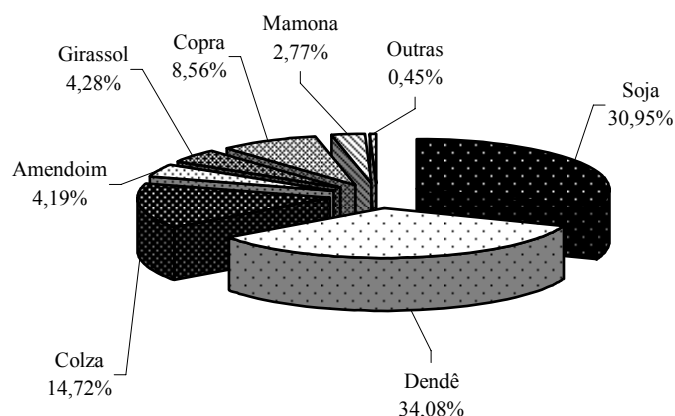
**Fonte: EMERGING MARKETS ONLINE (2007)**

**Gráfico 3.-** Produção Mundial de Biodiesel, de 1991 a 2005, em  $10^6$  litros/ano

Note-se no Gráfico 3 que a produção de biodiesel no mundo tem apresentado um forte crescimento. As quase 120 plantas de biodiesel instaladas ao longo do território europeu, majoritariamente na Alemanha, Itália, Áustria, França e Suíça são capazes de produzir um total de 6.100 mil toneladas de biodiesel por ano (EBB, 2007). O maior país produtor e consumidor mundial de biodiesel é a Alemanha, responsável por cerca de 42% da produção mundial (BIODIESEL BR, 2007). Já nos Estados Unidos, existem atualmente 87 plantas produtoras de biodiesel, das quais 13 estão expandindo suas operações e 65 plantas estão ainda em construção (NATIONAL BIODIESEL BOARD, 2006).

Estima-se que para a substituição de 5% de diesel por biodiesel na Europa e nos Estados Unidos, seria necessário utilizar 15% e 13% de suas áreas plantadas totais respectivamente (IEA, 2006). Especificamente quanto à produção de oleaginosas em nível mundial, que podem ser utilizadas como matéria-prima para produção de biodiesel, a produção de dendê sobressai com 34% de participação no mercado mundial, imediatamente acompanhada pela soja, que detém uma fatia de 31% do total produzido. O Gráfico 4 apresenta a participação da produção de oleaginosas (%) no total de produção mundial na safra de 2005/2006.





**Fonte: Adaptado do OIL WORLD (2006)**

**Gráfico 4.-** Participação da Produção Mundial de Oleaginosas, em percentagem (%), no período 2005/2006.

Na Europa, o biodiesel é predominantemente produzido a partir da colza (canola) e nos EUA a principal matéria-prima utilizada é a soja, complementada com óleos de fritura usados (BIODIESEL BR, 2007). No Brasil, a soja entra como insumo principal em mais da metade das plantas de biodiesel (BIODIESEL BR, 2007).

A adoção de padrões específicos de qualidade do biodiesel é imprescindível para garantir que o produto produzido seja adequado ao uso e não cause danos ao motor. No Brasil, conforme comentado, esses padrões são instituído pela ANP (Resolução ANP nº 42 de 2004). Na Europa, o *Comité Européen de Normalization* (CEN)<sup>70</sup> é o órgão responsável por harmonizar as padronizações técnicas desenvolvidas por diferentes entidades européias (EBB, 2007), sendo essas as normas mais restritivas em termos mundiais. Nos EUA, os padrões para o biodiesel são estabelecidos pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM International) (NATIONAL BIODIESEL BOARD, 2006)<sup>71</sup>. Entretanto, várias são as matérias-primas que podem ser utilizadas para a produção de biodiesel dentro desses padrões mundiais.

<sup>70</sup> Disponível em [www.cenorm.be/cenorm/index.htm](http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm). Acesso em dezembro de 2006.

<sup>71</sup> Disponível em [www.astm.org/](http://www.astm.org/). Acesso em dezembro de 2006.

No Brasil existe uma grande oportunidade de diversificação de matéria-prima para a produção de biodiesel, principalmente devido ao clima favorável, a disponibilidade de terras agricultáveis para a expansão agrícola e a disponibilidade de mão de obra. Entretanto, a produção agrícola envolve não somente a disponibilidade de terras e mão de obra, mas também insumos, assistência técnica, instalações de beneficiamento, além de infra-estrutura de transporte e logística. A dimensão territorial do País, a diversidade de situações agroecológicas existentes, a complexidade dos sistemas socioeconômicos e a dinâmica de uso e ocupação do solo impedem qualquer generalização simplista a esse respeito. Nas palavras de SACHS (2007), a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis é apenas uma parte do desafio, a outra consiste em transformar a revolução energética em curso numa alavanca do desenvolvimento rural.

Com o biodiesel, o Governo brasileiro procura evitar o que ocorreu com o etanol no tocante à concentração em uma cultura ou fonte específica – a monocultura da cana-de-açúcar (RODRIGUES, 2006). A diversificação de matérias-primas torna-se uma vantagem no sentido de permitir a descentralização da produção de biodiesel. As empresas com Selo Combustível Social entram no mercado com uma marca social que poderá lhes proporcionar maiores oportunidades de acesso e menores riscos de contestação, pois o Selo Combustível Social é o único sistema de certificação de biocombustível disponível no mercado internacional (ABRAMOVAY & MAGALHÃES, 2007). A integração de diferentes categorias de agricultores e de agentes econômicos nas diversas regiões brasileiras é, ao mesmo tempo, um desafio quanto à necessidade de se direcionar políticas públicas adequadas como pela necessidade de desenvolvimento tecnológico, pesquisas e logística de produção e distribuição.

Especificamente em relação ao semi-árido abre-se uma oportunidade de inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel através do plantio diversificado de oleaginosa. Faz-se necessário a discussão sobre as particularidades socioeconômica e ambiental, bem como, dos aspectos característicos da agricultura familiar nessa região e da aptidão agrícola local para o plantio de oleaginosas, a fim de analisar essa oportunidade também como uma estratégia sinérgica de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

## Capítulo 4- Caracterização socioambiental do semi-árido Nordestino, a dinâmica da Agricultura Familiar e a diversificação do cultivo de oleaginosas para a produção de biodiesel

### 4.1. Caracterização da Região Nordeste

A Região Nordeste (NE) é composta por nove Estados: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Piauí (PI), Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN), Sergipe (SE). Essa região pode ser dividida em quatro sub-regiões, diferenciadas entre si pelas suas características edafoclimáticas<sup>72</sup>, a saber: Zona da Mata, Agreste, Sertão e Meio-Norte (Figura 12).



**Figura 12** – Sub-regiões do Nordeste

A Zona da Mata estende-se ao longo do litoral, desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia. Nessa área está concentrada a maior parte da população do Nordeste, principalmente em grandes cidades, como Salvador (BA), Aracaju (SE), Maceió (AL), Recife (PE), João Pessoa (PB) e Natal (RN). Essa parte é a mais úmida e de solos mais

<sup>72</sup> Edafoclimáticas - condições do solo e clima como: tipo de solo, vegetação, temperatura, umidade do ar, radiação, vento e composição atmosférica.

férteis do Nordeste. Os principais produtos cultivados na Zona da Mata são a cana-de-açúcar (em RN, PB, RN, AL, SE e BA), o tabaco (cultivado na área do Recôncavo Baiano) e o cacau (cuja produção está concentrada nas cidades de Ilhéus e Itabuna, no Sul da Bahia). As culturas canavieira e cacaueira desenvolvidas nessa região desde o Brasil Colônia, ainda desempenham importante papel para a economia regional, posicionando-se entre as principais atividades econômicas em vários estados, em termos de geração de emprego e renda. Entretanto, essas atividades entraram em declínio a partir dos anos 90, levando à grave crise de emprego e renda. Os cultivos de cana-de-açúcar e cacau substituíram as áreas de Mata Atlântica que predominavam nessa sub-região. Recife é a principal metrópole desse litoral açucareiro, onde também estão instaladas as indústrias têxteis e alimentares. Essa sub-região é rica em recursos minerais, com destaque para o petróleo e o gás natural, produzidos na Bahia, em Sergipe e no Rio Grande do Norte.

O Agreste é a área de transição entre a Zona da Mata e o Sertão. Localizado no alto do Planalto da Borborema, que funciona como um obstáculo natural para a chegada das chuvas ao sertão e se estende do sul da Bahia até o Rio Grande do Norte. Do lado leste do planalto estão as terras mais úmidas (Zona da Mata), do outro lado, para o interior, o Sertão (seco). Grandes feiras de alimentos e de gado deram origem a cidades importantes do Agreste, como Caruaru (PE), Campina Grande (PB) e Feira de Santana (BA), que são pólos industriais e de estabelecimentos comerciais importantes do interior Nordestino.

O Sertão é uma extensa área de clima semi-árido, caracterizado pela escassez e irregularidade de chuvas e pela ocorrência de secas. O Sertão abrange parte de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Piauí e quase integralmente os Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, isto é, a maior parte do Nordeste. Está localizado geralmente no interior desses estados, mas chega até o litoral, nos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. O Sertão está inserido nos ecossistemas da região das caatingas e florestas decíduais do Nordeste (domínio das caatingas). A vegetação da caatinga é típica do semi-árido e é formada por pequenas árvores, em geral espinhosas, que perdem as folhas durante a seca (decíduas) e plantas de folhas grossas, chamadas de plantas suculentas. De acordo com as estimativas, a caatinga ocupa uma área de cerca de um

milhão de quilômetros quadrados, sendo que 80% já se encontram alterados pela ação humana e somente 0,28% de sua área encontram-se protegidos em Unidades de Conservação (EMBRAPA, 1996). As áreas onde ocorrem esses ecossistemas típicos do semi-árido têm sido exploradas como fontes variadas de matérias-primas para a população dessa zona, suprindo-lhe necessidades alimentares, de vestimenta, de medicamento, de energia e de habitação e atendidas às demandas da indústria tradicional, de fibras e oleaginosas (MENDES, 1997.).

A economia do Sertão semi-árido foi até os meados da década de 80 vinculada às atividades econômicas do complexo gado-algodão-lavouras alimentares. Entretanto, devido à ocorrência de uma seca de duração quinquenal (seca de 1979-1983) e da chegada ao Nordeste, em 1983, do bicudo do algodoeiro<sup>73</sup>, houve uma forte queda na produção do algodão arbóreo<sup>74</sup>, de fibra longa (algodão mocó), resistente à escassez e irregularidade de distribuição das chuvas e aos solos de baixa fertilidade dessa região, levando ao declínio dessa atividade econômica sertaneja. As atividades de exploração de recursos minerais também são importantes nessa sub-região. Na região foram explorados metais e pedras preciosas, como o ouro e a água marinha, minerais não-ferrosos (cobre), ferro e metais ferrosos (tungstênio), materiais industriais e refratários (mica), materiais cerâmicos (caulim), materiais de construção (como o gesso), entre outros. Também é destaque o perímetro irrigado do Vale do São Francisco implantado a partir da década de 70. Nas últimas décadas, a irrigação no Vale do São Francisco impulsionou a geração de emprego e renda em vários municípios, onde foram implantadas empresas agrícolas e assentadas famílias de agricultores que, juntos, tornaram a região um dos principais pólos de produção da fruticultura irrigada do País, destacando-se Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). A irrigação promoveu uma nova dinâmica na região semi-árida, principalmente no que se refere à inserção de famílias de baixa renda na produção de frutas e na agroindústria para consumo interno e exportação (uva, manga, banana, goiaba, acerola e diversas outras frutíferas). Contudo, em grande parte do sertão, a agricultura de sequeiro e a pecuária (principalmente de caprinos e ovinos) são as principais atividades econômicas e o meio de subsistência para grande

---

<sup>73</sup>Cientificamente conhecido como *Anthonomus grandis*, Boheman.

<sup>74</sup>O algodão arbóreo era cultivado exclusivamente na Região Nordeste, tendo como principal característica a de ser uma cultura plurianual, diferente do herbáceo que tem ciclo anual.

parte da população, apoiadas em base técnica frágil, utilizando na maior parte dos casos, técnicas tradicionais, para o aproveitamento das condições naturais desfavoráveis.

Por último, o Meio-Norte é uma faixa de transição entre a Amazônia e o Sertão, abrange os Estados do Maranhão e Piauí, é também chamada de Mata dos Cocais, devido às palmeiras de babaçu e carnaúba. Apresenta um clima seco (semi-árido) na sua porção próxima ao Sertão e um clima mais úmido em sua porção próxima à Amazônia. Essa área está cada vez mais integrada à Região Norte, especialmente pelo Porto de Itaqui, próximo a São Luís (MA), que funciona como grande terminal de exportação de minérios provenientes da Serra de Carajás, situada no estado do Pará.

#### **4.2. Caracterização da Vulnerabilidade Climática e Ambiental Atual do Semi-Árido**

Mais de 50% da área da região Nordeste tem clima semi-árido (Bsh na classificação de Köppen<sup>75</sup>). O clima semi-árido é caracterizado por alta temperatura média anual, variando de 23 a 27°C, precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800mm/ano, alta insolação média anual (2.800h/ano), evaporação de 2.000mm/ano ou mais e umidade relativa do ar média em torno de 50%. O volume de água evaporada é cerca de três vezes o volume de água precipitada. Nesse contexto, o balanço chuva x evaporação é extremamente desfavorável. Somente nos meses nos quais se concentram as chuvas é que esse balanço é positivo e propicia condições para a prática da agricultura. O regime de chuvas irregular e escasso é marcado pela concentração das precipitações em uma única estação, de apenas três meses ao ano, em anos de precipitação normal. O principal período da chuva da porção setentrional da região semi-árida estende-se de fevereiro a maio. A variabilidade espacial e temporal das chuvas nessa região é expressiva. CARVALHO & EGLER (2003) citam que durante a estação chuvosa de 1985 houve uma anomalia positiva de chuva de 200%, já em 1983 houve uma anomalia negativa de 100% e, em termos de variabilidade espacial, em 1970, na parte norte do Nordeste, houve uma

---

<sup>75</sup>A classificação de Köppen baseia-se fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano. Nesta classificação o semi-árido tem clima quente e seco, com chuvas de inverno. Pluviosidade média anual inferior a 1.000mm/ano com chuvas irregulares. Médias anuais térmicas superiores a 25°C e abrangência: sertão nordestino.

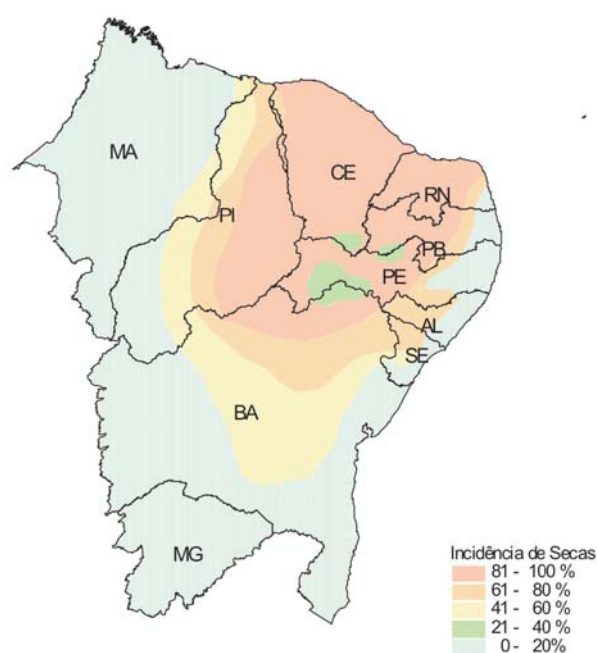
seca severa enquanto que na parte sul foi registrada uma umidade um pouco acima do normal.

Além da variável clima, outros fatores afetam o ciclo hidrológico da região semi-árida. A geologia, representada por rochas cristalinas (praticamente impermeáveis), com capacidade de acumulação de águas restrita às zonas fraturadas, que afloram em grandes extensões de terra, aumenta a taxa de evaporação e de escoamento superficial da região (CAMPOS, 1995). Conseqüentemente, a maioria dos rios do semi-árido tem regime intermitente, permanecendo secos nos períodos de estiagem. Nessa região, apenas os rios Parnaíba e São Francisco apresentam um significativo volume perenizado sem reservatórios/barragens. Os solos são na maioria areno-argilosos, rasos, com embasamento rochoso aflorante, o que impede a infiltração, restringe a descarga para o aquífero subterrâneo e limita o crescimento da vegetação (FREITAS, 1999).

O semi-árido nordestino tem como traço principal as freqüentes secas, que podem ser caracterizadas pela ausência, escassez, alta variabilidade espacial e temporal das chuvas. Não é rara a sucessão de anos de seca seguidos de anos com precipitações muito superiores à média. Como já comentado, essa variabilidade climática é influenciada pelos fenômenos El Niño e La Niña. Particularmente sobre a Bacia do Atlântico Equatorial, o El Niño causa a predominância de um ramo de ar descendente que inibe a formação de nuvens e este efeito está associado com chuvas abaixo do normal no norte do semi-árido Nordeste, principalmente no Estado do Ceará (FREITAS, 1999). O evento ENOS de 1997/1998 foi considerado um dos maiores do século em termos de prejuízos globais. Na região Nordeste na estação chuvosa (janeiro a maio), as precipitações foram inferiores a 200mm, quando a média nesse período é de 400 a 500mm (ABRH, 1998). Ao contrário do El Niño, o La Niña está relacionado à chegada de frentes frias na Região Nordeste, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas, bem como a chuvas acima da média sobre a região semi-árida do Nordeste. ALVES E CAMPOS (2005) estudaram os impactos da variabilidade climática na agricultura de subsistência do estado do Ceará, foram estudadas as correlações entre os eventos El Niño e La Niña na produção, rendimento, preço e valor agregado das culturas de milho e feijão no período de 1952 a 2001. Os resultados indicam que, em média, nos anos de La Niña e neutros (sem El Niño), ocorrem anomalias positivas de

produção, rendimento e um superávit de valor agregado (da ordem de R\$ 70 milhões de reais) nesses cultivos. Nos anos de El Niño, o Estado do Ceará e a agricultura de subsistência perderam em torno de R\$ 80 milhões de Reais.

As secas incidem com maior frequência e intensidade nas áreas do sertão nordestino, marcadas pelo clima semi-árido. As áreas de maior incidência de secas no Nordeste correspondem aos espaços diretamente influenciados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), como, por exemplo, o espaço denominado de “miolão semi-árido” (interior do semi-árido), onde as secas são mais intensas, ocorrendo com frequência de 81 a 100%, determinado pelo deslocamento da ZCIT rumo ao norte (CARVALHO & EGLER, 2003). A Figura 13 ilustra a área de incidência de seca no Nordeste.



**Fonte: CARVALHO *et al.*, (1994)**

**Figura 13** - Área de Incidência de Secas

O conjunto das áreas de ocorrência de secas foi denominado, em 1936, de Polígono das Secas<sup>76</sup>. Em 1951, o Polígono das Secas abrangia quase a totalidade da região semi-árida Nordestina e parte do norte do Estado de Minas Gerais, correspondendo a uma área de

<sup>76</sup> De conformidade com a Lei nº 175, de 1º.01.1936.



950.000km<sup>2</sup> no Nordeste<sup>77</sup>. Os critérios utilizados na delimitação da área oficial de ocorrência de secas no Nordeste foram alterados a partir da Constituição de 1988. Com a aprovação da Lei Federal nº 7.827 em 1989, que instituiu o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste-FNE, o espaço de ocorrência de secas no Nordeste passou a ser denominado de Região Semi-Árida do FNE. A região semi-árida, para efeito da aplicação desse fundo, era a região inserida na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – Sudene, com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm (áreas isoietas média anual de 800mm), o que correspondia a uma área de cerca de 837.000km<sup>2</sup>, incluindo parte de todos os Estados nordestinos, com exceção do Maranhão. A SUDENE foi extinta e substituída pela Agência de Desenvolvimento do Nordeste-ADENE, criada pela Medida Provisória Nº 2.146-1 de 2001, porém, a área abrangida pelo semi-árido nordestino para a ADENE foi praticamente definida da mesma forma que para a SUDENE (áreas isoietas média anual de 800mm). A partir de 2005, o Ministério da Integração Nacional expandiu a área do semi-árido abrangida pela ADENE, atualizando os critérios que delimitam a região semi-árida, acrescentando, de forma alternativa, ao critério da isoietas de 800 mm, os critérios de Índice de Aridez (IA) e Risco de Seca. A definição de aridez deriva de metodologia desenvolvida por THORNTHWAITE (1941) e, conforme esta definição, o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água através da evapotranspiração potencial (EP)<sup>78</sup> e o índice de aridez (IA) é a razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. As regiões semi-áridas são definidas como uma região que tem o IA maior que 0,21 e menor que 0,50, medidas, neste caso, no período entre 1961 e 1990. Quanto ao risco de seca, o semi-árido é definido pelo déficit hídrico em pelo menos 60% do ano, de acordo com o modelo de balanço hídrico<sup>79</sup>, tomando como base o período entre 1960 a 1990. Assim,

---

<sup>77</sup> De conformidade com a Lei nº 1.348 de 10 de fevereiro de 1951.

<sup>78</sup> Em adição à perda por evaporação do solo, a água é também perdida pela transpiração de superfícies vegetadas (solo + vegetação ou superfície de água + vegetação). Esta perda combinada é conhecida como evapotranspiração. A Evapotranspiração Potencial (ETP) é a perda máxima de água para a atmosfera, em forma de vapor, que ocorre com uma vegetação em crescimento, sem restrição de água no solo. Desta maneira, inclui a evaporação do solo e transpiração da vegetação em um intervalo de tempo. Para medir a evapotranspiração potencial são utilizados dados de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e insolação.

<sup>79</sup> O conceito de balanço hídrico (Thornthwaite, 1948) avalia o solo como um reservatório fixo, no qual a água é armazenada até o máximo da capacidade de campo, sendo somente removida pela ação das plantas. O balanço hídrico possibilita estimar a evapotranspiração potencial, a evapotranspiração real, o excedente hídrico, a deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo. Evapotranspiração real é a quantidade de água que nas condições reais se evapora do solo e transpira das plantas. Deficiência hídrica é diferença entre a evapotranspiração potencial e a real e, excedente hídrico é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água.

pela inclusão desses dois índices para definir a região semi-árida, houve a inclusão de novos municípios na região semi-árida do Nordeste. Foram integrados ao semi-árido nordestino cerca de 57 municípios, com área total de 38.000km<sup>2</sup> e uma população adicional de aproximadamente 945.000 habitantes. A nova região semi-árida abrange também a parte norte do Estado de Minas Gerais, totalizando uma área de 980.089,26km<sup>2</sup> e 1.135 municípios, entretanto a região semi-árida do Norte de Minas Gerais não será objeto de análise nesta tese.

No semi-árido a intensa pressão exercida pelas atividades humanas sobre ecossistemas frágeis, cuja capacidade de regeneração é baixa, determina uma alta propensão à desertificação. Para a Convenção Internacional das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD)<sup>80</sup> dos países afetados por seca grave e/ou desertificação<sup>81</sup>, o fenômeno da desertificação ocorre nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas e o critério para delimitação dessas áreas é o Índice de Aridez. De acordo com esse índice, quando a razão estiver entre 0,03 e 0,20, o clima é considerado árido; enquanto a faixa entre 0,21 e 0,50, o clima é caracterizado como semi-árido e quando estiver entre 0,51 e 0,65, considera-se sub-úmido seco (MMA, 2006). As áreas susceptíveis à desertificação (ASD) no Brasil são localizadas na região Nordeste, onde se encontram espaços climaticamente caracterizados como semi-áridos e sub-úmidos secos. Tais espaços estão inseridos em terras dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia (MMA, 2004). O mapa da susceptibilidade à desertificação do Brasil, elaborado pelo MMA, determinou três categorias de susceptibilidade: Alta, Muito Alta e Moderada. As duas primeiras referem-se respectivamente às áreas áridas e semi-áridas definidas pelo índice de aridez. A terceira é resultado da diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias. Assim, de um total de cerca de 980 mil km<sup>2</sup> de áreas susceptíveis à desertificação, cerca de 238 mil km<sup>2</sup> são de susceptibilidade muito Alta, 384 mil km<sup>2</sup> são de susceptibilidade alta e 358 mil km<sup>2</sup> são moderadamente susceptíveis (Figura 14).

---

<sup>80</sup> Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca-CCD: instrumento jurídico do Direito internacional, concluído pela ONU em 1994 e ratificado por mais de 200 países, do qual o Brasil tornou-se signatário em 25 de junho de 1997.

<sup>81</sup> Desertificação de acordo com a CCD é a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e atividades humanas. A degradação da terra compreende a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e redução da qualidade de vida das populações (MMA, 2006)



**Fonte: Programa de Combate à Desertificação (MMA, 2004)**

**Figura 14** – Vulnerabilidade do Nordeste à Desertificação em 1998

Grande parte do semi-árido nordestino tem as áreas susceptíveis à desertificação, ou seja, são áreas onde a fragilidade do ecossistema favorece o processo de instalação da desertificação. Existem quatro núcleos de desertificação<sup>82</sup> no semi-árido: o núcleo de Gilbués, no Piauí, o núcleo de Irauçuba, no Ceará, o núcleo do Seridó, no Rio Grande do Norte, e o núcleo de Cabrobó, em Pernambuco (MMA, 2004). Os territórios dos municípios atingidos por esses núcleos de desertificação somam cerca de 22.000km<sup>2</sup> (IBGE, 2000). Cerca de 2,5% da área do semi-árido já são considerados desertos, principalmente devido ao sobre pastoreio, salinidade, desmatamento, práticas agrícolas inadequadas e atividades de mineração (IBGE, 2000).

#### 4.3. Caracterização da Vulnerabilidade Socioeconômica do Semi-Árido

A Tabela 12 apresenta a distribuição da área territorial do Nordeste e do semi-árido, bem como os municípios e a população no Nordeste e no semi-árido nordestino. Os dados territoriais (área e municípios) para a região Nordeste e para população do

<sup>82</sup> Núcleo de desertificação são áreas onde o fenômeno já se manifesta.

Nordeste e semi-árido, foram extraídos do Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000) e os dados territoriais do semi-árido derivam do Ministério de Integração Nacional (MI, 2005).

**Tabela 12** – Área Territorial Oficial dos Estados da Região Nordeste e Semi-Árido (km<sup>2</sup>), Número de Municípios e População da Região Nordeste e Semi-Árido (números absolutos e percentagem) em 2000

Nordeste				Semi-árido		
Estado	Área <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	Municípios <sup>1</sup>	População <sup>1</sup>	Área (km <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	Municípios <sup>2</sup>	População <sup>1</sup>
AL	27.930	101	2.822.621	12.687	38	838.740
BA	567.300	415	13.070.250	393.056	265	6.453.283
CE	146.300	184	7.430.661	126.515	150	4.211.292
MA	333.400	217	5.651.475	-		-
PB	56.590	223	3.443.825	48.785	170	1.966.713
PE	98.940	185	7.910.992	86.710	122	3.236.741
PI	252.400	221	2.840.969	150.454	127	969.399
RN	53.310	166	2.770.730	49.590	147	1.601.170
SE	22.050	75	1.779.522	11.175	29	396.399
NE	<b>1.558.220</b>	<b>1.787</b>	<b>47.721.045</b>	<b>878.973</b>	<b>1.048</b>	<b>19.673.737</b>

<sup>1</sup>Fonte: Censo demográfico 2000 (IBGE, 2000); <sup>2</sup>Fonte: Ministério da Integração Nacional -(MI, 2005)

A área total do Nordeste equivalente a pouco mais de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 18,3% do território nacional. Esta região possui 1.787 municípios e abrigava uma população de aproximadamente 50 milhões de pessoas, cerca de 28% da população brasileira, no ano 2000 (Tabela 12). A partir dos dados da Tabela 12 é possível deduzir que a densidade demográfica no Nordeste era de 30 habitantes/km<sup>2</sup> no ano 2000. Os Estados com maior densidade demográfica no Nordeste são: Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Todos esses Estados têm uma densidade demográfica superior a 50 hab/km<sup>2</sup>. A Bahia e o Maranhão possuem as maiores áreas territoriais entre os Estados nordestinos, abrigando respectivamente 27,4% e 11% da população total, contudo ambos os Estados apresentam densidade demográfica abaixo da média Nordestina (23 habitantes/km<sup>2</sup> e 17 habitantes/km<sup>2</sup> respectivamente).

A área de semi-árido corresponde a 56,6 % da área total do Nordeste, sendo que a maior parte dos Estados do Rio Grande do Norte (94%), Pernambuco (88%), Paraíba (86%) e

Ceará (85%) estão inseridos no semi-árido (Tabela 12). Na Tabela 12 é possível observar que a população estimada da região semi-árida é de quase 20 milhões de habitantes, sendo mais de 50% da população dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba, que habitam o semi-árido. Essa população correspondia a 12,2% da população brasileira e cerca de 40% da população total do Nordeste no ano 2000 (IBGE, 2000). A participação percentual da população nordestina residente no semi-árido era de aproximadamente 36% na década de 70 e, a partir da década de 90 foi aumentando, em parte devido ao declínio das atividades canavieiras na Zona da Mata. Esse fato indica que está havendo uma maior concentração populacional no semi-árido (CARVALHO & SANTOS, 2003). A densidade demográfica média do semi-árido era de 22 habitantes/km<sup>2</sup> no ano 2000, sendo que o semi-árido de Alagoas, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte tem densidade demográfica superior a 30 habitantes/km<sup>2</sup>. O semi-árido nordestino é considerado o espaço sujeito à semi-aridez, mais povoado do mundo (AB'SABER, 1999). O fato de o semi-árido nordestino apresentar alta densidade demográfica é particularmente preocupante, quando se reconhece que a região apresenta uma frágil base de recursos naturais.

Quanto à participação da região Nordeste na produção de bens e serviços finais representado pelo Produto Interno Bruto, o Nordeste contribuiu com aproximadamente 14% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 2000, o que corresponde ao valor aproximado de 144 milhões (IBGE, 2004). A participação do PIB do semi-árido no PIB do Nordeste foi de apenas 19,8% em 1990, embora tenha alcançado 21,6% em 1998 (VERGOLINO, 2001).

No ano de 2000, a média do PIB *per capita* no Nordeste foi de R\$3.000,00, sendo que o Maranhão e o Piauí registraram valores em torno da metade da média do Nordeste (IBGE, 2004). A média brasileira para o PIB *per capita* foi de R\$ 6.500,00 no mesmo ano, indicando o baixo desenvolvimento da região Nordeste no contexto brasileiro. A relação entre o PIB *per capita* do semi-árido nordestino o Nordeste como um todo foi 53,19% em 1998, portanto o PIB *per capita* no semi-árido era de aproximadamente a metade do nordestino, indicando o baixo patamar de rendimento da população do semi-árido. As condições de vida no semi-árido, em referência a outras regiões do Nordeste, pioraram, em termos médios, nos últimos 30 anos (GUIMARÃES NETO, 1998).

O Nordeste é a região brasileira que apresenta a mais alta desigualdade social em relação à distribuição de renda mensal, medida pelo Índice de Gini<sup>83</sup>. Esse índice era de cerca de 0,650 no início dos anos 90 e, atualmente, situa-se em 0,587, enquanto que esse indicador para o Brasil é de 0,567 (PNUD, 2002). Vale ressaltar que a dimensão econômica é incapaz de traduzir de forma completa o grau de desenvolvimento de uma população. Nesse sentido, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador mais completo, que considera outras características sociais além da renda que também influenciam a qualidade da vida humana. O IDH foi criado para medir o nível de desenvolvimento humano dos países a partir de indicadores de educação (alfabetização e taxa de matrícula), longevidade (expectativa de vida ao nascer) e renda (PIB *per capita*)<sup>84</sup>. Em 2003, o IDH do Nordeste variou de 0,56 a 0,65, enquanto a média brasileira era de 0,75 (IBGE, 2004). De acordo com o Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (PNUD, 2002), os cinco Estados, no ano 2000, com IDH-M<sup>85</sup> mais baixo no Brasil eram Alagoas (0,633), Maranhão (0,647), Piauí (0,673), Paraíba (0,678) e Sergipe (0,687). No semi-árido o IDH-M gira em torno de 0,60, sendo o nível de renda o principal responsável pelo baixo IDH dos municípios do semi-árido (MI, 2005). A Tabela 13 apresenta esses indicadores sociais para alguns territórios rurais do semi-árido.

---

<sup>83</sup> O índice de Gini é o indicador usado para medir o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar *per capita*. Seu valor varia de zero (0), quando não há desigualdade (a renda de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a um (1), quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda da sociedade e a renda de todos os outros indivíduos é nula).

<sup>84</sup> Os valores do IDH variam de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total). Países com IDH até 0,499 são considerados de desenvolvimento humano baixo; com índices entre 0,500 e 0,799 são considerados de desenvolvimento humano médio; e com índices maiores que 0,800 são considerados de desenvolvimento humano alto.

<sup>85</sup> IDH-M - Refere-se a IDH Municipal. Na avaliação da renda dos habitantes de um município, o uso do PIB *per capita* torna-se inadequado. Por exemplo: nem toda a renda produzida dentro da área do município é apropriada pela população residente, por isso esse índice adota o cálculo da renda municipal *per capita*.

**Tabela 13** – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Educação, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Longevidade, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Renda e Índice de Gini Renda no Semi-Árido Nordeste, 2002

	<b>IDH-M</b>	<b>IDH-M Educação</b>	<b>IDH-M Longevidade</b>	<b>IDH-M Renda</b>	<b>Gini- Renda</b>	<b>Gini Terra</b>
<b>Alagoas</b>						
Médio Sertão	0,552	0,631	0,586	0,439	0,66	0,62
<b>Bahia</b>						
Chapada Diamantina	0,627	0,729	0,627	0,523	0,59	0,73
<b>Ceará</b>						
Sertão Central	0,619	0,686	0,668	0,503	0,60	0,60
<b>Paraíba</b>						
Cariri	0,620	0,718	0,624	0,518	0,52	0,71
<b>Pernambuco</b>						
Sertão do Pajeú	0,630	0,705	0,672	0,512	0,59	0,63
<b>Piauí</b>						
Vale dos Guaribas	0,574	0,634	0,596	0,492	0,59	0,61
<b>Rio Grande do Norte</b>						
Sertão do Apodi	0,628	0,716	0,651	0,522	0,57	0,68
<b>Sergipe</b>						
<i>Sertão Ocidental</i>	0,612	0,681	0,623	0,525	0,55	0,74

**Fonte: ADHB-Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2002) in  
MDA/INCRA (2004)**

Na Tabela 13 pode ser notado o baixo IDH-M renda nos municípios do semi-árido nordestino, em relação à média brasileira (0,75), sendo este componente do IDH que pesa mais para reduzir o IDH dos municípios do semi-árido. Note-se também que o índice de Gini-renda e de terra são, em todos os territórios do semi-árido amostrados, superior a 0,50, indicando a alta concentração de renda e terra nos municípios do semi-árido, ou seja, expressando a desigualdade da distribuição de renda e terra encontrada particularmente no semi-árido, mas característico da região Nordeste como um todo. A estreita relação entre o Gini-renda e terra, indica o peso da atividade agrícola na composição da renda da população do semi-árido Nordeste. Na maioria do semi-árido o IDH-M Educação é baixo (Tabela 13). Na zona rural do semi-árido de uma maneira em geral, o baixo nível de instrução reflete na baixa capacitação da população rural,

difícultando a criação de novas alternativas de superação das dificuldades e carências sociais, econômicas e agrícolas (PNUD, 2002). No semi-árido, principalmente na zona rural, os professores são mal remunerados e não recebem capacitação adequada, as condições estruturais são precárias e muitas vezes inexistentes, o que contribui para desestimular a população a continuar os estudos e permanecer na região (FALCÃO & OLIVEIRA, 2004). O baixo IDH-M longevidade relacionado à população da zona rural do semi-árido é altamente influenciado pelo consumo de água de baixa qualidade e pela alimentação deficiente, principalmente em vitaminas e minerais (FALCÃO & OLIVEIRA, 2004). Esses fatos contribuem para o aumento da taxa de mortalidade, especialmente entre as crianças do semi-árido.

Entretanto o semi-árido não é um espaço homogêneo e sim caracterizado por expressivas diferenças internas, como resultado de suas particularidades físicas, marcadas pela alta variabilidade temporal e espacial das chuvas e pelas diferentes relações sociais de produção praticadas nesse ambiente. Esses fatores conferem uma diversificada utilização dos solos, como a agricultura de sequeiro, pecuária, agricultura irrigada e mineração. Nesse sentido, no Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido-PDSA, o semi-árido está dividido em três áreas Geoestratégicas, a saber: Sertão Norte, Ribeira do São Francisco e Sertão Sul (MI, 2005). Essa divisão foi baseada na dinâmica do desenvolvimento do semi-árido, a partir da avaliação da influência da rede urbana e dos sistemas urbano-regionais. As metrópoles de Salvador, Recife e Fortaleza e as aglomerações urbanas e cidades médias, como Petrolina-Juazeiro, Mossoró-Assu, Campina Grande, Caruaru-Garanhuns e Vitória da Conquista, dentre outras, estruturam os espaços sertanejos e exercem um forte papel polarizador sobre o semi-árido (MI, 2005). A Figura 15 apresenta a divisão e localização dessas áreas do semi-árido, segundo a PDSA.





**Fonte: Ministério da Integração (2005)**

**Figura 15** – Divisão do Semi-Árido de acordo com as Áreas Geoestratégicas do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido - PDSA

O Sertão Norte é caracterizado pelas limitações climáticas, escassez de solos agricultáveis e baixo nível tecnológico, sendo a produtividade e a produção agropecuária da região relativamente pequena, quando comparada com outras regiões do País e até mesmo do Nordeste (MI, 2003). Destacam-se no sertão Norte a pecuária bovina de corte e leite, laticínios, pecuária ovino-caprina, avicultura e algodão, este último em recuperação, sobretudo no Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará (MI, 2005). A região da Ribeira do São Francisco corresponde ao vale do rio São Francisco e a partes das bacias de alguns dos seus afluentes. Em decorrência da disponibilidade das águas perenes do Rio São Francisco, a agricultura irrigada constitui a base da economia regional. Destacam-se na região as cadeias produtivas da uva e da manga, além de vários arranjos produtivos locais como os da cebola, do melão, do arroz e da banana e a geração de energia hidrelétrica em Paulo Afonso, Sobradinho, Itaparica e Xingó que é exportada para todo o Nordeste (MI, 2005). No sertão sul o destaque é a pecuária bovina associada, em alguns lugares, às culturas de feijão e milho. Também ocorrem áreas representativas de produção de sisal e mamona (MI, 2005). A Tabela 14 resume

alguns indicadores sociais do semi-árido, em cada uma das áreas três áreas estratégica mencionadas.

**Tabela 14** - Área, População, Densidade Demográfica e Taxa de Urbanização das Regiões Estratégicas de Planejamento do Semi-Árido em 2000

	<b>Sertão Norte</b>	<b>Ribeira de São Francisco</b>	<b>Sertão Sul</b>
<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	435.154,7	214.157,7	328.822,7
<b>População</b>	11.533.487	2.804.182	6.534.121
<b>Densidade demográfica (hab/ km<sup>2</sup>)</b>	26,5	13,1	19,9
<b>Taxa de urbanização (%)</b>	59,0	54,3	52,8

**Fonte: Ministério da Integração (2005)**

Na Tabela 14 pode-se observar que o Sertão Norte tem maiores dimensões territoriais e demográficas, concentra a maior taxa de urbanização entre as áreas geoestratégicas definidas no PDSA. Essa região é a porção do semi-árido onde predominam microrregiões geográficas de rendimentos familiares baixos e médios, combinados com alta variação do PIB. Trata-se de uma região pouco desenvolvida, mas, de crescimento econômico dinâmico (MI, 2003). Nota-se a alta concentração demográfica na parte mais seca do semi-árido, bem como a importância das pequenas e médias cidades dessa parte do semi-árido, caracterizado pela alta taxa de urbanização (Tabela 14). No sertão Norte, além das atividades agropecuárias, as atividades econômicas mais importantes são as comerciais e de prestação de serviços que ocorrem nas cidades e as atividades industriais que ocorrem principalmente nos centros regionais Caruaru, Campina Grande, Crato-Juazeiro-Barbalha e Mossoró (MI, 2005).

A Ribeira do São Francisco é a área geoestratégica de menor extensão, correspondendo ao espaço de maior proximidade com o Rio São Francisco, o que significa maior disponibilidade hídrica. Apesar disso, trata-se da área de menor densidade populacional entre as três áreas geoestratégicas do semi-árido, correspondente a menos da metade da densidade observada no Sertão Norte, que é a área mais densamente povoada (Tabela 14). Como as duas outras áreas geoestratégicas - e o próprio conjunto do Semi-Árido - a Ribeira do São Francisco apresenta taxa de crescimento da população urbana muito mais elevada do que aquelas apresentadas para a população total, confirmando que a migração campo-cidade é a principal dinâmica demográfica no

conjunto do semi-árido (MI, 2005). Nessa região predominam microrregiões geográficas de médio rendimento e de média e baixa variação do PIB, caracterizando-se como uma área medianamente desenvolvida e relativamente dinâmica dentro do semi-árido (MI, 2003).

O Sertão Sul apresenta dados intermediários entre as duas outras áreas geoestratégicas do semi-árido, quanto à dimensão territorial, a densidade demográfica e taxa de urbanização (Tabela 14). Sua população representa 31,3% do contingente total do semi-árido e a densidade de 19,9 habitantes/km<sup>2</sup>, indica uma expressiva dispersão demográfica, com relativo baixo índice de urbanização (52,78%), indicando a permanência de formas sociais fundadas na propriedade fundiária (Tabela 14). São dominantes no Sertão Sul as microrregiões geográficas de médio rendimento domiciliar e de baixa e média variação do PIB, sendo uma região medianamente desenvolvida, como a Ribeira de São Francisco, mas de economia pouco dinâmica (MI, 2003). A maior parte de suas terras ocupa o semi-árido da Bahia e de Minas Gerais, também complementada pelo território semi-árido de Sergipe. As atividades industriais concentram-se principalmente em Feira de Santana e Montes Claros.

No que se refere à dinâmica populacional, o semi-árido se configura historicamente em uma área de deslocamento populacional, tanto intermunicipal quanto interestadual, principalmente devido à ocorrência de secas de grande intensidade e de profundo impacto social. As secas que ocorreram nos anos de 1958, 70, 83, 93 e 98 provocaram colapso da produção agrícola de subsistência de milhões de habitantes da zona rural, gerando fome e miséria de grande parte da população (SUDENE, 1999). As secas afetam de formas diferentes o diversificado nível de atividade produtiva do semi-árido e, conseqüentemente a dinâmica populacional dessa região. De acordo com CAMPOS (1997), a falta ou a ocorrência de chuva total abaixo do normal é definida como seca climatológica, essa chuva alimenta o sistema solo x planta, o qual permite a produção agrícola. De acordo com o mesmo autor, a seca edáfica é definida como a deficiência de umidade no solo devido à escassez ou uma má distribuição das chuvas, que não permite que as culturas completem seus ciclos vegetativos. A seca edáfica afeta predominantemente as atividades econômicas da agricultura de sequeiro, as quais resultam no flagelo e na migração dos camponeses para a área urbana ou para as frentes

de serviço, gerando a seca social (CARVALHO & SANTOS, 2003). Por outro lado, a seca hidrológica caracteriza-se pela falta de abastecimento dos açudes e da infiltração de água no solo (deficiência de recarga dos aquíferos) e afeta, em geral, as atividades econômicas mais rentáveis, que têm mais condições de ultrapassar os períodos críticos devido à formação de estoques e recursos financeiros (CAMPOS, 1997).

Deve-se ressaltar, ainda, o colapso do complexo algodão - pecuária - lavouras alimentares, que expulsou do campo um grande contingente de pequenos agricultores que se mantinham dessas atividades, a partir dos meados do ano 80. Grande parte desses agricultores, sem terra, migrou para as pequenas e médias cidades do próprio semi-árido. O desaparecimento (quase que completo) de lavouras comerciais (como o algodão, agave, mamona e oiticica, dentre as principais) contribuiu para reforçar o empobrecimento dos agricultores familiares, com reflexos negativos sobre as inúmeras pequenas cidades do próprio semi-árido, para onde passou a se deslocar um crescente número de pessoas do campo (CARVALHO & SANTOS, 2003). Esses cultivos agrícolas tinham colheitas mais “garantidas” que o milho e feijão e significavam alternativas para a manutenção da agricultura familiar e da economia local, pois geravam renda anual.

Entretanto, o deslocamento da população do campo para as cidades do semi-árido, resultando na relativa alta taxa de urbanização do semi-árido (como exposta na Tabela 14) pode ser chamado de um movimento “rurbano”. A denominação rurbana é devido à maioria dessas pequenas cidades do semi-árido não apresentarem a menor infraestrutura ou disponibilidade de serviços coletivos, que possam ser consideradas como um padrão tipicamente urbano, pelo contrário, caracterizam-se por aglomerados populacionais em áreas, que são muitas vezes extensão das áreas rurais (CARVALHO & EGLER, 2003). Além disso, atualmente é expressivo o crescimento da entrada de pessoas na região Nordeste. Os resultados do Censo 2000 sugerem que essas pessoas são, em sua maioria, nordestinos que voltaram para a sua região de origem, depois de terem passado parte de suas vidas em grandes centros urbanos do Sudeste ou em outras regiões. A região apresentou um crescimento de imigração (entrada) de 19% no período de 1995 a 2000. Muitas vezes devido à dificuldade de inserção desse migrante no mercado de trabalho em outras regiões do Brasil (mormente o Sudeste), muitos optam pelo retorno à região

de origem, atraídos pela possibilidade de aposentadorias rurais e de outros incentivos financeiros (CARVALHO *et.al.*, 1994). Os programas e políticas de desenvolvimento governamentais para região semi-árida, objetivam em última análise minimizar a ocorrência de novas formas de exclusão social e da explosão da fome, como ocorreram no passado.

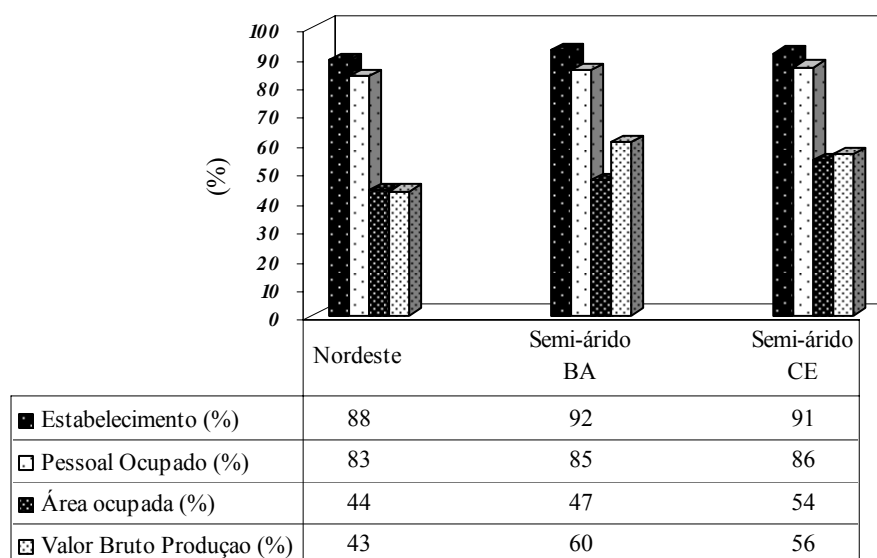
As vulnerabilidades climática, ambiental, socioeconômica e a dinâmica populacional do semi-árido nordestino expõem claramente a necessidade de se buscar alternativas que converjam para a inclusão social de parte da população excluída do processo de desenvolvimento local, considerando que o setor agrícola desempenha um papel estratégico no universo social, econômico e político local. Não obstante, além do panorama geral de vulnerabilidade atual do semi-árido nordestino, somam-se as já comentadas projeções das mudanças climáticas para essa região. Neste contexto, a seguir serão comentados alguns aspectos relevantes sobre a dinâmica da agricultura familiar no semi-árido.

#### **4.4. Agricultura Familiar**

##### **4.4.1. Aspectos Gerais da Agricultura Familiar no Semi-Árido**

O setor agrícola desempenha um papel estratégico no universo social, econômico e político nordestino. Esse setor é dinâmico e fortemente heterogêneo, representado por algumas regiões onde o processo de modernização tecnológica se deu de forma rápida, mas pela predominância de uma agricultura tradicional, de base familiar - a agricultura familiar - em sua maioria praticada por agricultores detentores de um baixo poder aquisitivo (LEITE *et al.*, 2006). A agricultura familiar é definida como aquela em que a mão-de-obra da família predomina sobre a mão-de-obra contratada, além disso, o agricultor administra a propriedade, a renda familiar origina-se principalmente das atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento e a área de produção tem extensão máxima determinada pelo que a família pode explorar (INCRA/FAO, 2000). Alguns aspectos gerais balizam a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel como uma estratégia de adaptação a mudanças climáticas.

Mais de 50% dos estabelecimentos de agricultura familiar brasileiros estão no Nordeste (MDA, 2007). A agricultura familiar é a forma de organização produtiva mais numerosa do setor agrícola do semi-árido e a grande maioria do pessoal ocupado com a atividade agrícola do semi-árido está na agricultura familiar (CARVALHO& SANTOS, 2003). Não obstante, os estabelecimentos familiares serem mais numerosos e deterem a maioria do pessoal ocupado com a atividade agrícola nordestina, eles ocupam uma menor parcela da área agrícola, demonstrando a alta concentração fundiária encontrada no Nordeste como um todo e no semi-árido, em particular (INCRA/FAO, 2000). O Gráfico 5 apresenta os dados do número de estabelecimentos, área ocupada, do Valor Bruto da Produção (VBP)<sup>86</sup> e do pessoal ocupado com a agricultura familiar, em relação às outras categorias de agricultura (patronal, intuições religiosas, entidades públicas e outras) no Nordeste e no semi-árido baiano e cearense.



**Fonte: Banco de Dados do MDA/INCRA/FAO (1996)**

**Gráfico 5.-** Número de Estabelecimentos, Área Ocupada, Pessoal Ocupado e Valor Bruto da Produção da Agricultura Familiar em Porcentagem (%), para Estados Nordestinos e Nordeste, 1996.

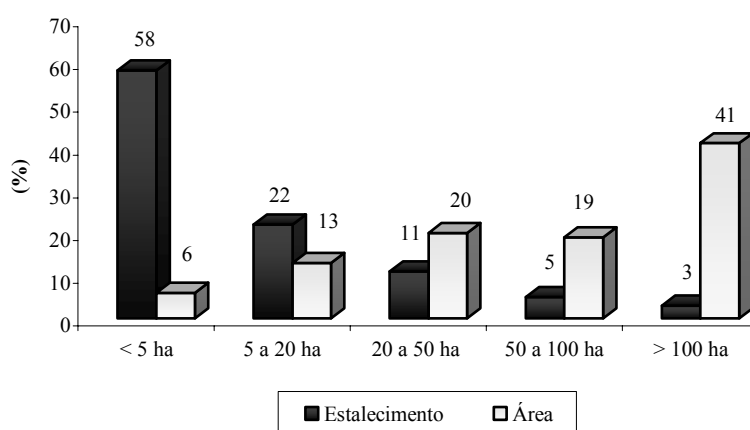
Em 1996, a maioria dos estabelecimentos agrícolas do Nordeste era familiar (88%) e a maioria do pessoal ocupado com a atividade agrícola no Nordeste estava na agricultura

<sup>86</sup> Valor Bruto da Produção (VBP) representa o valor da produção colhida/obtida de todos os produtos animais e vegetais.

familiar (83%). Essas propriedades, porém, ocupavam somente 43% da área agrícola nordestina e geravam aproximadamente 43% do valor bruto da produção (VBP) (Gráfico 6). Cabe ressaltar que a maioria dos estabelecimentos agrícolas familiares localiza-se no semi-árido, 92% dos estabelecimentos agrícolas familiares da Bahia e 91% no caso do Ceará ou o equivalente (MDA/INCRA/FAO, 1996). Os agricultores familiares apresentam um valor de produção bruta por área relativamente maior que os agricultores patronais. Este fato é mais marcante no semi-árido, por exemplo, na Bahia, os familiares produzem cerca de 60% do VBP, mas ocupam 47% das terras agrícolas e no Ceará 56% da área agrícola total do semi-árido (Gráfico 5). Os agricultores familiares tiveram uma importante no VBP regional, destacando-se a produção da pecuária de leite (53,3%), suínos (64,1%), feijão (79,2%), mandioca (82,4%), milho (65,5%) e algodão (56,3), em 1996 (INCRA/FAO, 2000). Nesse sentido, a agricultura familiar demonstra ser uma atividade capaz de fixar o homem no campo e de utilização de recursos produtivos mais eficientes que os patronais, mesmo detendo uma menor proporção da área de terra.

#### **4.4.2. Estrutura Fundiária, Acesso aos Recursos Produtivos e Renda**

No Nordeste, os agricultores familiares em sua maioria, possuem uma área de terra menor que o suficiente para gerar excedente de produção para a comercialização. A maioria dos estabelecimentos agrícolas familiares do Nordeste caracterizava-se por ser de pequeno tamanho, cerca de 60% tinham menos de 5ha (com área média de 1,7ha) que quando somados aos 21,9% dos estabelecimentos com área entre 5ha e menos de 20ha, os quais possuem uma área média de 9,8ha, obtinha-se 81% dos estabelecimentos familiares desta Região (INCRA/FAO, 2000). O Gráfico 6 apresenta o percentual de estabelecimentos familiares conforme a área ocupada no Nordeste.



**Fonte: Banco de Dados do MDA/INCRA/FAO (1996)**

**Gráfico 6.-** – Percentual de Estabelecimentos Familiares por Área Ocupada de acordo com Grupos de Área Total no Nordeste, em 1996

Quanto à posse da terra, no Nordeste, em 1996, de acordo com os dados do INCRA/FAO (2000), aproximadamente 65% dos agricultores familiares são proprietários (ocupando cerca de 92% da área), 6,9% arrendatários (1% da área), 8,4% parceiros (1,6% da área) e 19,3% ocupantes (5,6% da área). No semi-árido do Ceará, por exemplo, os proprietários são pouco menos de metade (48,9%). Os produtores familiares sem terra - arrendatários (5,5%) e parceiros (23,7%) - representam 29,2% e os ocupantes - responsáveis por estabelecimentos que não dispõem de titulação sobre a terra - 21,8% (MDA/INCRA/FAO, 1996). A área média dos estabelecimentos varia entre 43,7 hectares (no caso dos arrendatários, que são, entre os produtores familiares, os que possuem estabelecimentos com área média mais elevada) e 3,5 hectares (parceiros), os proprietários possuem, em média, 26,8 hectares, e os ocupantes, 8,3 hectares.

O Acesso ao Crédito e à Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) é altamente heterogêneo entre os agricultores, refletindo em grande diversidade no que se refere à produção e à renda gerada por seus estabelecimentos. Em 1996, o número de agricultores com acesso a assistência técnica era muito reduzido no Nordeste (2,7%) e mais de 80% desses estabelecimentos usava força de trabalho animal (20,6%) ou manual (61,1%), sendo o uso de adubos e corretivos e de técnicas de conservação do



solo, limitado a 16,8% e 6,8% dos estabelecimentos, respectivamente (INCRA/FAO, 2000). De acordo com a mesma fonte, em média somente cerca de 6% dos agricultores familiares desta região eram associados às cooperativas e somente 26,8% tinham acesso ao crédito agrícola oficial.

Muitos agricultores familiares trabalham com renda monetária negativa, especialmente os mais pobres, voltados para produção de subsistência, entretanto a renda total do estabelecimento é positiva, pois inclui o auto-consumo. A sustentabilidade econômica das pequenas propriedades do semi-árido é fortemente condicionada pela inserção em determinadas cadeias produtivas, pela localização do estabelecimento e pelo grau de capitalização do agricultor. A Tabela 15 apresenta a área total (ha), a área média (ha), a Renda Total (RT)<sup>87</sup> e Renda Monetária (RM)<sup>88</sup> por hectares (R\$/ha), da agricultura familiar e das outras categorias agrícolas (patronais, instituições religiosas, entidades públicas e outras) para os Estados do Nordeste, da Bahia e do Ceará e para os municípios integrantes da nova região do semi-árido baiano e cearense.

---

<sup>87</sup> Renda Total (RT) representa o somatório do Valor Bruto da Produção ajustado do estabelecimento, calculado pela soma do valor da produção vendida de milho e o valor da produção vendida da produção colhida/obtida/fabricado de origem animal e vegetal (INCRA/FAO, 2000).

<sup>88</sup> Renda monetária (RM) = receita total – receita de exploração mineral – despesa total (INCRA/FAO, 2000).

**Tabela 15** – Área Total (ha), Área Média por Estabelecimento (ha), Renda Total por Área (R\$/ha) e Renda Monetária por Área (R\$/ha), para as Categorias Agrícolas Familiar e Outros (patronais e outros tipos) da Região Nordeste e Estado e Semi-Árido do Ceará e da Bahia, em 1996

	Nordeste	Bahia		Ceará	
		Total Estado	Semi-árido	Total Estado	Semi-árido
<b>Área (ha)</b>					
<b>Familiar</b>	34.043.218	11.317.921	9.442.832	4.742.881	4.347.511
<b>Outros</b>	44.252.878	18.524.979	10.437.051	4.220.961	3.687.905
<b>Área média estabelecimentos (ha)</b>					
<b>Familiar</b>	17	18	19	15	16
<b>Outros</b>	163	244	249	126	134
<b>RT/ha (Reais/ha)</b>					
<b>Familiar</b>	70,00	59,22	51,13	75,07	73,09
<b>Outros</b>	39,00	24,96	21,13	46,03	43,64
<b>RM/ha (Reais/ha)</b>					
<b>Familiar</b>	42,00	40,22	32,59	36,59	35,51
<b>Outros</b>	32,00	22,59	17,55	36,21	35,96

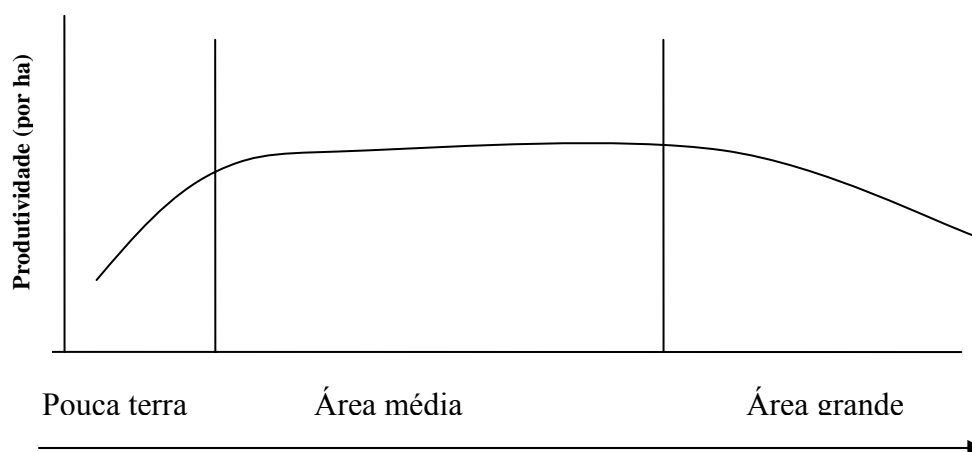
**Fonte: Elaboração Própria a partir do Banco de Dados do MDA/INCRA/FAO (1996)**

Note-se que a maioria da área ocupada por estabelecimentos agrícolas familiares está no semi-árido. No caso da Bahia, 9Mha dos 11Mha ocupados pela agricultura familiar está no semi-árido (cerca de 80%) e no caso do Ceará, 4,3 Mha, dos 4,7 Mha ocupados pela agricultura familiar, cerca de 90%, estão no semi-árido (Tabela 15). Cabe ressaltar que a diferença entre a renda total e a renda monetária caracteriza o valor da produção que não é vendida, ou seja, que é utilizada para auto-consumo e consumo intermediário para alimentação animal. Essa diferença é quase inexistente entre os agricultores patronais (outros) e é bastante significativa entre os familiares (Tabela 15). A renda auferida pelos estabelecimentos familiares é no mínimo 5 vezes inferior a dos patronais (outros); este fato está relacionado também às menores áreas disponíveis para os familiares. Entretanto, quando se considera o rendimento econômico da terra (RT/ha), nota-se que por área os agricultores familiares são bem mais produtivos que os patronais. Em média,

a renda total dos agricultores familiares nordestinos por unidade de área era de R\$ 70,00 por ha/ano, em contrapartida, dos agricultores patronais (outros) era de R\$ 39,00 (Tabela 15).

Em geral a agricultura familiar tem um maior rendimento por área em relação à patronal, devido a menor área disponível, o que faz esse agricultor aproveitar de forma mais intensiva possível a área do estabelecimento agrícola. Por outro lado, a agricultura familiar no semi-árido culmina na diversificação e na utilização de insumos menos agravantes para o meio ambiente, se comparado ao modelo utilizado no agro-negócio. (GUANZIROLI *et al.*, 2001). Do total dos estabelecimentos agrícolas familiares do Nordeste, 92,7% (1.905.534) têm renda total inferior a R\$ 3.000,00 (INCRA/FAO, 2000). Nesse contexto, a renda total por estabelecimento familiar era de R\$ 1.159,00 reais e a renda monetária por estabelecimento era de R\$ 696,00. O apoio às atividades agrícolas nos estabelecimentos familiares do Nordeste que gere mais do que R\$ 58,00 por mês (R\$ 696,00/12) podem trazer benefícios para o combate à pobreza no meio rural, devido à baixa renda desses agricultores associados ao elevado contingente populacional vinculado a esta atividade (EVANGELISTA, 2000).

A área média dos estabelecimentos familiares no Nordeste é de 17ha, variando muito pouco entre os Estados; por exemplo, na Bahia o tamanho médio dos estabelecimentos familiares é de 18ha, no Ceará é de 15ha, por outro lado a área média dos agricultores patronais é no mínimo 10 vezes superior aos familiares (Tabela 15). A diferença de acesso à terra é um fator determinante da variação da renda. No Ceará, por exemplo, a área média dos estabelecimentos dos produtores familiares quase sem renda é de 6,9 hectares, já os produtores familiares que recebem uma renda baixa tinham em média 14,5 hectares e dos produtores familiares que recebem uma renda considerada média e alta é de cerca de 30 a 70 hectares, respectivamente (INCRA/FAO, 2000). A Figura 16 ilustra o efeito do tamanho da propriedade na produtividade do estabelecimento agrícola.



**Fonte: Adaptado de GUANZIROLI, 1998**

**Figura 16** - Efeito do Tamanho da Propriedade na Produtividade do Estabelecimento

Para os agricultores familiares que dispõem de pouca terra a diferença de produtividade são mais ou menos proporcionais à área do estabelecimento. Já no caso dos produtores familiares que possuem mais de 50 hectares, as diferenças se tornam mais qualitativas e correspondem principalmente a uma maior produtividade e em segundo lugar, a uma área maior.

Como a agropecuária é pouco intensiva e tecnificada entre esses produtores, o acesso à terra torna-se determinante para a produção e a renda. O pequeno tamanho dos estabelecimentos agrícola familiares, muitas vezes dificulta sua exploração sustentável. O solo é utilizado até a exaustão, pois os agricultores possuem pouca terra para deixar o solo se recuperar (pousio) e para gerar renda superior ao nível de reprodução familiar (FERREIRA, 2003). Também, as diferenças ao acesso a terra com melhores condições produtivas refletem diretamente na produtividade agropecuária. A região semi-árida apresenta uma variedade de solos e climas, representado por: as áreas de serra, onde o clima é mais ameno e a chuva mais freqüente; as áreas de várzea e de baixio, que conservam mais a umidade e a fertilidade do solo (devido à inundação temporária); as áreas de campo, onde se encontram solos que permitem o desenvolvimento de práticas agrícolas e outras áreas que podem ser utilizadas apenas como percurso para alimentação animal.

#### 4.4.3. Reforma Agrária

Além de ser bastante representativa, diversificada e heterogênea, a agricultura familiar nordestina está em constante e acelerado processo de transformação. Não obstante a notoriedade da concentração de terra, renda e de recursos produtivos no contexto nordestino, a reforma agrária tem demonstrado ser um esforço válido para o alcance de uma nova estrutura fundiária, que torne socialmente mais justa e viável para o fortalecimento da agricultura familiar nordestina. De acordo com os dados do INCRA, só no período de 2003 a 2005 foram assentadas cerca de 70 mil famílias no Nordeste (INCRA, 2007). A Tabela 16, a seguir, apresenta dados sobre as famílias assentadas, acampadas e as áreas de assentamento (em hectare e números) para alguns municípios do semi-árido, que compõem o território rural do Ministério de Desenvolvimento Agrário.

**Tabela 16** - Famílias Assentadas, Famílias Acampadas e Área e Números de Assentamentos para Alguns Municípios do Semi-Árido Nordestino por Estado em 2006.

	<b>Famílias Assentadas<sup>1</sup></b>	<b>Famílias Acampadas<sup>2</sup></b>	<b>Área assentamento (ha)</b>	<b>Número assentamentos</b>
<b>Alagoas</b>	908	964	17.301	24
<b>Bahia</b>	18.579	5.607	773.913	211
<b>Ceará</b>	13.000	932	553.532	243
<b>Pernambuco</b>	9.362	21.517	198.312	208
<b>Piauí</b>	2.545	2.482	102.932	21
<b>Rio Grande do Norte</b>	16.734	4.360	433.426	238
<b>Sergipe</b>	3.846	5.853	82.015	77

Fonte: <sup>1</sup>MDA/Incra/ (/2006); <sup>2</sup>MDA/Incra/ (2005)

Embora os dados da Tabela 16 não representem os números totais do semi-árido, pode-se perceber que na Bahia a área de assentamento foi de cerca de 800 mil hectares. Considerando que a área ocupada pela agricultura patronal no semi-árido era de 10,5 milhões em 1996 (Tabela 15) houve uma desapropriação de terras no semi-árido baiano correspondente a uma parcela menor que 8% da área agrícola patronal, no período de 1996 a 2006. No semi-árido do Ceará, essa relação foi um pouco mais favorável,

correspondendo a cerca de 15% da área patronal desapropriada para reforma agrária no período. Cabe mencionar que a estimativa da área demandada para reforma agrária na Bahia e no Piauí era de 6 milhões de hectares para cada Estado, no Ceará de 11 milhões de hectares e, no Nordeste como um todo, de 48 milhões de hectares em 2005 (GUANZIROLI *et al.*, 2001). Portanto, os números indicam que a reforma agrária no Nordeste ainda não é significativa para descaracterizar o quadro de concentração fundiária retratado nos dados do último Censo Agropecuário de 1996. Além disso, é, ainda, expressivo o número de agricultores familiares e assentados excluídos do processo de desenvolvimento econômico, sem infraestrutura e recursos produtivos. Conclui-se que a concentração de renda e da propriedade da terra tem demonstrado ser um entrave para o crescimento econômico na região semi-árida Nordestina, sendo, portanto, urgente as ações que promovam o fortalecimento desses agricultores, como uma forma de combate à exclusão.

#### **4.5. A Inserção dos Agricultores Familiares do Semi-Árido na Cadeia Produtiva do Biodiesel**

O plantio de oleaginosas pelos agricultores familiares do semi-árido para a produção de biodiesel abre a perspectiva da organização de uma cadeia produtiva de biodiesel local capaz de impulsionar o desenvolvimento econômico e social do semi-árido, promovendo a criação de empregos rurais, agrícolas e não agrícolas e a inclusão social de uma parcela da população mais vulnerável à mudança climática. De fato, se houver o fortalecimento da economia regional, incluindo o aumento da renda dos agricultores familiares, a possibilidade de diversificação da produção agrícola, de forma sustentável, esses agricultores estariam mais aptos a enfrentar as mudanças climáticas projetadas, aumentando sua resiliência frente às mudanças climáticas. Uma das condições desejáveis para o alcance desses objetivos seria a melhora do acesso ao crédito agrícola aos agricultores familiares do semi-árido. Nesse sentido passa-se a expor algumas características do Programa Nacional de Apoio a Agricultura Familiar

#### 4.5.1. Programa Nacional de Apoio a Agricultura Familiar – PRONAF

O PRONAF (Programa Nacional de Apoio à Agricultura Familiar) é um programa que foi criado para promover o desenvolvimento sustentável do meio rural, por intermédio de ações destinadas a implementar o aumento da capacidade produtiva, a geração de empregos e a elevação de renda, visando a melhoria da qualidade de vida e o exercício da cidadania dos agricultores familiares. Para ser beneficiário do PRONAF, os agricultores familiares devem preencher as seguintes condições: não ser proprietário de mais de 4 módulos fiscais<sup>89</sup>, participação da família nas atividades de produção e obtenção de renda de sua própria produção, considerando que devem viver na própria terra ou arredores. O tamanho dos módulos fiscais, máximos, mínimos e típicos por os Estado do Nordeste, com exceção do Maranhão<sup>90</sup> é apresentado na Tabela 17.

**Tabela 17** – Dimensão dos Módulos Fiscais em Hectares (ha) para cada Estado Nordestino Selecionado, em 2006

<b>Estado</b>	<b>Módulo máximo</b>	<b>Módulo mínimo</b>	<b>Mais freqüente</b>
<b>Alagoas</b>	70	7	16
<b>Bahia</b>	70	5	65
<b>Ceará</b>	90	5	55
<b>Paraíba</b>	60	7	55
<b>Pernambuco</b>	70	5	14
<b>Piauí</b>	75	15	70
<b>Rio Grande do Norte</b>	70	7	35
<b>Sergipe</b>	70	5	70

**Fonte: DIEESE, 2006**

Deve-se salientar que, por definição do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), as categorias do imóvel rural<sup>91</sup> quanto ao tamanho, são: a)

<sup>89</sup> Módulos Fiscais é uma unidade de medida (definida pelo INCRA) expressa em hectares, fixada para cada município, considerando os seguintes fatores: 1) tipo de exploração predominante no município; 2) renda obtida com a exploração predominante; 3) outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam significativas em função da renda e da área utilizada; 4) o conceito de propriedade familiar. (DIEESE, 2006).

<sup>90</sup> O Estado do Maranhão não é praticamente mencionado nesta Tese, pois este Estado está excluído da região semi-árida nordestina.

<sup>91</sup> Imóvel Rural, para os fins de cadastro do Incra, é o prédio rústico, de área contínua, formado de uma ou mais parcelas de terra, pertencente a um mesmo dono, que seja ou possa ser utilizada em exploração agrícola, pecuária, extrativa vegetal ou agroindustrial, independente de sua localização na zona rural ou urbana do município, com as seguintes restrições: 1) Os imóveis localizados na zona rural do município cuja área total for inferior a 5.000m<sup>2</sup> não são abrangidos pela classificação de “Imóvel Rural” e não é objeto de cadastro. 2) Os imóveis rurais localizados na

minifúndios: área inferior a 1 módulo fiscal; b) pequenas propriedades: com área entre 1 até 4 módulos fiscais; c) média: com área superior a 4, até 15 módulos fiscais; d) grande: com área superior a 15 módulos fiscais. Assim, de acordo com os dados da Tabela 17, o estabelecimento familiar no Nordeste deve ter área máxima inferior a 280 hectares, ou seja, vezes 4 módulos fiscais, dependendo do município em que está inserido, para ser considerado como estabelecimento familiar pelo PRONAF.

O PRONAF financia atividades agropecuárias e não agropecuárias exploradas mediante emprego direto da força de trabalho do produtor rural e de sua família, beneficiando agricultores que explorem a terra na condição de proprietário, posseiro, parceiro, arrendatário ou concessionário do Programa Nacional de Reforma Agrária. O PRONAF divide os agricultores por grupos, listados na Tabela 18, de acordo com os percentuais de renda e de trabalho envolvidos.

---

zona urbana do município somente serão cadastrados quando tiverem área total igual ou superior a 2ha e que tenham produção comercializada.



**Tabela 18 - Grupos de Agricultores do PRONAF**

<b>Grupo</b>	<b>Descrição dos Beneficiários</b>
<b>A</b>	- Assentados pelo Programa Nacional de Reforma Agrária. Assentados de projetos estaduais e aos programas Cédula da Terra, Banco da Terra ou do Programa Crédito Fundiário e Combate à Pobreza Rural.
<b>B</b>	- Agricultores com renda familiar anual bruta de até R\$ 2.000,00 para financiar qualquer atividade geradora de renda.
<b>C</b>	- Agricultores que obtenham, no mínimo, 60% da renda familiar da exploração agropecuária e não agropecuária do estabelecimento. - Tenham o trabalho familiar como predominante na exploração do estabelecimento, utilizando apenas eventualmente o trabalho assalariado. - Obtenham renda bruta anual familiar acima de R\$ 3.000,00 e até R\$ 16.000,00, excluídos os benefícios sociais e os proventos previdenciários decorrentes de atividades rurais.
<b>A/C</b>	Egressos do Grupo A, que se enquadrem nas condições do grupo C e que se habilitem ao primeiro crédito de custeio isolado.
<b>D</b>	- Agricultores que obtenham, no mínimo, 70% da renda familiar da exploração agropecuária e não agropecuária do estabelecimento. - Tenham o trabalho familiar como predominante na exploração do estabelecimento, podendo manter até 2 (dois) empregados permanentes, sendo admitido ainda o recurso eventual à ajuda de terceiros, quando a natureza sazonal da atividade o exigir. - Obtenham renda bruta anual familiar acima de R\$ 16.000,00 e até R\$ 45.000,00, incluída a renda proveniente de atividades desenvolvidas no estabelecimento e fora dele, por qualquer componente da família, excluídos os benefícios sociais e os proventos previdenciários decorrentes de atividades rurais.
<b>E</b>	- Agricultores que obtenham, no mínimo, 80% da renda familiar da exploração agropecuária e não agropecuária do estabelecimento. - Tenham o trabalho familiar como predominante na exploração do estabelecimento, podendo manter até 2 empregados permanentes, admitido ainda o recurso eventual à ajuda de terceiros, quando a natureza sazonal da atividade o exigir. - Obtenham renda bruta anual familiar acima de R\$ 45.000,00 e até R\$ 80.000,00 incluindo a renda proveniente de atividades desenvolvidas no estabelecimento e fora dele, por qualquer componente da família, e excluídos os benefícios sociais e os proventos previdenciários decorrentes de atividades rurais.

**Fonte: MDA e BNDES**

O PRONAF fornece créditos de investimento, ou seja, financiamento da implantação, ampliação e modernização da infraestrutura de produção e serviços agropecuários e não agropecuários, na propriedade rural ou em áreas comunitárias rurais próximas. Além disso, fornece crédito de custeio (despesas feitas em cada plantio, em cada safra ou ciclo de produção) e crédito para cota-parte (crédito destinado aos agricultores familiares cooperativados, sendo que este último pode ser aplicado em capital de giro, custeio e investimento na cooperativa). Por último, o crédito de comercialização do PRONAF são

recursos financeiros destinados ao armazenamento e à conservação dos produtos agrícolas, para venda futura em melhores condições de mercado (INCRA, 2007).

Os agricultores familiares dispõem, também, de uma linha de crédito específica para a produção de biodiesel pelo PRONAF. Os beneficiários podem requisitar crédito adicional para o custeio da produção de oleaginosas, aquisição de máquinas, dentre outros. Agricultores familiares do grupo C, D e E que já possuem financiamento do PRONAF para culturas tradicionais como o arroz, feijão e milho podem requisitar crédito adicional para o custeio de oleaginosas utilizadas para produção de biodiesel em todo o País.

As taxas de juros cobradas pelo PRONAF são menores do que as taxas praticadas no mercado e estão previstos descontos do valor principal para o agricultor que quitar a dívida no vencimento. Para efeito de comparação, os juros cobrados dos produtores não familiares são de 6% a.a. para os mini produtores, 8,75% para os médios e de 10,75% para grandes produtores. Os juros cobrados dos agricultores familiares alcançam o máximo de 7,25%, para os mais capitalizados.

O Banco do Brasil (BB) tem a linha *BB Biodiesel* cuja finalidade é conceder financiamento para custeio, investimento e comercialização do biodiesel. O público-alvo atendido por essa linha de financiamento abrange desde os produtores rurais (familiares e empresariais) até as cooperativas agropecuárias, empresas agroindustriais, de distribuição e de comercialização. Como objetivos principais dessas linhas de crédito podem ser apontados: a) expansão do processamento do biodiesel no País; b) incentivo à produção de oleaginosas, instalação de plantas industriais e comercialização; c) auxiliar no cumprimento de metas de adição de biodiesel ao diesel mineral, estabelecidas pelo Governo Federal. O custeio para o plantio de oleaginosas por agricultores familiares tem um teto de R\$ 48 mil e prazo de 2 anos.

As garantias exigidas dos agricultores familiares referentes aos créditos de custeio podem ser: penhor de safra (a garantia é a safra que vai ser colhida); aval (avalista) e;

adesão ao seguro da Agricultura Familiar – SEAF (Proagro<sup>92</sup> Mais). O SEAF tem como objetivo garantir a cobertura total do financiamento e até 65% da renda estimada da família produtora que perder a safra em razão de fenômenos climáticos adversos como seca, granizo, geada, chuvas excessivas ou pragas e doenças sem método de controle, entre outros. Além disso, o programa garante a indenização de recursos próprios utilizados pelo produtor em custeio rural, quando ocorrer perdas por essas razões.

Para o agricultor ou agricultora familiar dos Grupos “A/C”, “C” e “D” do PRONAF, que solicitar financiamento de custeio para as culturas do zoneamento agrícola de risco climático do MAPA<sup>93</sup> (algodão, arroz, feijão, feijão caupi, milho, entre outras) a adesão ao Seguro da Agricultura Familiar será automática, pagando o adicional de 2% sobre o valor segurado. No Grupo “E”, a adesão é optativa e o adicional é de 4%. As demais culturas não zoneadas (batata, tomate, cebola, girassol, mamão, laranja etc.), não se enquadram no SEAF. Mas, nesses casos, os agricultores familiares podem, se o desejarem, aderir à modalidade anterior do PROAGRO (que é opcional), pagando o adicional de 2% sobre o valor financiado.

No período de 1996 a 2001, o PRONAF aumentou de cerca de 300 mil para 1 milhão de contratos, correspondendo ao valor de recursos liberados de aproximadamente 650 milhões de reais em 1996 a 2 bilhões em 2001 (INCRA, 2007). A Tabela 19 apresenta a evolução dos recursos liberados e número de contrato do PRONAF de 2002 a 2007.

---

<sup>92</sup> Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), criado pela Lei nº 5.969, de 11 de dezembro de 1973, é um instrumento de política agrícola instituído para que o produtor rural tenha garantido um valor complementar para pagamento do seu custeio agrícola, em casos de ocorrência de fenômenos naturais, pragas e doenças que atinjam bens, rebanhos e plantações (MAPA, 2007).

<sup>93</sup> O zoneamento agrícola de risco climático divulgado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, iniciado na safra de 1996, revisado anualmente. Pode ser entendido como pacote tecnológico de gestão de riscos climáticos, que indicam as cultivares adaptadas às diversas regiões e que possuem disponibilidade de sementes certificadas, época de plantio e tipos de solos para as culturas indicadas em cada região servindo de orientação para o crédito de custeio agrícola oficial, bem como o enquadramento no seguro rural privado e público (PROAGRO).

**Tabela 19** - Brasil: Evolução do Montante e do Número dos Contratos do PRONAF

Ano Agrícola	Montante (R\$ bilhões)	Número de contratos
2002/2003	2,4	904.211
2003/2004	4,5	1.390.166
2004/2005	6,0	1.631.782
2005/2006	7,5	1.903.856
2006/2007	10,0	1.235.215*

\*Até fevereiro 2007

**Fonte: DIEESE/NEAD (2006) e MDA (2007)**

Os agricultores familiares do Nordeste já realizaram quase R\$ 1,9 bilhão em operações de crédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) na safra 2006/2007. O Banco do Nordeste (BNB) contratou até o momento cerca de R\$ 1,37 bilhão, beneficiando cerca de 670 mil famílias, sendo que dos contratos, cerca de 70% são do grupo B, ou seja, composto pelos agricultores com menor renda bruta (MDA, 2007). No ano de 2006, até novembro, o Banco do Brasil aplicou na região Nordeste quase R\$ 500 milhões, representando cerca de 200 mil operações de crédito.

Outra oportunidade aberta para os agricultores foi a criação, em dezembro de 2006, do Programa de Garantia Preços para a Agricultura Familiar (PGPAF), que garante preços mínimos para alimentos que podem ser produzidos em consórcio com as oleaginosas, como feijão e milho, mandioca, arroz e leite. Os agricultores familiares que participam do PRONAF terão descontos automáticos no seu saldo devedor toda vez que os preços de mercado, verificados mensalmente, ficarem abaixo dos preços de garantia, sendo estes calculados com base nos custos médios de produção. O limite máximo para o desconto é de R\$ 3.500,00.

Quando o agricultor já é conhecido do banco e a atividade que será desenvolvida com o financiamento tem boa capacidade de pagamento, a concessão do crédito do Pronaf, especialmente de custeio, é efetuada só com a garantia pessoal (a assinatura do agricultor). Para o crédito de investimento deve ser exigido o penhor cédular ou a alienação fiduciária do bem financiado<sup>94</sup>. Entretanto, conforme já ressaltado o acesso ao

<sup>94</sup> O penhor cédular é a garantia em que o agricultor transfere a propriedade, o domínio, de um bem móvel que já possui, por exemplo, um trator ou um equipamento, ao banco, em garantia de pagamento da dívida, sendo que o

crédito não é igual para todos os agricultores familiares. Os bancos dificilmente conseguem fazer com que os recursos cheguem de fato à grande massa dos agricultores desprovidos de garantias e contrapartidas, a menos que o Tesouro aumente seus gastos com estas operações, pois os custos administrativos do PRONAF crescem conforme se amplia sua base social (ABRAMOVAY, 2000).

Para os agricultores mais pobres do semi-árido, a prática tradicional e vigente de financiamento é de venda na palha, ou seja, esses agricultores tendem a vender de antemão o que irão colher, como forma de financiar o próprio consumo familiar, no esforço permanente de juntar as duas pontas do ciclo agrícola e familiar durante o ano (ABRAMOVAY, 1998). Esse tipo de financiamento em geral, reforça a dependência do tomador do empréstimo junto ao seu financiador e não permite a ampliação das oportunidades daquele que precisa do dinheiro. Passa-se então a comentar sobre os diferentes grupos de agricultores familiares do semi-árido Nordeste, sob a perspectiva da inclusão na cadeia produtiva de biodiesel.

#### **4.5.2. Diferenciação entre os Agricultores Familiares do Semi-Árido e Perspectiva de Inserção na Cadeia produtiva de Biodiesel**

Para uma análise mais apurada faz-se necessário a distinção entre agricultores familiares e os diversos sistemas produtivos praticados no semi-árido. Partindo-se da constatação que não existe apenas um tipo de agricultura familiar no semi-árido e sim vários tipos de agricultores familiares, é possível distinguir “grupos” de agricultores familiares. O primeiro deles, apresenta-se como o grupo mais vulnerável do ponto de vista socioeconômico e mais representativo numericamente. Esse grupo é composto pelos agricultores familiares descapitalizados, com pouca ou nenhuma terra (GUANZIROLI *et al.*, 2001). Muitos desses agricultores dependem das rendas externas ao estabelecimento para sobreviver e investem recursos monetários externos nas suas propriedades, principalmente da venda de serviços (a diária no semi-árido baiano, por exemplo, está por volta de R\$ 15,00) e das aposentadorias e de programas como a bolsa

---

agricultor continuará utilizando o bem. A alienação fiduciária é um contrato de garantia em que o devedor transfere para o banco a propriedade, o domínio, de um bem financiado. para assegurar o pagamento de uma dívida, até que o débito seja pago integralmente.

escola e a bolsa família. Embora essas propriedades não gerem renda monetária, a lógica é a manutenção dos sistemas produtivos de subsistência e permite a segurança alimentar dessa população.

Esses agricultores são caracterizados pela organização produtiva e econômica marcada pela fragilidade dos sistemas produtivos e pelo acentuado pauperismo e baixa qualidade de vida de seus integrantes. As tecnologias utilizadas são rudimentares e, em geral, esse grupo não tem acesso ao crédito. O sistema produtivo dominante é o tradicional, predominantemente diversificado. Esses fatores influenciam diretamente a capacidade de produção e a produtividade dessas unidades familiar. Essas unidades produtivas realizam a exploração de cultivos alimentares (feijão, milho, mandioca, frutíferas, palma, entre outros) associada à criação de um pequeno número de animais (cabras, galinhas, vacas). Da capacidade produtiva dessas unidades, boa parte (se não a maioria) é destinada para o auto-consumo, sendo utilizada ou na alimentação da casa ou na alimentação dos animais. Esse fato caracteriza a chamada agricultura de subsistência, que pode ser entendida como aquela agricultura destinada a auto-sustentação do agricultor e de sua família, gerando pouco ou nenhum excedente para comercialização (VEIGA, 1996). É comum o aproveitamento dos restos culturais para alimentar os animais, bem como, a criação de porcos e galinhas no quintal. O rebanho é considerado como uma “poupança”, assim vende-se um animal para fazer frente a gastos não usuais, mas cumpre também a função de propiciar recursos monetários durante todo o ano. Os produtores que têm gado e pouca terra alugam pastos e fazem pagamento na base de um sobre quatro bezerros nascidos (GUANZIROLI *et al.*, 2001).

Um segundo grupo mais reduzido de agricultores familiares corresponde àquele segmento que reuniria as maiores condições potenciais para desenvolver os seus sistemas agrícolas, desde que para isso tenham o apoio necessário como o acesso ao crédito, à capacitação e à utilização de tecnologias mais apropriadas, um maior e melhor serviço de assistência técnica, entre outros. GUANZIROLI *et al.*, (2001) denominam esses agricultores de “produtores em transição”, ou seja, aqueles produtores em vias de capitalização, cujo nível de renda pode, em situações favoráveis, permitir alguma acumulação de capital, mas em condições adversas tende a ser “descapitalizados”. O nível de renda desses agricultores não garante segurança. Nesse grupo as rendas não-

agrícolas, bem como as políticas governamentais ainda se fazem importantes. Também compõem esse grupo os assentados da reforma agrária (federais, estaduais, originados em lutas sociais ou na compra da terra pelo Programa Cédula Rural, Banco da Terra) mais estabelecidos. Os assentamentos possuem em sua maioria reservas de terra e mão-de-obra não utilizadas e, geralmente, esses agricultores estão mais organizados que os agricultores familiares isolados, em termos de movimentos de classe. Nos assentamentos, é comum que nas áreas coletivas a introdução de um cultivo dependa de uma decisão da maioria das famílias (na maioria dos assentamentos, uma decisão dos núcleos, que congregam normalmente 10 famílias). A decisão de cultivo individual é tomada no interior de cada família. Os parceiros também se fazem presentes nesse grupo, muito importante na época do algodão, são hoje menos expressivos, mas ainda assim, muito presentes. Existem também, outras formas de acesso à terra, como os parceiros do DNOCS que são produtores re-locados pela ação de grandes obras (em particular barragens) e os produtores dos lotes agrícolas dos pólos de irrigação, estes predominantemente integrados em cadeias produtivas. No geral, seus sistemas produtivos são voltados para a subsistência e para as despesas monetárias básicas, ainda bastante concentradas na cadeia cereais/pecuária e na cadeia de fruticultura/horticultura (no caso dos pólos de irrigação). Várias diversificações produtivas são desenvolvidas, como a produção de mel, expressiva no semi-árido, a produção de ovinos e cabras que foi a que mais cresceu nas duas últimas décadas, o plantio de mandioca também em plena ascensão, assim como a bovinocultura. A apicultura, nos últimos anos, vem sendo bastante difundida no semi-árido e já consegue gerar renda para um grande número de agricultores familiares. Muitas experiências de agregação de valor aos produtos são também desenvolvidas (em particular, produção de queijo). Nas propriedades onde há açudes, pode-se desenvolver também a piscicultura, além da fruticultura e cultivos irrigados (normalmente a irrigação emergencial (de salvamento), em fases críticas das culturas).

Um terceiro grupo, menos representativo, seriam os produtores capitalizados, denominados consolidados por GUANZIROLI *et al.*, (2001). Esses agricultores possuem capital acumulado, maquinário, benfeitoria e terras suficientes para gerar renda agrícola, fatores que os mantêm afastados do risco de descapitalização. Os sistemas agrícolas são organizados e integrados ao mercado, normalmente com terras localizadas

nas serras úmidas e terras de melhor qualidade. As propriedades desse segmento são caracterizadas por uma dimensão ampliada e a grande maioria são proprietários. Este grupo depende basicamente da atividade agropecuária, faz uso intensivo da mão-de-obra familiar, de tecnologias mais modernas e possuem acesso aos instrumentos financeiros de apoio à produção.

No geral, esses dois primeiros grupos possuem uma grande disponibilidade para integração à cadeia produtiva do biodiesel (com exceção do grupo dos pólos de irrigação que já têm uma produção mais consolidada e rentável). O diferencial da inserção da agricultura familiar para o plantio de oleaginosas é a disponibilidade de mão-de-obra, com baixo custo de oportunidade. Deve ser considerado que esses agricultores obtêm vantagens associadas à própria organização familiar, com redução do custo de gestão e operacional e produtividade mais elevada, associada à própria utilização da mão-de-obra familiar que tem incentivos diretos para evitar o desperdício em comparação à mão-de-obra contratada (BUAINAIN, *et al.*, 2003). Além disso, esses agricultores familiares conhecem a fundo as principais características do solo e clima local, suas práticas produtivas são marcadas pela fragilidade de recursos e pelas tentativas de inserção no mercado. Deve-se ter claro, ainda, que a produção diversificada e as culturas de subsistência são fundamentais para a segurança alimentar desse grupo.

Por outro lado, essa pré-disposição ao plantio de espécies diversificadas demonstra certa disposição à introdução de novos cultivos, desde que esses cultivos não comprometam o plantio de espécies utilizadas para o auto-consumo e se desenvolvam bem em regime de sequeiro. Tendo em vista essas considerações, as principais dificuldades impostas a esse grupo, para a inserção na cadeia produtiva do biodiesel, são as disponibilidades de terra e de recursos produtivos.

A formação de condomínios de produção, agregando pequenos produtores vizinhos de modo a construir uma escala de produção maior, seria uma alternativa para produção de oleaginosas por esses produtores. A oferta de crédito específico para a produção de oleaginosas para produção de biodiesel, tornando-o mais acessível para esses agricultores e a fixação de um preço mínimo mais elevado levaria, provavelmente, esses



proprietários rurais a desenvolver a produção, a partir da parceria. Também a organização desses agricultores em cooperativas facilitaria sua inserção. A cooperativa permite agregar os pequenos resultados produtivos integrando-os a uma escala de venda compatível com as demandas do mercado. Nesse esquema, existe inclusive a possibilidade da agregação de valor ao plantio de oleaginosas, pela extração de óleo com equipamentos simples dispostos em pontos estratégicos para o uso de grupo de agricultores, ou mesmo o plantio de campos de multiplicação de sementes, cujo valor de venda é, naturalmente, mais elevado. O arrendamento de terra, como na época do algodão, quando esses produtores tiveram acesso à terra sob a forma de parcerias em terras dos médios e grandes proprietários, poderia ser outra opção. Muitos produtores procuram as instituições de assistência técnica ou as empresas instaladas de biodiesel para plantar oleaginosa, principalmente a mamona, cujo cultivo nessa região é tradicional. Evidentemente, a inserção desse grupo da cadeia produtiva de biodiesel depende de vários fatores, como a previsão de assistência técnica e extensão rural (ATER), acesso ao crédito, seguro, fornecimento de sementes, acesso a terra e tecnologias para a convivência com o semi-árido. Por outro lado, a necessidade de matéria prima para a produção de biodiesel, para as plantas de produção de biodiesel instaladas na região com Selo Combustível Social, pode compensar a promoção dos meios produtivos adequados para o plantio de oleaginosas em consonância com a agricultura de subsistência e sistemas produtivos desenvolvidos.

Desses três grupos genéricos, o único que conseguiria inclusão direta na cadeia do biodiesel seria o grupo 3. Por outro lado, o custo de oportunidade para esses produtores familiares é mais elevado. São produtores economicamente mais consolidados, que adotam maior nível tecnológico e são mais sensíveis às condições de comercialização da produção, pois seus custos de produção são mais elevados. Além disso, esses produtores não dispõem, em sua maioria, de grandes reservas de terra ou de força de trabalho familiar, pois já as utilizam em atividades agropecuárias mercantis, em geral mais agressivas ao meio ambiente quando comparadas ao sistema agrícola tradicional. Por outro lado, esse grupo tem acesso aos recursos produtivos e estão mais inseridos ao mercado, podendo, caso seja viável economicamente, substituir atividades produtivas sem prejuízo à manutenção das unidades familiares.

Em síntese, coexiste no universo familiar do semi-árido, uma combinação da agricultura fortemente voltada para o auto-consumo, com o alargamento progressivo da agricultura mercantil. Porém, a perspectiva de auto-consumo não está dissociada de uma perspectiva mercantil, traduzida desde a crescente busca por atividades não agrícolas para geração de renda, realizada pelos segmentos mais empobrecidos, até o desenvolvimento da agricultura irrigada pelos mais favorecidos. Nesse sentido, se por um lado, os agricultores mais consolidados estariam mais prontamente habilitados a se inserir na cadeia produtiva do biodiesel. É também esperado, a médio prazo, a inclusão dos agricultores menos capitalizados e intermediários, seja diretamente pelo plantio de oleaginosas (em maior ou menor escala), principalmente se houver o apoio necessário à inclusão dos menos favorecidos ou, indiretamente, pelo aumento da oferta de empregos não agrícolas, em decorrência da organização da cadeia produtiva de biodiesel no Nordeste.

A agricultura familiar assume, nesse aspecto, um papel relevante, como uma estratégia de adaptação, pois, as vantagens da inserção deste segmento na cadeia produtiva de biodiesel poderia não se restringir a gerar renda e emprego, mas também distribuí-la, abastecer melhor as pequenas cidades e criar oportunidades onde estas são mais raras. No entanto, a sustentabilidade do plantio de oleaginosas no semi-árido depende também das técnicas produtivas adotadas, fato de assumi papel de destaque quando se considera a vulnerabilidade climática atual e projetada para a região.

#### **4.5.3. Alternativas para a Convivência com o Semi-Árido**

Conforme comentado, a região semi-árida é caracterizada por apresentar insuficiência hídrica e chuvas mal distribuídas e, uma das alternativas para aumento da produtividade nessa área, é a irrigação. Entretanto, esta técnica, quando mal empregada, tem gerado vários problemas ambientais, principalmente a salinização do solo que pode provocar diminuição acentuada do crescimento e a produtividade das culturas (ARAÚJO, 1994).

As características do clima e do solo do semi-árido nordestino indicam por si só como a água disponível na região é vulnerável à salinização. Sem dúvida, a existência de saís nas águas utilizadas para irrigação se relaciona à natureza do substrato com o qual elas

têm contato e, o grau de concentração desses sais depende da evaporação (CARVALHO *et al.* 1994). A qualidade das águas superficiais (composição química e nível de concentração dos sais) se relaciona especificamente ao tipo de rocha e de solo, bem como ao tipo de fonte hídrica. As águas dos lençóis são mais concentradas que as de superfície, como os rios (MOLINIER *et al.*, 1989). No caso de pequenos açudes, a qualidade da água a ser distribuída depende da forma pela qual ela é recebida. Se nos períodos de chuva o açude é abastecido por escoamentos superficiais, a água represada se apresentará com baixos teores salinos; se é abastecido pela drenagem natural do solo, a água, depois de passar pelas camadas mais profundas do substrato provavelmente carregará maior quantidade de sais (SUASSUNA, 1994).

A salinização pode ser provocada tanto pela presença de sais na água usada para irrigação, quanto por deficiência na drenagem da área. Em áreas onde o solo já está salinizado, a recuperação é um processo muito caro e raramente viável e para aproveitamento dessas áreas, podendo ocasionar a desertificação (ARAÚJO, 1994). A agricultura irrigada é caracterizada de forma geral pela monocultura de forma intensiva e pelo uso de pacote tecnológico baseado no agroquímico. Além dos danos nocivos ao meio ambiente e à saúde das pessoas, ainda tem um custo financeiro muito elevado, para uma boa parte dos agricultores familiares do semi-árido. No semi-árido, as dinâmicas demográficas e territoriais levaram ao enriquecimento de poucos, pela significativa infraestrutura produtiva nas grandes propriedades do sertão, representada pelos açudes, estábulos, silos e cercamento das terras, acumulando impactos socioambientais negativos nesta região. A degradação dos recursos vegetais e do solo é um forte impacto ambiental negativo dos sistemas de produção “tradicionais” e “modernizados” existentes no semi-árido nordestino que vem contribuindo para a disponibilidade hídrica ser uma questão crítica no semi-árido.

A concorrência por água para as necessidades básicas, com as atividades de consumo animal e as atividades agrícolas é uma realidade presente no semi-árido, que tende a ser agravada pelas mudanças climáticas. É necessário a adoção de medidas para a otimização desse recurso a fim de suprir seus diferentes usos no meio rural. Nesse sentido, vale frisar a importância da adoção de alternativas tecnológicas direcionadas às condições do semi-árido, com o objetivo de proporcionar uma melhor convivência com

as condições climáticas do semi-árido, tanto pelo armazenamento e uso das águas de chuva em nível de propriedade, quanto pelo o acesso a água de forma mais equitativa. Dentre essas alternativas, citam-se, de acordo com MMA (2006), as seguintes alternativas:

- a) Cisterna - O Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), da ASA (Articulação no Semi-Árido), apoiada pelo Governo Federal, visa aumentar a disponibilidade e melhorar a qualidade das águas para consumo humano no meio rural. Nesse sistema a água da chuva captada a partir dos telhados das casas, sendo conduzida por meio de calhas para um tanque de armazenamento, trazendo a vantagem, além de seu baixo custo, de permitir o aproveitamento de águas existentes em seu local de uso, minimizando perdas decorrentes do transporte e sua contaminação por manejo inadequado.
- b) Barragem subterrânea - é uma alternativa tecnológica simples, mas que requer um manejo adequado para sua operação e manutenção. Trata-se do aproveitamento das águas de chuva, armazenadas no perfil do solo, de forma a permitir a criação ou a elevação do lençol freático existente, possibilitando a exploração de uma agricultura de vazante, prática comum na região e evitando-se que escoem na superfície do solo, onde podem causar erosão, além de não poderem ser utilizadas posteriormente.
- c) Sistemas de captação *in situ* - refere-se ao método tradicional de cultivo, que consiste da semeadura em covas, capaz de armazenar certa quantidade de água de chuva, com variações tanto usando tração mecânica quanto animal, semeadura no plano - forma pequenas ondulações no perfil do solo ou o sulco barrado. Consiste de uma aração e sulcamento do solo com uma de distância entre sulcos, seguido de pequenas barreiras dentro do sulco que têm por finalidade impedir o escoamento superficial da água de chuva. Outra forma consiste na formação de sulcos, seguidos por camalhões altos e largos, formados por meio de cortes efetuados no solo em curva de nível, usando um arado de disco. Este último é um sistema pouco agressivo, mas que exige técnicas de preparo do solo.

d) Irrigação de salvação - no semi-árido brasileiro o plantio ocorre após as primeiras chuvas e é muito comum a ocorrência de veranicos, isto é, períodos de 20 a 30 dias sem novas chuvas, o que compromete seriamente as culturas na primeira fase de seu desenvolvimento. Daí, a necessidade da aplicação de lâminas de água para atender às necessidades básicas nessa e nas demais fases em que as culturas mais necessitam de água. O barreiro para uso da irrigação de salvação tem a finalidade de suprir de água as culturas durante os veranicos. Constitui-se de uma pequena barragem de terra, formada por uma área de captação, um tanque de armazenamento e uma área de plantio, sendo a água é aplicada por gravidade na área irrigada nos sulcos abertos com pequena declividade. Em anos de precipitações normais essa técnica pode permitir a exploração de dois ciclos de cultura, sendo o primeiro de forma tradicional, isto é, com a cultura sendo explorada com a água da chuva, e o segundo, utilizando-se a água que fica armazenada no reservatório para irrigação.

A Figura 17 apresenta as fotos dessas alternativas:

**Figura 17** – Fotos de algumas Tecnologias de Convivência com Semi-Árido



Cisternas do P1MC



Barragens subterrânea



Captação in situ



Irrigação de salvação

**Fonte: EMBRAPA Semi-Árido ([www.embrapa.gov/semi-árido](http://www.embrapa.gov/semi-árido))**

Também cabe destacar o programa piloto chamado P1+2 (Programa uma Terra e duas Águas). O objetivo do programa é fornecer terra suficiente para a produção de alimentos e duas fontes de água, uma para consumo humano e outra para ser utilizada na agropecuária. A fase piloto vem sendo desenvolvida como apoio da Fundação Banco do Brasil e da PETROBRÁS na Bahia. Seu objetivo é contribuir com a segurança alimentar e a geração de renda através da sistematização, intercâmbio e implementação de experiências de manejo sustentável de água para a produção de alimentos.

Outras técnicas de convivência com o semi-árido relacionado ao manejo da água na unidade de produção vêm sendo difundidas na região. Dentre elas, podem ser destacadas as barragens sucessivas; barreiro trincheira; barragens filtrantes de pedra;

tecnologias de escavação, revestimento e uso de poços amazonas; e atividades do Projeto “Base Zero”<sup>95</sup> (CARVALHO & SANTOS, 2003).

O fortalecimento dos sistemas agro-silvo-pastoris, caprinos, ovinos, integrados à vegetação natural da caatinga, banco comunitário de sementes e a agroecologia, são exemplos de algumas práticas que começam a ser difundidas (em escala experimental) no semi-árido. Essas iniciativas criam um ambiente favorável para a difusão ampliada das soluções positivas da implantação de sistemas produtivos mais sustentáveis, e servem de base para a construção de um novo modelo de desenvolvimento rural e do fortalecimento de ações de convivência com o semi-árido.

A apicultura é uma atividade em destaque, no que tange à convivência com o semi-árido, por se tratar de uma forma de ocupação e geração de emprego no campo que, além de gerar renda e bons lucros, exige: pouco espaço de área, instalações e equipamentos com capacidade de remanejamento de local, matéria prima (florada) de fácil acesso e pouca exigência de recursos financeiros. Por último, o fortalecimento dos sistemas agro-silvo-pastoris, caprinos, ovinos, integrados à vegetação natural da caatinga, banco comunitário de sementes e a agroecologia, são exemplos de algumas práticas que começam a ser difundidas no semi-árido. Essas iniciativas criam um ambiente favorável para a difusão ampliada das soluções positivas da implantação de sistemas produtivos mais sustentáveis, a base da construção de um novo modelo de desenvolvimento rural e do fortalecimento de ações de convivência com o semi-árido.

O sistema de preparo do solo é uma das formas pela qual se pode aumentar ou diminuir tanto a erosão como também o armazenamento de água no solo. Para as condições climáticas do semi-árido, onde é freqüente a ocorrência de veranicos, a adoção de sistemas capazes de manter mais água disponível às plantas é importante para se evitar quebras na produção agrícolas. No plantio direto o arraste de terra é diminuído

---

<sup>95</sup> As atividades pautadas pelo conceito Base Zero Rural vêm sendo construídas há cerca de 20 anos pelo engenheiro José Artur Padilha, a partir de trabalhos desenvolvidos em vários municípios do semi-árido. Trata-se de proposta orientada para a ampliação das possibilidades de utilização dos escassos recursos de solo e água encontrados nessa região. Como “base zero” compreende-se a base ambiental, da qual partem a base econômica e a base produtiva da agropecuária. O conceito de base zero está sendo utilizado para realizar o planejamento espacial e energético padrão dos recursos de uma determinada bacia hidrográfica. Por meio desse processo tem se procurado obter, de modo sustentável, o máximo aproveitamento dos recursos ambientais, como resultado da interação de seus fatores ativos. (PADILHA, 1994.)

principalmente pela palha na superfície, que protege o solo do impacto das gotas de chuva, e pela maior agregação solo, tornando este sistema muito eficiente no controle da erosão.

Em áreas sob preparo convencional, camadas subsuperficiais compactadas podem ser formadas gradativamente pelas operações de preparo feitas sempre na mesma profundidade, provocando compactação do solo e aumentando a erosão. A exposição do solo nu, arado e gradeado intensivamente, ao impacto direto das gotas de chuva, permite o início e acentua a degradação do solo pela erosão hídrica, o que em várias áreas do semi-árido é um dos maiores problemas da agricultura. Para reduzir os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, recomenda-se o uso dos restos da cultura anterior como cobertura vegetal morta, que, por ser simples e eficaz, torna-se uma maneira das mais econômicas para combater a erosão. CARVALHO *et al.*, (1990) citam que, em culturas anuais, deixando-se resíduos vegetais como cobertura morta na superfície do solo há um controle de 60% nas perdas de solo e 65% nas perdas de água.

É necessário ressaltar que no semi-árido, onde é majoritária a quantidade de solos degradados pelas formas anteriores de produção e pela erosão causada pela falta de cuidados, a adoção de técnicas de práticas conservacionista, faz-se fundamental para a sustentabilidade da agricultura nesta região frente às mudanças climáticas. As práticas conservacionistas são procedimentos ou trabalhos realizados com o objetivo de manter o solo produtivo, ou de fornecer condições para que os solos se tornem produtivos. Essas práticas possibilitam o aumento do rendimento agrícola, reduzindo as perdas de água e solo e diminuindo também a emissão do carbono do solo devido a menor perda da matéria orgânica do solo por lixiviação, podendo ser considerada como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. São exemplos de práticas conservacionistas:

- O cultivo mínimo, que consiste no plantio com pouco movimento do solo e utilização mínima de implementos agrícolas;
- o plantio direto, já comentado, mas, novamente, consiste no plantio direto sobre a palhada da cultura anterior, evitando a exposição do solo nu entre um plantio e outro e a movimentação do solo;



- a cobertura morta que consiste em cobrir o solo total ou parcialmente utilizando-se para tanto palhas, cascas, folhas secas, capim, apresentando benefícios na redução da temperatura elevada do solo, aumentando sua umidade e favorecendo o sistema radicular das plantas;
- o plantio em curvas de níveis que consiste no plantio no mesmo nível em função da declividade do terreno, reduzindo as perdas de água e solo e diminuindo também a emissão do carbono do solo, podendo ser considerada como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas;
- o terraceamento - a água escoa sobre o solo até encontrar um terraço, parte fica retida e o restante escoar em pequena velocidade;
- a observação da vocação dos solos que consiste em adequar a produção às características edafoclimáticas, evitando, inclusive, a degradação do solo com culturas e/ou manejo inadequados;
- a rotação de culturas, que é prática na qual se alternam, em um mesmo terreno, diferentes culturas, obedecendo a uma seqüência pré-estabelecida, sendo um sistema indicado pela contribuição à manutenção das propriedades físicas e químicas do solo e a possibilidade de aumentar a resistência a pragas e doenças;
- a adubação verde consta do cultivo de determinadas plantas com finalidade de incorporá-las ao solo para enriquecê-lo com matéria orgânica e elementos minerais e proporcionar, assim, melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas;
- uso de esterco (adubo orgânico) que confere aos solos qualidades físico-químicas e biológica mais elevadas, pela agregação das partículas do solo, o crescimento da microbiota, melhorando a textura e o armazenamento de água e a reposição dos elementos minerais retirados do solo pelas culturas e/ou perdido por lixiviação.

De acordo com MENDES (2005), as práticas de manejo e conservação do solo mais difundidas entre os agricultores familiares no semi-árido são: observação da vocação dos solos, utilização de esterco animal e rotação de cultura. Entretanto, independente do manejo adotado, o aumento da percentagem de cobertura da superfície proporciona significativa redução nas perdas de solo, enquanto a perda de água é mais afetada pela forma de manejo do resíduo cultural do que pela percentagem de cobertura morta (CARVALHO *et al.*, 1990). Assim, seria necessária a difusão de um maior número de práticas simples de conservação do solo e da água entre os agricultores familiares do

semi-árido, a fim de auxiliar na garantia da manutenção da produtividade agrícola na região.

Assim seria necessária a difusão de um maior número de práticas simples de conservação do solo e da água entre os agricultores familiares do semi-árido, a fim de auxiliar o aumento e a manutenção da produtividade agrícola. A melhoria dos sistemas produtivos integrados ao ambiente, tais como: abolição das queimadas, plantação em curvas de nível, preservação da umidade do solo junto à planta, rotação de culturas, utilização de culturas que fornecem e fixam nitrogênio no solo (leguminosas), controle integrado de pragas, controle biológico de pragas, também são práticas que aumentam a conservação do solo e da água e que melhoram a convivência com o semi-árido.

Nesse contexto passa-se a analisar os aspectos específicos dos solos do semi-árido, a fim de estimar a disponibilidade da área disponível para o plantio sustentável de oleaginosas nessa região.

#### **4.5.4. Solos e Disponibilidade de Área para o Plantio de Oleaginosas**

A natureza da rocha é sempre um fator importante para a formação dos solos. Onde o substrato geológico é homogêneo, outros fatores, como a topografia e a drenagem, comandam uma sucessão ordenada de solos inter-relacionados ao longo das vertentes (SUASSUNA, 2005). De acordo com SUASSUNA (1994), existem dois conjuntos estruturais geológicos no Nordeste, as Bacias Sedimentares e o Escudo Cristalino. Nas bacias sedimentares, os solos em geral são profundos (mais de 2m até 6m), com alta capacidade de infiltração, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural. Essas características permitem um grande suprimento d'água de boa qualidade no lençol freático que, em vista de sua profundidade, está protegido da evaporação. No escudo cristalino, os solos são em geral rasos (cerca de 0,60m), com baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural, pois as rochas que lhes dão origem estão localizadas próximas à superfície e dificultando a drenagem e com pouca capacidade de armazenamento de água. Assim, as águas subterrâneas apresentam-se de modo limitado, em fendas ou fraturas do substrato rochoso ou em depósitos mais extensos localizados em aluviões do sistema hidrográfico.

O escudo cristalino localiza-se em praticamente todo o Estado do Ceará, na parte meridional do Rio Grande do Norte, todo o interior da Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, bem como no centro-sul da Bahia. A área ocupada pelo escudo cristalino, corresponde a 45% da superfície do Nordeste e atinge 70% da região semi-árida (SUASSUNA, 1994). No Nordeste Cristalino, as rochas apresentam enorme variação em pequenas distâncias, o que influi diretamente sobre a natureza dos solos. Como essas variações também determinam a topografia (as rochas mais resistentes ficam no alto dos morros), neste caso, a distribuição dos solos, revela um conjunto completo de informações sobre geologia, relevo e drenagem (MOLINIER *et al.*, 1989).

A disponibilidade de áreas para o plantio de oleaginosas é extremamente heterogênea, diferindo nos tipos de solos e qualidade e quantidade dos recursos hídricos, de acordo com a natureza geológica e variações de topografia, relevo e disponibilidade hídrica. O Zoneamento Agroecológico do Nordeste (ZANE) da EMBRAPA Solos UEP Recife (2000) identificou, caracterizou e espacializou, 20 Grandes Unidades de Paisagens no Nordeste, em função da diversidade dos recursos naturais e socioeconômicos. Essas Grandes Unidades da paisagem foram então divididas em 172 Unidades Geoambientais<sup>96</sup>, das quais 110 estão em parte inseridas originalmente no domínio das caatingas, ou seja, em áreas associadas ao clima semi-árido e árido (MMA, 2003a). A Tabela 20 apresenta as unidades da paisagem cuja vegetação original é a caatinga.

---

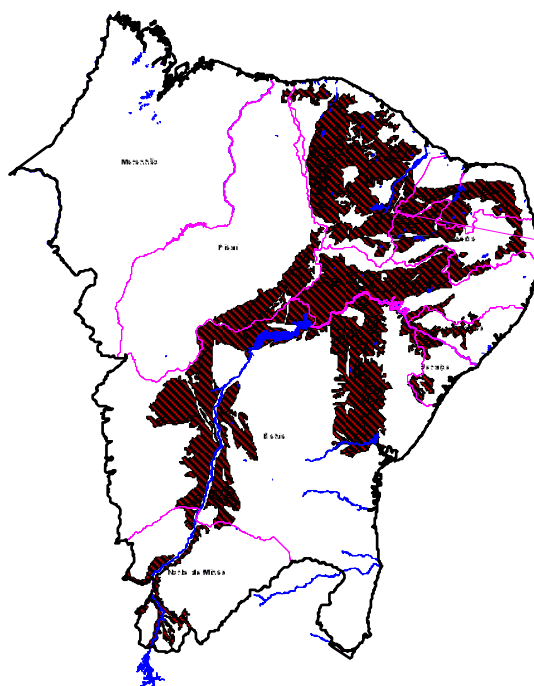
<sup>96</sup>Unidade especializada, na qual o substrato (material de origem do solo), a vegetação natural, o modelado (relevo) e a natureza e distribuição dos solos na paisagem constituem um conjunto, cuja variabilidade é mínima de acordo com a escala cartográfica. (MMA, 2003).

**Tabela 20** – Área das Unidades da Paisagem (km<sup>2</sup>) com vegetação original de caatinga e área ocupada por cada unidade da paisagem em relação a área total (%)

<b>Unidades de Paisagem</b>			
<b>Nome</b>	<b>Código</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área % (área unidade/ total)</b>
Chapadas Altas	A	27.500	2,9
Chapadas Intermediárias Baixas	B	100.000	10,7
Chapada Diamantina	C	59.000	6,3
Planalto da Borborema	D	34.800	3,7
Superfícies Retrabalhadas	E	39.300	4,2
Depressão Sertaneja	F	358.500	38,4
Superfícies Dissecadas no PI e Ma	G	19.500	2,1
Superfícies Dissecadas Diversas	H	58.000	6,2
Bacias Sedimentares	I	31.700	3,4
Superfícies Cársticas	J	75.200	8,0
Tabuleiros Costeiros	L	22.400	2,4
Grandes Áreas Aluviais	N	16.800	1,8
Dunas Continentais	Q	9.800	1,0
Complexo de campo maior	R	5.400	0,6
Maçãos e Serras Altas	S	37.700	4,0
Maçãos e Serras Baixas	T	35.400	3,8
Serrotes Inselbergues e Maçãos Residuais	U	3.600	0,4
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>934.600</b>	<b>100</b>

**Fonte: Adaptado de MMA, 2003a**

Como pode ser notado na Tabela 20, a Depressão Sertaneja é a unidade da paisagem típica do semi-árido nordestino, sendo a maior e mais contínua unidade da paisagem do semi-árido, ocupando aproximadamente 34,8% da área com vegetação natural de caatinga. A Figura 18 apresenta a abrangência da depressão sertaneja.

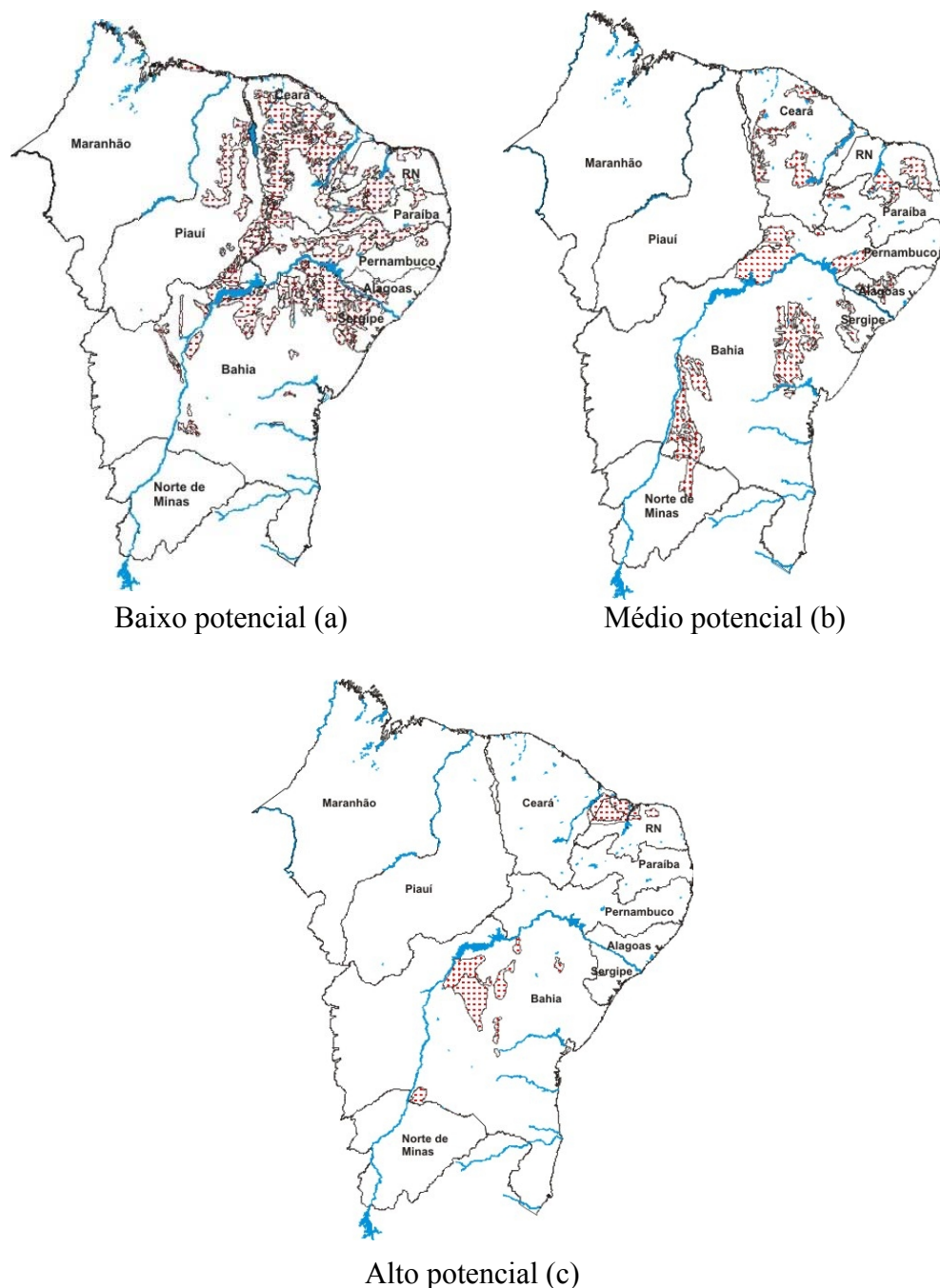


**Fonte: ZANE - EMBRAPA Solos UEP Recife, 2000**

**Figura 18** - Abrangência da Depressão Sertaneja

A Depressão Sertaneja ocupa grande parte do Estado do Ceará, parte do Rio Grande do Norte, da Paraíba e de Pernambuco, enquanto na Bahia chega até Feira de Santana e, no leste baiano, ocupa a calha do rio São Francisco, alcançando a região de Pirapora no Norte de MG (Figura 18). O relevo é predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas, caracterizados por ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino, afloramentos de granitos, em cujos sopés ocorrem solos arenosos, de baixa a média fertilidade natural (EMBRAPA Solos UEP Recife, 2000).

A Figura 19 apresenta as unidades da paisagem quanto ao potencial agrícola. As áreas da unidade da paisagem foram mapeadas destacando-se as regiões com alto, médio e baixo potencial agrícola, com precipitação inferior a 800mm e predominância de pequenas e médias propriedades (inferiores a 500 ha). Foram utilizados os recursos disponíveis do ZANE para o mapeamento dessas áreas.



**Figura 19** – Mapa do Nordeste com Unidades da Paisagem com Precipitação Média Anual Inferior a 800mm e Áreas de Potencial Agrícola Baixo (a), Médio (b) e Alto (c)

Os ambientes do semi-árido com fortes limitações para o uso agrícola, ou seja, as áreas com restrições de solo e/ou de clima, que são utilizadas predominantemente com pecuária, agricultura de subsistência e culturas como o algodão, mamona e outras adaptadas ao ambiente seco, ocupam cerca de 360 mil km<sup>2</sup>, ou o equivalente a 36

milhões de hectares (SILVA, 2000). A grande maioria dessas áreas ocupa a depressão sertaneja, em todos os Estados nordestinos (Figura 19 a).

Além disso, uma área correspondente a 420 mil km<sup>2</sup> (42 milhões ha) tem moderada aptidão para produção de grande variedade de culturas climaticamente adaptadas de sequeiro (SILVA *et al.*, 2000). Alguns desses trechos mais próximos aos mananciais hídricos são usados preferencialmente para agricultura irrigada. Outras áreas são utilizadas para pecuária extensiva e para a cultura de subsistência e algodão, com elevados riscos de perdas agropecuárias, em função da irregularidade pluviométrica. Essas áreas ocupam, em sua maioria, a depressão sertaneja nos Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe, mas também alguns trechos das bacias sedimentares e das áreas aluviais no Ceará (Figura 19 b).

Por último, as áreas de alto potencial agrícola, apresentam solos de alta à média fertilidade natural, boas condições físicas e hidrológicas, localizados às margens dos mananciais hídricos e nas áreas das bacias sedimentares de natureza calcária. Essas áreas são conhecidas como brejos ou serras úmidas. São as zonas do semi-árido com mesoclima de altitude, onde o regime de chuvas é mais favorável à agricultura e os solos são mais profundos e desenvolvidos, favorecendo o balanço hídrico e apresentando boa aptidão para uma boa variedade de culturas e pastagens, ocupam 158 mil km<sup>2</sup> (15,8 milhões de ha) do semi-árido (SILVA *et al.*, 2000) (Figura 19 c).

Na Tabela 21 é possível constatar que as áreas agrícolas do Nordeste, com exceção do Maranhão, que não está sendo considerado nesta análise, ocupam cerca de 65 milhões de hectares em 1996 (último Censo Agropecuário). Como exposto acima, a grande maioria dessas terras tem baixa a médio potencial para a agricultura, assim a maioria destas terras era ocupada com pastagens e matas naturais (52%), como pode ser observado na Tabela 21.

**Tabela 21** – Utilização das Terras Agrícolas do Nordeste (mil hectares), 1996

Utilização das terras	Nordeste	
	(10 <sup>3</sup> ha)	%
Lavouras permanentes	2.569	4
Lavouras temporárias	6.955	11
Lavouras temporárias em descanso	3.073	5
Pastagens naturais	17.574	27
Pastagens plantadas	9.192	14
Matas e florestas naturais	16.543	25
Matas e florestas artificiais	364	1
Terras produtivas não utilizadas	6.586	10
Terras inaproveitáveis	2.880	4
Total	65.736	100

**Fonte: Censo agropecuário (IBGE, 1996)**

Entretanto, cerca de 10% da área agrícola do Nordeste (com exceção do Maranhão) era representada por terras produtivas não aproveitadas em 1996, o que equivalia a uma área de cerca de 6 milhões de hectares (Tabela 21). Numa hipótese conservadora, pode-se assumir que essas áreas estariam disponíveis para o plantio de oleaginosas. Considerando a área das terras produtivas não utilizadas e a área proporcional de semi-árido (em relação ao Estado) para cada Estado nordestino, estimou-se a proporção dessa área que ocupa o semi-árido. Uma vez que não é possível afirmar quanto dessas áreas pertencem à agricultura familiar, foram reduzidas as áreas das terras produtivas não aproveitadas, situadas em estabelecimentos agrícolas igual ou maiores que 500ha. E, por fim, foram assumidas, duas hipóteses para o cálculo da disponibilidade de área para a expansão do cultivo de oleaginosas: a primeira considera que a cada 8 hectares da área agrícola não utilizada, somente 3 hectares estariam disponíveis para o plantio de oleaginosas. Esta premissa concorda com a recomendação da EMBRAPA Algodão, que sugere como indicativo para a sustentabilidade dos estabelecimentos agrícolas familiares no semi-árido, um sistema agro-silvo-pastoril, composto de 3 ha de área agrícola, 3 ha de pasto e 2 ha de pousio (terras de lavouras temporárias em descanso). A segunda hipótese considera que a área disponível para expansão do plantio de oleaginosas, sem prejuízo as demais atividades, corresponde à área agrícola não utilizada em 1996, estimada como pertencente aos estabelecimentos familiares do semi-árido. A Tabela 22 apresenta os resultados dessas hipóteses.



**Tabela 22 - Área Disponível para Expansão do Plantio Sustentável de Oleaginosas Por Agricultores Familiares do Semi-Árido**

<b>Estado</b>	<b>Terra produtiva não utilizada, em estabelecimentos menores que 500 hectares (ha)</b>	<b>Proporção da área no semi-árido em relação ao Estado (%)</b>	<b>Área disponível para a expansão do plantio de oleaginosas<sup>1</sup> (ha)</b>	<b>Área disponível para a expansão do plantio de oleaginosas<sup>2</sup> (ha)</b>
<b>AL</b>	80.579	41,2	33.199	12.450
<b>BA</b>	1.851.839	69,2	1.281.472	480.552
<b>CE</b>	719.241	86,5	622.144	233.304
<b>PB</b>	306.948	85,7	263.055	98.645
<b>PE</b>	383.771	87,6	336.183	126.069
<b>PI</b>	1.583.069	56,7	897.600	336.600
<b>RN</b>	275.408	93,1	256.405	96.152
<b>SE</b>	38.041	50,9	19.363	7.261
<b>Total</b>	<b>5.238.896</b>	<b>-</b>	<b>3.709.420</b>	<b>1.391.033</b>

<sup>1</sup>Valores correspondentes a área total estimada como disponível para o plantio de oleaginosas em estabelecimentos familiares do semi-árido Nordeste.

<sup>2</sup> Valores correspondentes a cerca de 3/8 da área total estimada como disponível para o plantio de oleaginosas em estabelecimentos familiares do semi-árido Nordeste.

**Fonte: Adaptado a partir de dados do IBGE (1996)**

Os valores encontrados na Tabela 22 são os máximos considerados para elaboração de cada cenário de oferta de matéria-prima, conforme será apresentado no capítulo 5. Assim, no capítulo 5, será elaborado um cenário de expansão do plantio de oleaginosas considerando uma área máxima de 1,3 milhões de hectares (equivalente a 27% da estimativa das terras agrícolas não utilizadas em estabelecimentos agrícolas menores que 500ha do nordeste) e um cenário considerando uma área máxima de cerca de 3,7 milhões de hectares disponíveis para a expansão do plantio de oleaginosas no semi-árido, em um horizonte de médio prazo (2008- 2015) (equivalente a área total agrícola não utilizada estimada para como disponível para o agricultor familiar do semi-árido)

A utilização dessas áreas para a expansão de oleaginosas, em termos de disponibilidade de áreas para o plantio, não acarretaria prejuízos ao desenvolvimento das atividades agrícolas tradicionalmente desenvolvidas (pecuária, cultivos de subsistência), uma vez que não foram contabilizadas as áreas de mata/pastagens naturais ou a área disponível

de pastagens plantadas que poderiam ceder lugar às oleaginosas em esquema de rotação. Muito pelo contrário, caso houvesse a adoção de práticas como a Integração Lavoura Pecuária (ILP), que consiste na reforma de pastagens utilizando-se a agricultura, haveria, outrossim, o aumento da produção pecuária em função da adoção de sistemas agro-pastoris.

Deve-se ter claro que esta estimativa não visa prever a área total disponível para plantio de oleaginosas, a qual, sem sombra de dúvida, é muito maior do que essas áreas estimadas. Por exemplo, como comentado a grande maioria dos estabelecimentos agrícolas do Nordeste são familiares (88%), mas, os estabelecimentos agrícolas familiares só ocupam 44% da área agrícola total do Nordeste, ou seja, 34 milhões de hectares (Tabela 15). Desse total, cerca de 5,4 milhões de hectares estão no Maranhão, ou seja, são unidades agrícolas familiares fora do semi-árido. Dos restantes 28,6 milhões de hectares ocupados pela agricultura familiar, só no semi-árido da Bahia e do Ceará encontra-se 15,6 Mha, ou seja, 54% da área ocupada com a agricultura familiar em todo o Nordeste. Supondo que dos restantes 12,9 Mha da área agrícola familiar cerca de 50% localiza-se no semi-árido dos demais estados Nordestinos (AL, PB, PE, PI, RN, SE) seriam mais 6,4 Mha familiares no semi-árido, ou seja um total de 19,4 Mha (15,6+ 6,4 Mha) em estabelecimentos agrícolas no semi-árido. Note que mesmo essa área de quase 20 Mha é altamente conversadora, uma vez que, a maioria da área ocupada por estabelecimentos agrícolas familiares está no semi-árido, devido, principalmente, a tendência dos proprietários patronais se instalarem nas áreas da zona da mata e agreste, onde as condições climáticas e de localização são melhores do que no semi-árido. Na Bahia, por exemplo, cerca de 80% da área agrícola familiar do Estado está no semi-árido e no Ceará cerca de 90% (Tabela 15). Além disso, todos os dados comentados são referentes ao último censo agropecuário (1996), ou seja, em dez anos, a reforma agrária desapropriou uma extensa área de terras improdutivas para a reforma agrária, que não estão sendo contabilizados. Portanto, nesse contexto, uma área de cerca de 3,7 Mha é altamente conservadora. A disponibilidade de áreas para a expansão do cultivo de oleaginosas em estabelecimentos agrícolas familiares do semi-árido tende a não interferir com as áreas de cultivos alimentares e a pecuária, no entanto, por outro lado o acesso ao solos de média e alta aptidão para a agricultura, bem como aos recursos produtivos, certamente, não será igual para todos agricultores familiares locais.

Deve-se ainda considerar que a inclusão do agricultor familiar do semi-árido na cadeia produtiva de biodiesel deverá estar pautada na perspectiva da inserção e/ou da ampliação do cultivo de oleaginosas compatíveis com a segurança alimentar, com as condições edafo-climáticas locais e com as tecnologias apropriadas a realidade de cada grupo de agricultores familiares. Além disso, devem ser cultivadas oleaginosas que ofereçam um bom rendimento em óleo e características físico-químicas condizentes com a produção do biodiesel, ou seja, que possam competir no mercado de biodiesel (atender a demanda criada por esse novo mercado). Na próxima seção serão analisadas algumas oleaginosas que poderiam ampliar o número de agricultores familiares inseridos na cadeia produtiva do biodiesel

#### **4.6. Características das Diferentes Oleaginosas para Fornecimento de Matéria-prima pela Agricultura Familiar do Semi-Árido para a Produção de Biodiesel**

As oleaginosas selecionadas para análise nesta tese são: algodão, amendoim, gergelim, girassol e mamona. A seguir serão apresentados os aspectos gerais dessas oleaginosas, sendo que os aspectos mais específicos dessas culturas serão discutidos no próximo item, quando são comentados alguns requisitos que potencializam o cultivo dessas oleaginosas como uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas. O pinhão manso será apenas comentado nessa tese, pois embora considerado uma oleaginosa promissora, não existe ainda domínio tecnológico para essa oleaginosa, dificultando uma análise aprofundada quanto à possibilidade de seu cultivo contribuir para a adaptação das mudanças climáticas. Outras oleaginosas adaptadas à região semi-árida, tais como, a oiticica, o licuri e a moringa, que podem vir a ser uma alternativa promissora para a inserção dos pequenos agricultores familiares, são ainda exploradas de forma extrativista, portanto, serão apenas brevemente comentadas.

##### **4.6.1. Algodão**

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado no Brasil, pertence a duas variedades: o algodoeiro herbáceo de ciclo anual, (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch), responsável por grande parte da produção nacional (mais de 90%) e o algodoeiro arbóreo, perene, (*Gossypium hirsutum* L. var. “*Marie-Galante*” Hutch), cujo plantio é restrito a alguns Estados do Nordeste (conhecido regionalmente como algodão mocó). A

cultura do algodão tem um aproveitamento bastante completo, além da fibra, seu principal produto, o algodoeiro produz diversos subprodutos de interesse agrícola e industrial, destacando-se o óleo bruto, que em média é 15% da semente (caroço) e a torta muito rica em proteínas, que é quase a metade da semente (BARROS *et al.*, 2004). O caroço do algodão é co-produto da pluma e pode ser utilizado tanto na alimentação animal como na produção de óleo vegetal e equivale a aproximadamente 60% da produção, dependendo de sua variedade e das condições de manejo da cultura (CARVALHO *et al.*, 2006).

Cabe mencionar que a queima dos restos culturais, inclusive as raízes do algodão herbáceo é exigido por Lei, a fim de eliminar focos do bicudo e da lagarta rosada e de doenças fúngicas que atacam o algodão (controle fitossanitário). Essa prática acarreta emissão de Gases de Efeito Estufa (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub>). Entretanto, na Comunicação Inicial do Brasil, onde foram inventariadas as emissões de Gases de Efeito Estufa Brasileira nos anos 1990 e 1994 (MCT, 2004), as emissões devido à queima do algodão herbáceo na região Nordeste, não foram consideradas. De acordo com o citado documento, a maioria dos produtores de algodão do Nordeste aproveita os restos culturais para a alimentação animal, não realizando a queima (e, portanto, não cumprindo a Lei e evitando essa fonte de GEE para a atmosfera).

#### **4.6.2. Amendoim**

O amendoim (*Arachis hypogaea* L) é uma leguminosa anual, cujo fruto é, na verdade, um legume ou vagem que se desenvolve por processo especial de frutificação, denominado geocarpia, em que uma flor aérea, após ser fecundada, produz um ginóforo, que entra no solo e produz um fruto subterrâneo (vagem) (SUASSUNA *et al.*, 2006). As sementes do amendoim possuem altos índices de proteínas e óleos, apresentando aproveitamento em torno de 40 a 50% na extração de óleo e 50% de farelo. (BARROS, *et al.*, 1994).

O amendoim no Nordeste é predominantemente cultivado por parceiros ou pequenos arrendatários, com áreas cultivadas geralmente inferiores a 20ha, onde se utiliza baixo nível tecnológico e a produção visa a atender principalmente o consumo *in natura*,

sendo os restos culturais, cascas e ramos, usados para a ração animal ou incorporação no solo como adubo orgânico (ARAÚJO *et al.*, 1992). Com relação ao valor alimentar, o amendoim é um alimento de alto valor calórico (cerca de 596 calorias/100g de sementes), rico em proteínas e vitaminas do complexo B e E, podendo suprir as carências de ordem nutricional, especialmente da população infantil (FREIRE *et al.*, 1998).

#### **4.6.3. Gergelim**

O gergelim (*Sesamum indicum L.*) é uma planta anual ou perene, com altura que varia de 0,5 a 3 m, caule ereto e que apresenta desenvolvimento radicular profundo e vigoroso que ajuda no seu desenvolvimento sob baixa disponibilidade hídrica aumentando sua resistência à seca (BELTRÃO *et al.*, 1994). O teor de óleo representa de 44 a 58% do peso das sementes. O sesamol, a sesamina e a sesamolina são antioxidantes naturais encontrados no óleo do gergelim, responsáveis pela elevada estabilidade química do óleo, evitando a rancificação, sendo este óleo o de maior resistência à oxidação entre todos de origem vegetal (FIRMINO, 1996). O gergelim é um alimento de alto valor nutricional, rico em óleo e proteínas. Além dos fins alimentares, seus grãos encontram diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química, sendo que a torta obtida da prensagem dos grãos se constitui em excelente concentrado para alimentação animal, sem quaisquer restrições (BELTRÃO, 2001).

#### **4.6.4. Girassol**

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma dicotiledônea anual da família *Compositae*. As sementes são ricas em óleo, com teores variando entre 30 e 50%. O grão é fonte de proteína na alimentação humana e animal, sendo o óleo comestível seu subproduto mais importante (PAES, 2005). Existem duas classes de girassol cultivado para fins comerciais, uma com pouco teor de óleo (cerca de 30%) utilizado como ração para aves e outra com teor de óleo mais elevado (aproximadamente 40%), utilizado na fabricação de óleo de cozinha. Em média, além de 400kg de óleo, para cada tonelada de grão são produzidos 250kg de casca e 350kg de torta, com 45% a 50% de proteína bruta, sendo este subproduto basicamente aproveitado na produção de ração, em misturas com outras

fontes de proteína (CALVASIN JUNIOR, 2001). A planta possui aproveitamento integral, sendo utilizada como forragem, silagem e adubo verde.

É possível o desenvolvimento de apicultura aproveitando o plantio do girassol, pois as abelhas são importantes para a polinização dessa cultura e o girassol fornece pólen e néctar para as abelhas, sendo viável a extração de 20 a 30kg de mel por hectare de girassol (CASTRO *et al.*, 1997).

#### **4.6.5. Mamona**

A mamona (*Ricinus communis* L.) pertence à família *Euphorbiaceae* e é uma planta rústica, heliófita, resistente à seca, com altura variável de até 3 metros, com raízes pivotantes que podem atingir 3 metros de profundidade, com ramificações laterais que podem atingir 1 metro de profundidade (GONÇALVES *et al.*, 2005). Essa planta tem hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e racemos (cachos), com frutos, geralmente com espinhos. Das sementes de diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração são extraídos 43% a 50% de óleo (seu principal produto), sendo que o óleo de mamona ou de rícino contém 90% de ácido graxo ricinoléico, possibilitando uma ampla gama de utilização industrial (SAVY FILHO, 2005). O subproduto da extração do óleo, a torta, é utilizada como adubo orgânico possuindo, também, efeito nematicida<sup>97</sup>. Entretanto, a presença da proteína tóxica ricina, na composição do óleo de mamona, tem efeito altamente tóxico ao organismo animal, com sintoma principal de paralisia da respiração (morte por asfíxia) e a torta (apesar de altamente protéica) não pode ser utilizada na alimentação animal, salvo após processo de desintoxicação (GONÇALVES *et al.*, 2005).

#### **4.6.6. Pinhão Manso**

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma Euforbiácea (da mesma família que a mamona) perene, com aparência de arbusto grande, com tendência à ramificação desde a base. De crescimento rápido, atinge 3 a 5m de altura (normalmente de 2 a 3 metros), de caule liso e mole, nos quais circula o látex, suco leitoso, que escorre em qualquer

---

<sup>97</sup> Os nematicidas matam vermes. Os fitonematódeos podem atacar as raízes e frutos das plantas.

ferimento e, raízes curtas e pouco ramificadas (ARRUDA *et al.*, 2004). As sementes têm de 32 a 40% de casca e de 55 a 66% de amêndoa, sendo que a percentagem de óleo é em média de 35 a 40% nas sementes e de 50 a 60% de óleo nas amêndoas (SARTUNINO *et al.*, 2005). A torta é um fertilizante rico em nitrogênio, potássio, fósforo e matéria orgânica, porém, pela substância tóxica (compostos purgativos) presente, não pode ser utilizado para alimentação animal. De acordo com PEIXOTO (1973), o pinhão manso pode ser utilizado para a substituição parcial do arame em cercas vivas, já que os animais evitam tocá-lo devido ao látex cáustico que escorre das folhas arrancadas ou feridas ou como suporte para plantas trepadeiras, visto que o tronco possui casca lisa e macia.

Ainda não se conhecem variedades melhoradas ou cultivares de pinhão (SATURNINO, *et al.*, 2005). O pinhão manso não é produzido em escala comercial no Brasil, entretanto vários Estados estão produzindo experimentalmente, com destaque para Minas Gerais, pioneira nos estudos sobre o pinhão, por intermédio da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Na Bahia, no Ceará e no Piauí, estão ocorrendo várias experiências piloto com plantio do pinhão manso.

O início da produção do pinhão é por volta dos décimo mês após o plantio, mas a produção só atinge a plenitude por volta do terceiro ou quarto ano, podendo chegar aos 40 anos de idade produzindo (ARRUDA *et al.*, 2004). O pinhão pode ser reproduzido via sementes ou multiplicado por estacas (estaquia). A multiplicação por sementes resulta em grande variação entre plantas, porém geralmente resulta em plantas mais robustas, de maior longevidade e com desenvolvimento de raiz pivotante, o que confere maior resistência à seca, enquanto a estaquia permite um número maior de indivíduos geneticamente iguais, o que favorece a uniformidade do *stand* (SATURNINO *et al.*, 2005).

O pinhão é adaptável a uma ampla faixa climática, temperaturas entre 18 a 28,5°C, altitudes do nível do mar a cerca de 1.000 metros e precipitação média de 480 a 2.380mm (BELTRÃO, 2006). Essa planta é tolerante à seca, podendo sobreviver com 200mm de chuvas anuais e até com três anos de secas consecutivas, paralisando seu crescimento nesses períodos perdendo as folhas e sobrevivendo da água armazenada nos

caules (SATURNINO *et al.*, 2005). Apesar do pinhão se desenvolver em solos de baixa fertilidade e alcalinos, essa cultura deve, preferencialmente, ser plantada em solos profundos, bem estruturados e pouco compactado, para que o sistema radicular possa se desenvolver e explorar maior volume de solo, satisfazendo a necessidade da planta em nutrientes (ARRUDA *et al.*, 2004).

O pinhão pode ser considerado como uma possível oleaginosa para a agricultura familiar no semi-árido Nordeste, como uma cultura adicional à mamona, dada a potencialidade de resistir a regime de estresse hídrico, sua grande rusticidade e possibilidade de uso na produção do biodiesel. Pode ainda ser cultivado em consórcio com outras culturas como o amendoim, algodão entre outras e com a vantagem de ser perene, não exigindo preparo do solo anual (ARRUDA *et al.*, 2004).

Entretanto, como ressalta BELTRÃO (2006), não se conhece quase nada da bioquímica e da fisiologia desta planta, não existem cultivares definidas e alguns aspectos agrônômicos ainda carecem de investigação, como por exemplo, a população de plantas ideal e a configuração de plantio. Além disso, o autor ressalta que a torta do pinhão, apesar de rica em nutrientes, tem elevado teor de lignina, em média 14 % em relação ao peso da semente. Essa substância química é de difícil digestão até por ruminantes. Existem indicações, também, que a floração desta cultura é descontínua, com frutos na mesma inflorescência de idades diferentes e níveis de deiscência (abertura) ainda não totalmente estudados (SATURNINO *et al.*, 2005). Em síntese, ainda faltam informações tecnológicas para validar essa cultura como uma oleaginosa definitivamente promissora para produção de óleo na região.

#### **4.6.7. Outras oleaginosas**

Diversas oleaginosas nativas ou adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras têm sido citadas e pesquisadas como promissoras como matéria-prima para produção do biodiesel. Dentre as quais se destacam a macaúba (*Acrocomia aculeata*), o babaçu (*Orbygnia barbosiana*), o pequi (*Caryocar brasiliense*), o buriti (*Mauritia flexuosa*), a oiticica (*Licania rigida*), o licuri (*Syagrus coronata*) e a moringa (*Moringa oleifera*). Entretanto, com exceção das três últimas oleaginosas, as demais se desenvolvem bem



em regiões de cerrado, ou na Zona da Mata Nordestina. Especificamente para desenvolvimento nas condições do semi-árido se destacam a oiticica e o licuri que são plantas nativas da região semi-árida nordestina e a moringa, originária do noroeste indiano, mas que apresenta alta adaptação ao ambiente semi-árido. Portanto, nesta tese, serão fornecidas algumas informações básicas sobre as últimas três oleaginosas.

A oiticica é uma espécie arbórea perene sempre verde, que preserva as margens dos rios e riachos temporários na região da caatinga. Tem grande importância, tanto pelo aspecto ambiental, como por ser espécie produtora de óleo, cujas sementes contêm cerca de 54% de óleo, sendo, atualmente, empregado na indústria de tintas de automóvel e para tintas de impressoras jato de tinta, além de vernizes e outros fins (MELO *et al.*, 2006). A oiticica ocorre nas bacias hidrográficas nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Essa espécie pode ser importante para a sustentabilidade do biodiesel no semi-árido, pois além do alto teor de óleo de suas sementes, a época de colheita é realizada entre os meses de dezembro a fevereiro, período de maior escassez de renda para a agricultura familiar (PALMEIRA, 2006).

O licuri é uma palmeira típica do semi-árido nordestino, bem adaptada às regiões secas e áridas da caatinga. Mede de 8 a 11 metros de altura e possui grande potencial alimentício, ornamental e forrageiro, ocorrendo do norte de Minas Gerais, passando pela Bahia, até o sul de Pernambuco, incluindo também os Estados de Sergipe e Alagoas (NOBLICK, 1996). Da amêndoa são extraídos cerca de 55 a 61% de óleo comestível, análogo ao coqueiro da praia (*Cocus nucifera*, Lin), sendo também utilizada para fabricação de cocadas, licores e o leite de licuri, muito utilizado na culinária baiana, ou mesmo consumida *in natura* (DUQUE, 2001). As indústrias fabricavam óleo de licuri em Senhor do Bonfim com destino à produção de saponáceos (sabão em pó, detergentes, sabão em barra e sabonetes finos), visto que o licuri é considerado o melhor óleo brasileiro para a produção de sabão (SANTOS & SANTOS, 2002). O licuri é promissor para a fabricação de biodiesel, sua frutificação ocorre durante um longo período do ano, garantindo a oferta de frutos durante quase todo o ano (DUQUE, 2001).

A moringa é um arbusto perene, de crescimento rápido, que alcança até 12 metros de altura. Encontra-se disseminada na região nordeste, particularmente no Ceará,

adaptando-se tanto às condições irrigadas quanto às de sequeiro, cujas sementes contém cerca de 26% de óleo, com grande potencial para utilização na produção de biodiesel (BEZERRA *et al.*, 2004). Na Índia e na África, as folhas da moringa são colhidas diariamente para uso em sopas, molhos e saladas e os frutos verdes são preparados de forma similar às ervilhas verdes, pois possuem um alto conteúdo de proteína (27%) e são ricas em vitamina A e C, cálcio, ferro e fósforo (CORREA, 1984). O uso de sementes trituradas da moringa funciona para a purificação de água, como um coagulante natural e poder bactericida, sendo mais uma vantagem para os agricultores familiares nordestinos com acesso limitado à água tratada (CORREA, 1984).

Essas espécies, entre outras, dependem da implementação de pesquisas agronômicas visando o desenvolvimento de sistemas de cultivo comerciais, uma vez que são, na maioria, exploradas de forma extrativistas. De acordo com os resultados de pesquisas direcionadas a utilização desses óleos na produção de biodiesel, essas espécies poderão ser mais uma alternativa para inserção dos agricultores familiares do semi-árido na cadeia produtiva do biodiesel.

#### **4.7. O cultivo de Oleaginosas por Agricultores Familiares como Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas**

Cabe considerar alguns aspectos que são altamente relevantes para a difusão do cultivo dessas oleaginosas entre os agricultores familiares no semi-árido, como a tradição local de plantio de oleaginosas; o zoneamento agroclimático; a existência de variedades adaptadas ao semi-árido; a adaptação das oleaginosas a vulnerabilidade climática; a possibilidade de práticas agrícolas manuais; a possibilidade de consórcio e utilização de restos culturais; as exigências em solos e os benefícios da rotação de culturas e a geração de renda.

##### **4.7.1. Tradição Local de Plantio das Oleaginosas, Variedades Adaptadas ao Semi-Árido e Zoneamento Agroclimático.**

O algodão, o amendoim e a mamona são tradicionalmente plantados no semi-árido, embora somente a mamona seja plantada para a produção específica de óleo. O girassol

começa a ser plantado em alguns estados do Nordeste (principalmente Bahia). O gergelim já foi uma cultura difundida no semi-árido, mas, atualmente, é plantada de forma dispersa e não consta das estatísticas oficiais quanto à área plantada no Brasil.

A Tabela 23 apresenta a área plantada, a produtividade e o valor da produção para o algodão (herbáceo e arbóreo), o amendoim, a mamona, o girassol, o milho e o feijão no Nordeste. As áreas plantadas com milho e feijão são apresentadas aqui, uma vez que várias oleaginosas podem ser plantadas em consórcio ou rotação de culturas com o milho e o feijão (o consorciamento e a rotação de culturas serão comentados adiante) e são espécies predominantemente utilizadas para o auto-consumo. Os dados utilizados são da Produção Agrícola Municipal do IBGE, respectivamente para os anos 1996 a 2005.

**Tabela 23** – Área Plantada (ha), Produtividade (kg/ha), Valor da Produção (R\$/t) e Taxa de Crescimento da Área Plantada (%) de Produtos Seleccionados, Nordeste 1996 e 2005

	Área plantada (ha)		Produtividade (kg/ha)		Valor produção (R\$/ t)		Taxa crescimento área plantada (%)	Ocupação relativa da área plantada (%) <sup>1</sup>
	1996	2005	1996	2005	1996	2005	1996-2005	2005
<b>Algodão herbáceo (caroço)</b>	209.772	340.219	420	2.623	468	1.046	62	3,34
<b>Algodão arbóreo (caroço)</b>	17.183	5.536	138	383	500	1.061	-68	0,23
<b>Amendoim (casca)</b>	7.296	10.690	898	1.110	345	925	47	0,11
<b>Girassol (grão)</b>	-	502	-	960	-	500	-	0
<b>Mamona (baga)</b>	127.626	227.068	310	678	245	561	78	2,23
<b>Feijão (grão)</b>	880.157	924.583	367	405	499	1032	-5	22,44
<b>Milho (grão)</b>	2.043.976	2.933.266	791	1067	157	287	6	27,00

**Fonte: IBGE/PAM (1996 e 2005)**

Nota: Para todas as culturas listadas, com exceção do algodão arbóreo foi estimada a área plantada relativa à área total ocupada com plantio de culturas temporárias, para o algodão arbóreo foi estimada a área plantada com a cultura relativa à área total ocupada com culturas permanentes.

Note-se que no período de 1996 a 2005 houve um aumento significativo da área plantada e produtividade para quase todas as culturas agrícolas listadas na Tabela 23, com exceção do algodão arbóreo, que ao contrário, apresentou uma queda vertiginosa, do feijão que se manteve estável no período e do girassol que só aparece nas estatísticas do IBGE a partir de 2005. No entanto, essas culturas ocupam um pequeno espaço das áreas agrícolas do Nordeste, como pode ser notado quando se analisa a última coluna da Tabela 23, com exceção para o algodão e a mamona que são as oleaginosas mais plantadas entre as citadas. Quanto ao valor da produção, o cultivo mais rentável é o feijão, seguido do algodão (arbóreo e herbáceo) e do amendoim, cujos valores de produção aumentaram significativamente no período. Particularmente em relação à

mamona, a área plantada aumentou em 78% de 1996 a 2005, a produtividade e o valor da produção tiveram seus valores mais que dobrados no período (Tabela 23).

Considerando os dados do IBGE (2005), para o sertão de Alagoas, o centro-norte baiano (região de Irecê e adjacências), os sertões da Paraíba, de Pernambuco e de Sergipe e ainda a região central Potiguar (RN) e sudeste piauiense, estimou-se a produtividade média representativa para o semi-árido das culturas de algodão (herbáceo e arbóreo), amendoim, girassol e mamona no ano de 2005 (Tabela 24).

**Tabela 24 - Área plantada (ha), Produtividade (kg/ha), Semi-Árido Nordeste em 2005**

<b>Região Semi-árida</b>		<b>Algodão herbáceo (caroço)</b>	<b>Algodão arbóreo (caroço)</b>	<b>Amendoim (casca)</b>	<b>Girassol (grão)</b>	<b>Mamona (baga)</b>
<b>Sertão Alagoas</b>	Área plantada (ha)	6.966	-	-	-	-
	Produtividade (kg/ha)	303	-	-	-	-
<b>Centro Norte _BA</b>	Área plantada (ha)	3.792	-	906	502	163.243
	Produtividade (kg/ha)	774	-	859	960	686
<b>Sertão Cearense</b>	Área plantada (ha)	4.570	70	7	-	6.270
	Produtividade (kg/ha)	700	257	1.286	-	670
<b>Sertão Paraíba</b>	Área plantada (ha)	8.840	1.005	5	-	445
	Produtividade (kg/ha)	366	208	600	-	919
<b>Sertão Pernambuco</b>	Área plantada (ha)	2.468	80	-	-	4.629
	Produtividade (kg/ha)	508	488	-	-	379
<b>Sudeste Piauí</b>	Área plantada (ha)	12.335	170	32	-	2.454
	Produtividade (kg/ha)	160	47	719	-	268
<b>Central Potiguar</b>	Área plantada (ha)	969	97	-	-	751
	Produtividade (kg/ha)	251	814	-	-	598
<b>Sertão de Sergipe</b>	Área plantada (ha)	-	-	35	-	-
	Produtividade (kg/ha)	-	-	1.086	-	-
<b>Semi-árido</b>	Produtividade média (kg/ha)	<b>437</b>	<b>366</b>	<b>910</b>	<b>960</b>	<b>587</b>

**Fonte: IBGE/ PAM (2005)**

A cultura do algodão herbáceo vem ganhando força no Nordeste e no semi-árido, em especial entre os pequenos e médios produtores, sendo principalmente plantado na Bahia (77% da produção), mas em menor escala em Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (IBGE/PAM, 2005). O Nordeste é responsável por cerca de 30% da produção de algodão herbáceo brasileira, correspondente a uma área de cerca de 350

mil hectares, e produtividade média de 2.623kg/ha em 2005 (Tabela 24). A Bahia ocupa a segunda posição na produção nacional, responsável por 22,4% da produção nacional (IBGE/PAM, 2005). Entretanto no semi-árido a produtividade média situa-se bem abaixo da regional, correspondendo a 774 kg/ha na Bahia e a 437kg/ha na média (Tabela 24).

No semi-árido, o algodão arbóreo, como já comentado, teve um expressivo declínio na produção a partir de meados dos anos 80. No início dos anos 80, o semi-árido nordestino chegou a cultivar mais de 3 milhões de hectares de algodão arbóreo. A chegada do bicudo na região, aliada aos impactos negativos das políticas públicas da década de 90, fizeram o preço do algodão desabar, sendo a cunicultura substituída pela pecuária extensiva e por culturas de subsistência (PERES & BELTRÃO, 2006). Atualmente são plantados na região, cerca de 5 mil hectares desse algodão, com rendimento médio de 366kg/ha (Tabela 24). Essa cultura é principalmente plantada no semi-árido da Paraíba, sendo o Estado responsável por 84% da área plantada (4,6 mil hectares) e 89% da produção, complementado por cultivos em Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

O amendoim nordestino está distribuído no Recôncavo Baiano, nos tabuleiros costeiros de Sergipe, nas zonas da Mata, Agreste e Sertão Pernambucano, no Agreste e Brejo da Paraíba e no Cariri Cearense (EMBRAPA, ALGODÃO, 2007). De acordo com dados da CONAB (2007), a Bahia, maior produtora de amendoim no Nordeste, plantou na última safra, cerca de 7 mil hectares de amendoim, seguida pela Paraíba com uma área plantada de 1,9 mil hectares, Sergipe (1,2 mil hectares) e Ceará (800 hectares). A produtividade média do amendoim no semi-árido nordestino corresponde a 910kg/ha (Tabela 24).

O Nordeste é o maior produtor de mamona no Brasil, responsável por 94% (228 mil hectares) da área plantada e 92% (154 mil toneladas) da produção brasileira. A Bahia é responsável por 83% (189 mil hectares) da área nordestina plantada, produzindo quase 90% (132 mil toneladas), com produtividade média de 725kg/ha no ano de 2005 (IBGE/PAM, 2005). Em 2005, após a Bahia, em ordem decrescente de produção, encontra-se o Ceará, responsável por 6% da produção regional, com 14 mil hectares e

produtividade média de 695kg/ha, o Piauí (3% da produção regional), com 11 mil hectares, produtividade de 457kg/ha, Pernambuco (responsável também por 3% da produção regional) com 9,5 mil hectares e produtividade de 490kg/ha e Rio Grande do Norte e Paraíba, cada um responsável por 1% da produção regional (IBGE/PAM, 2005). Grande parte do cultivo de mamona nordestina é realizada no semi-árido, cuja produtividade média é de 587kg/ha (Tabela 24).

No que se refere ao girassol, o plantio brasileiro está localizado principalmente no sul, sudeste e centro-oeste (o Estado do Goiás é o maior produtor). Na safra de 2004/2005 foram plantados cerca de 44 mil hectares e o rendimento médio de 1.420kg/ha (IBGE/PAM, 2005). No Nordeste essa cultura ainda está sendo implantada em nível experimental e alguns Estados, como a Bahia, Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Piauí. Na Bahia, foram plantados cerca de 502ha, na região do centro norte baiano, com rendimento médio de 960kg/ha (Tabela 24), sendo encontrado o rendimento mínimo de 800kg/ha nos municípios de Barro Alto, Canarina e um máximo de 1.000kg/ha, nos municípios de Ibipeba, Irecê, João Dourado (IBGE/PAM, 2005).

Quanto ao gergelim, sua exploração comercial teve início em 1986 no Nordeste, após a drástica redução do cultivo do algodão. Essa cultura é plantada no Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (BELTRÃO, 2001). A área plantada em 1985, que era de 1.000 hectares evoluiu para 7.000 hectares em 1988, entretanto, a comercialização do gergelim é bastante pulverizada e de difícil organização, principalmente por ser proveniente de pequenos agricultores, onde se concentra a maior parte da produção (BELTRÃO, 1995). A produtividade média do gergelim no Nordeste é de 590kg/ha, porém é comum encontrar produtividade em torno de 250kg/ha (AMORIM NETO *et al.*, 2001). No Brasil, a cultura ainda é incipiente e como não existem estatísticas sobre a produção por estado, estima-se sejam produzidas 15 mil toneladas em 25 mil hectares plantados com rendimento em torno de 600kg/ha (SEVERINO *et al.*, 2004). O mercado interno no Brasil é estimado em 50.000t de grãos, dos quais 80% são importadas (FIRMINO *et al.*, 2003). Além do cultivo em pequena escala na maioria dos estados nordestinos, o gergelim é cultivado em São Paulo, Goiás (maior produtor), Mato Grosso e Minas Gerais.



O desenvolvimento ou a existência de cultivares<sup>98</sup> adaptadas às condições do semi-árido é um componente importantíssimo no que se refere à estratégia de adaptação às mudanças climáticas. O desenvolvimento de cultivares mais resistentes à seca, às altas temperaturas e com menor susceptibilidade a pragas e doenças é fundamental para a viabilidade e manutenção do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido, permitindo uma maior segurança para o produtor familiar, frente à vulnerabilidade climática. Com exceção do pinhão manso, todas as outras oleaginosas possuem variedades desenvolvidas para as condições do semi-árido. A Tabela 25 apresenta as cultivares recomendadas para cultivo em sequeiro em condições semi-áridas.

---

<sup>98</sup> De acordo com a Lei nº 10.711/2003 sobre sementes e mudas: cultivar é a variedade de qualquer gênero ou espécie vegetal superior que seja claramente distinguível de outras cultivares conhecidas, por margem mínima de descritores, por sua denominação própria, que seja homogênea e estável através de gerações sucessivas. A multiplicação de uma variedade ou cultivar se dá através de sementes ou mudas (certificadas ou não).

**Tabela 25** – Cultivares de Oleaginosas Indicadas para Plantio no Semi-Árido Nordeste, 2006

	Cultivares	Ciclo (dias)	Produtividade esperada cultivo em sequeiro (kg/ha)
<b>Algodão</b>	CNPA 7H*	130	2.200
	BRS 186* (arbóreo)	120	2.200
	BRS 187*	140	2.500
	BRS 200*	140	860
	BRS 201*	140	3.300
<b>Amendoim (amêndoas)</b>	BR 1*	90	1.800
	BRS 151L7*	87	1.800
	BRS Havana*	90	1.900
	IAC – Tatu**	110	800
<b>Mamona</b>	BRS 149*	250	1.500
	BRS 188 (Paraguaçu)*	250	1.500
<b>Gergelim</b>	CNPA G2*	100	400
	CNPA G3*	90	600
	CNPA G4*	90	400
	Seridó 1*		650
<b>Girassol****</b>	IAC-Uruguai**		1.500
	Catissol 01****		1.500
	Embrapa 122*	100	2.250

\* O mantenedor<sup>99</sup> é a EMBRAPA;

\*\* O mantenedor é o IAC;

\*\*\*\* Em teste na Bahia pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA, 2006);

\*\*\*\*\*O mantenedor é a Niquisa-Nichirei Pesquisas Agrícolas Ltda. (Recife-PE)

Note que a produtividade máxima dessas cultivares é, em geral, superior às encontradas para a região semi-árida nordestina (Tabela 24), porém mais próxima à produtividade média registradas para a região Nordeste (Tabela 23). A grande maioria dos agricultores familiares do semi-árido, incluindo os arrendatários, posseiros e proprietários com até 20 hectares, realiza o plantio a partir de semente de tipos locais, ou seja, adquiridos em feiras livres ou em armazéns, conhecidas com sementes criolas<sup>100</sup> ou mesmo de sua própria produção. Somente cerca de 13% dos agricultores familiares nordestinos usam sementes selecionadas (ARAÚJO *et al.*, 1992). O uso de sementes sem procedência

<sup>99</sup>Mantenedor: pessoa física ou jurídica que se responsabiliza por tornar disponível um estoque mínimo de material de propagação de uma cultivar inscrita no Registro Nacional de Cultivares - RNC, conservando suas características de identidade genética e pureza varietal (Lei 10.711 de 2003).

<sup>100</sup>Sementes criolas - variedades desenvolvidas, adaptadas ou produzidas por agricultores familiares, assentados da reforma agrária ou indígena, com características bem determinadas e reconhecidas pelas respectivas comunidades, que não se caracterizam como substancialmente semelhantes às cultivares comerciais (Lei 10.711 de 2003).

controlada, associada às práticas agrícolas rudimentares praticadas pela grande maioria desse grupo de agricultores (por exemplo, sem correção da acidez do solo pela calagem), resulta em baixa produtividade, inclusive pelo aumento da susceptibilidade às pragas e/ou doenças. Entretanto, muitas vezes, as sementes selecionadas por produtores do sertão nordestino representam um material genético promissor para adaptação dessa cultura às condições do semi-árido. Por exemplo, a cultivar Sertão do amendoim, selecionada por agricultores familiares do semi-árido, tem demonstrado bom rendimento em amêndoas e boa resistência às condições edafoclimáticas do semi-árido sendo um material promissor para o melhoramento genético (SANTOS, 2005).

Entender como são ativadas e como ocorrem as respostas adaptativas, constitui o ponto principal para o desenvolvimento de novas cultivares comerciais, mais tolerantes à seca (ASSAD, 2002). Nesse sentido, necessita-se identificar genótipos tolerantes ou resistentes ao déficit hídrico no solo e às condições adversas do meio ambiente, que resultam em altas demandas evaporativas encontradas no semi-árido. Estratégias de adaptação às mudanças climáticas devem levar em conta não só a seleção e desenvolvimento desse material genético que apresentam melhores respostas adaptativas às condições de estresse, mas sua difusão entre um número cada vez maior de agricultores, a fim de garantir a sustentabilidade das atividades agrícolas futuras na região.

Outro importante aspecto a ser considerado é o zoneamento agrícola de risco climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Conforme já comentado, a utilização do pacote tecnológico oferecido por esse zoneamento (culturas zoneadas por municípios, cultivar indicada, tipo de solo, época de plantio) serve de orientação para o acesso ao crédito agrícola oficial e enquadramento no seguro rural privado e público (PROAGRO). Além de permitir o acesso ao crédito agrícola e aumentar a garantia para o produtor (acesso ao seguro safra), o zoneamento agroclimático permite a redução das perdas agrícolas por efeitos climáticos, auxiliando a gestão de riscos climáticos na agricultura.

Esses zoneamentos são elaborados com base nos conceitos de potencialidade e aptidão para a cultura, pela análise do solo, do clima e da planta. Quanto aos riscos climáticos,

são aplicadas funções matemáticas e estatísticas com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras devido à ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a ocorrência de secas. Com isto, identifica-se para cada município, a melhor época de plantio das culturas nos diferentes tipos de solo e ciclos das cultivares adaptadas à região e disponíveis no mercado, em cada ano agrícola. De fato, com a possibilidade do cultivo de oleaginosas ser uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas, esse instrumento será de grande utilidade.

A mamona e o algodão são contemplados pelo zoneamento de risco climático para vários municípios do semi-árido nordestinos (MAPA, 2007). O girassol, no ano de 2007, tem zoneamento de risco climático para o Piauí (MAPA, 2007) e o amendoim em Pernambuco (AMARAL, 2006a). Quanto à mamona já foram zoneadas mais de 600 mil hectares de terras aptas ao cultivo no Nordeste (SLUSZZ & MACHADO, 2006). A maioria dessas áreas está no semi-árido, onde a luminosidade e a temperatura favorecem o desenvolvimento da cultura, com exceção das áreas mais áridas do Cariri pernambucano, Curimataú paraibano, Seridó potiguar e da região de baixa altitude da depressão sertaneja (BELTRÃO *et al.*, 2006).

A época de plantio para cada uma das oleaginosas varia de município para município, em função do máximo aproveitamento do período chuvoso no início do ciclo da cultura (plantio no início das chuvas) e também da possibilidade da colheita no período seco. Devido à grande variabilidade espacial da estação chuvosa do semi-árido nordestino, as épocas de plantio variam desde setembro até abril, sendo que nas regiões em que o período chuvoso dura até 4 meses, a preferência de plantio recai sobre os 2 meses iniciais (BELTRÃO *et al.*, 2006). Esta variabilidade espacial da chuva no semi-árido nordestino constitui-se em um diferencial competitivo em relação à disponibilidade de matéria-prima para produção de óleo. Isto porque a colheita é realizada em diferentes épocas do ano, dependendo do micro-clima local, oportunizando o escalonamento da oferta de matéria-prima no semi-árido como um todo (especialmente em anos de chuva normais).

Cabe mencionar ainda os serviços agrometeorológicos como um importante aliado para o sucesso da agricultura familiar no semi-árido. Destaca-se entre outros, o

AGRITEMPO - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico- que permite aos usuários o acesso, via Internet, às informações meteorológicas e agrometeorológicas de diversos municípios e estados brasileiros. Além de informar a situação climática atual, o sistema alimenta a Rede Nacional de Agrometeorologia (RNA) do MAPA com informações básicas que orientam o zoneamento agrícola brasileiro. Neste sistema já é possível prever os efeitos das mudanças climáticas para as culturas de arroz, feijão, milho e soja. O usuário pode simular a alteração da safra agrícola pelo aumento da temperatura, com aumento ou não da precipitação, em diversos tipos de solos e regiões (MAPA, 2007).

Outra importante ação nessa linha é o PROCLIMA, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), que realiza regularmente a estimativa de água no solo, na área de atuação da antiga SUDENE. O resultado final é a estimativa diária de água no solo, precipitação pluviométrica e evapotranspiração em nível de município. O PROCLIMA agrega ao seu Sistema de Informações Geográficas (SIG), bases de dados socioeconômicos provenientes do IBGE e estatísticas sobre ações emergenciais da ex-SUDENE, o que permite uma avaliação integrada dos impactos econômicos e sociais da variabilidade climática e das políticas públicas de mitigação.

A agrometeorologia fortalece as atividades de prontidão e de longo prazo para assegurar sustentabilidade agrícola e preservar recursos naturais. O reconhecimento do impacto potencial das mudanças climáticas sobre o setor agricultura conduz a uma maior consciência da necessidade das estratégias de adaptação a fim de minimizar os efeitos climáticos adversos. Neste sentido, é fundamental a estruturação de uma política de agrometeorologia que ajude a construir estratégias de adaptação de forma pró-ativa.

#### **4.7.2. Perspectivas de cultivo das Oleaginosas frente à Vulnerabilidade Climática**

É de fundamental importância frente à vulnerabilidade climática e às projeções das mudanças climáticas para região semi-árida a escolha de oleaginosas adaptadas ao plantio de sequeiro. A escolha deve recair sobre as espécies com alta eficiência de uso da água, resistentes à seca e a temperaturas altas e de boa produtividade agrícola em

anos de chuva normal, ou sob técnicas simples de irrigação, como a irrigação de salvamento e outras técnicas simples de convivência com o semi-árido.

A tolerância à seca pode ser conceituada de várias maneiras, sendo sua natureza muito complexa, envolvendo interações com o ambiente, além de processos fisiológicos inerentes ao efeito provocado no metabolismo da planta (MACHADO *et al.*, 1976). Segundo SOUZA *et al.*, (1983), espécies e variedades com um sistema radicular mais profundo apresentam maior capacidade de adaptação à escassez hídrica. O algodão, o girassol e a mamona possuem raízes pivotantes (profundas), com amplo crescimento radicular lateral, que permite um maior volume de solo explorado, maximizado a capacidade de absorção de água e a adaptação ao cultivo de sequeiro nas condições do semi-árido. Na Tabela 26 estão apresentadas as demandas hídricas e de temperatura para as oleaginosas selecionadas.

**Tabela 26** - Faixa de Temperatura (°C) e Exigência Hídrica (mm/ano) para Oleaginosas Selecionadas

Cultura	Faixa Temperatura (°C)	Exigência hídrica (mm/ano)
<b>Algodão herbáceo</b> <sup>1</sup>	20 – 30	500 -1500
<b>Algodão arbóreo</b> <sup>2</sup>	25 - 30	450 – 700
<b>Amendoim</b> <sup>3</sup>	22 - 29	500 – 700
<b>Gergelim</b> <sup>4</sup>	25- 27	400 – 600
<b>Girassol</b> <sup>5</sup>	8 a 34	500 - 700
<b>Mamona</b> <sup>6</sup>	20 – 30	400- 700

Fontes: <sup>1</sup>Beltrão (1999); <sup>2</sup>Amorim Neto *et al.*, (2001) <sup>3</sup>Santos, (1999);  
<sup>4</sup>Barros (2001); <sup>5</sup>Paes (2005); <sup>6</sup>Beltrão & Silva (1999)

A faixa de temperatura e exigência hídrica para as oleaginosas apresentadas na Tabela 26 mostra que todas essas oleaginosas se adaptam às condições climáticas do semi-árido atual. Essas plantas são adaptadas às condições semi-áridas por tolerar bem as baixas precipitações pluviais e as altas temperaturas. Considerando-se que a temperatura média do semi-árido é de 27°C e a precipitação média anual é de 800mm/ano, nota-se que a faixa de temperatura e exigência hídrica das oleaginosas analisadas encontram-se dentro dos limites para o cultivo no semi-árido (Tabela 26).

Outrossim, considerando o aumento da temperatura média projetado no cenário otimista de mudanças climáticas para a região Nordeste de +2°C (MARENGO *et al.*, 2007) e a faixa de temperatura para cada oleaginosa apresentada na Tabela 26, somente o gergelim não estaria apto a ser cultivado nessa nova faixa de temperatura. As projeções da variação da precipitação média devido às mudanças climáticas para o Nordeste ainda são incertas (MARENGO *et al.*, 2007). Entretanto, supondo uma redução de 30% na precipitação média anual, ou seja, supondo que a precipitação média anual do semi-árido passe a ser de 560mm/ano, comparando com os dados da Tabela 26, todas essas culturas se enquadrariam nesta nova disponibilidade hídrica. Note-se na Tabela 26 que o algodão arbóreo é, entre as culturas listadas, a mais resistente à alta temperatura e baixa disponibilidade hídrica. Essa cultura não tolera excesso de umidade no solo e baixas temperaturas (AMORIM NETO *et al.*, 2001).

No caso do amendoim, embora essa cultura apresente uma baixa exigência hídrica (Tabela 26), a disponibilidade hídrica afeta a sua produtividade. Experimentos conduzidos em condições de campo, demonstram que para a cultivar BR-1 plantada em Rodelas (BA), quando foram fornecidos 300mm de água o amendoim teve uma produtividade de 895kg/ha, enquanto que recebendo 700mm alcançou uma produtividade de 2.302kg/ha (SANTOS, 1999). Note-se que a produtividade encontrada por pelo citado autor, quando o amendoim foi submetido a um relativo estresse hídrico é muito semelhante à produtividade encontrada no semi-árido baiano (Tabela 24), indicando que embora essa cultura responda bem a maior oferta de água, sua produção no semi-árido é totalmente viável.

Já para o gergelim, o ideal é que a precipitação seja bem distribuída durante todo o ciclo da cultura, com insolação em torno de 2.700 (horas de brilho solar/ano), porém em locais com precipitação inferior a 300mm, a cultura produz cerca de 300 a 500kg/ha de grãos (BELTRÃO *et al.*, 1994). Esta oleaginosa tem boa resistência à seca, ao frio e ao calor, apresenta ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, pela altitude e pelo fotoperíodo<sup>101</sup> (GODOY *et al.*, 1985). A grande maioria das cultivares produz bem até altitude de 1.250m, além disso, as plantas tornam-se pequenas, pouco ramificadas e com baixa

---

<sup>101</sup> Duração efetiva do dia (luz).

produção (SEVERINO *et al.*, 2004). Esta planta é adaptada às condições semi-áridas do Nordeste, por tolerar bem as baixas precipitações pluviais e a distribuição irregular das chuvas.

O girassol adapta-se bem a uma ampla faixa de temperatura, mas a temperatura ótima para o seu desenvolvimento situa-se entre 27 a 28°C (Tabela 26), sendo que em temperaturas acima de 35°C reduz o teor de óleo (PAES, 2005). A demanda hídrica do girassol vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 1mm/dia durante a fase de semeadura à emergência, atingindo um máximo de 6 a 7mm/dia na floração e enchimento de grãos, decrescendo após este período (AMABILE, 2002). Seu sistema radicular profundo é bem desenvolvido lateralmente permitindo a manutenção da fotossíntese mesmo em condições de curtos períodos de seca, quando outras espécies nada produzem (CASTRO *et al.*, 1997).

Para a mamona, a temperatura média para o bom desenvolvimento da cultura é entre 20 e 30°C (Tabela 26), sendo que a temperatura ótima para a planta é em torno de 28°C e temperaturas muito elevadas, superiores a 40°C ou, muito baixas, inferiores a 10°C, provocam a redução substancial do teor de óleo nas sementes (BELTRÃO & SILVA, 1999). A mamona produz com viabilidade econômica em áreas onde a precipitação é até de 400-500 mm antes do início da floração (até 50 dias), pois sua demanda hídrica é maior durante a fase vegetativa (WEISS, 1983). O excesso de umidade é prejudicial em qualquer período do ciclo da lavoura, sendo mais crítico nos estágios de plântula, maturação e colheita. Chuvas durante a colheita causam grande redução na qualidade do produto e na produtividade, pois os frutos tendem a apodrecer no cacho (AZEVEDO *et al.*, 1997). A pluviosidade de 600-700mm é suficiente para que se obtenham rendimentos em torno de 1.500kg/ha (BELTRÃO & SILVA, 1999).

Sem dúvida, os sistemas de irrigação tradicionais reduzem o risco decorrente das condições climáticas adversas, diminuindo a oscilação da produtividade agrícola. Porém, a questão da salinização dos solos pela utilização intensiva de sistemas irrigados deve ser considerada no semi-árido. Os solos muito permeáveis do Nordeste (arenosos), aliado a alta demanda evaporativa do ar, facilitam a evaporação rápida da água de irrigação, facilitando o depósito de sais na superfície, o que torna a terra infértil e



culmina em processos de desertificação (SUASSUNA, 2005). Em contrapartida, a adoção de técnicas de convivência com o semi-árido, já comentadas nesse capítulo, deve ser incentivada, pois são as opções mais viáveis para a maioria dos agricultores familiares do semi-árido e podem contribuir a o aumento da produtividade agrícola e para a redução dos riscos agrícola frente os veranicos e secas que ocorrem com frequência no Nordeste.

#### **4.7.3. Possibilidade de Práticas Agrícolas Manuais**

Todas as oleaginosas selecionadas são passíveis de produção a partir de práticas manuais. Várias vantagens podem ser levantadas dessa prática no foco desse trabalho: a primeira é que a disponibilidade de mão-de-obra é um diferencial produtivo da região; a segunda é a maior possibilidade de difusão do plantio dessas oleaginosas entre os agricultores familiares menos capitalizados; a terceira é o menor custo de produção dessas oleaginosas; uma quarta vantagem seria a menor compactação do solo, que pode ser provocada pelo manejo inadequado do mesmo, como mecanização excessiva<sup>102</sup>. Por último destaca-se como uma importante vantagem a menor emissão de gases de efeito estufa, pois nesse sistema o custo energético da produção é menor, o revolvimento do solo também é menor (evitando perda do carbono do solo).

No cultivo do amendoim todas as etapas produtivas podem ser realizadas com técnicas simples e os equipamentos mais rudimentares possíveis, utilizando-se a mão- de- obra familiar em todas as etapas produtivas. A cultura exige duas a três capinas e amontoa (que consiste em juntar terra na base da planta, caso as vagens estejam expostas à luz). Da mesma forma, o gergelim e o girassol representam uma excelente opção agrícola para a agricultura familiar do semi-árido, exigindo práticas agrícolas simples e de fácil assimilação, as capinas e limpeza do terreno são necessárias somente nas primeiras semanas após o plantio e todas as etapas produtivas podem ser manuais (BELTRÃO *et al.*, 1994). Também no caso do algodão e da mamona, na maioria da região semi-árida, os pequenos produtores utilizam a mão-de-obra familiar em todas as etapas desses cultivos, empregando técnicas agrícolas plenamente dominadas por esses agricultores.

---

<sup>102</sup> É comum encontrar solos compactados no fundo dos sulcos de aração e de gradeação, chamada "pé-de-arado" ou "pé-de-grade", formados pelos implementos agrícolas e acima desta camada fica o solo preparado e bastante desagregado, que reduzem a infiltração da água e aumentam o escoamento superficial e o arraste de terra.

Evidentemente, em geral, quase todas as etapas produtivas para as oleaginosas analisadas poderiam ser mecanizadas (com exceção da colheita do gergelim que é preferencialmente manual), dependendo do acesso dos agricultores a esses meios produtivos. Por exemplo, no caso do algodão, para a colheita manual são necessários cerca de 25 homens/dia/hectare e na mecânica, o mesmo serviço pode ser realizado em 1,5 ou 3 horas, dependendo da máquina (FUZATTO *et al.*, 2005). Mas, para todas as oleaginosas analisadas existe a possibilidade das etapas produtivas serem desenvolvidas manualmente, com relativa simplicidade, o que beneficia a inserção de um maior número de agricultores familiares.

#### **4.7.4. Possibilidade de Consórcio, Diversificação e Utilização dos Restos Culturais**

Também no foco desta tese destaca-se a possibilidade de consórcio entre as oleaginosas e os cultivos de subsistência, ou mesmo entre vários tipos de oleaginosas. O consórcio atende a pelo menos quatro condições básicas para a adaptação às mudanças climáticas: a) é um sistema de produção difundido entre os agricultores familiares do semi-árido, que habitualmente manejam três ou mais culturas consorciadas (diversificação); b) diminui o risco de perdas agrícolas frente aos fatores climáticos adversos, principalmente se essas culturas diferirem entre si em relação à duração do ciclo vegetativo; c) possibilita a manutenção do plantio de culturas de subsistência e da segurança alimentar, principalmente para os agricultores familiares descapitalizados e em transição; d) possibilita o aumento da produção de óleo por unidade de área.

Para o sucesso do consórcio é importante considerar as épocas relativas de plantio e as configurações de plantio, a fim de reduzir a competição de uma cultura sobre a outra e otimizar a produtividade de ambas as culturas (PERES & BELTRÃO, 2006). A Tabela 27 apresenta algumas possibilidades de consórcio entre as diferentes oleaginosas.

**Tabela 27** - Possibilidade de Consórcio entre Oleaginosas e Diversas Culturas

Oleaginosas	Possibilidade de consórcio
Algodão <sup>1</sup>	Feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)
	Gergelim
	Amendoim
Amendoim <sup>2</sup>	Milho
	Gergelim
	Mandioca
	Mamona
	Algodão
Gergelim <sup>2</sup>	Amendoim
	Mamona
	Algodão
Girassol <sup>3</sup>	Mamona
Mamona <sup>3</sup>	Amendoim
	Algodão herbáceo
	Gergelim
	Feijão comum
	Feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> )
	Milho
	Sorgo
	Girassol
	Abóbora
	Melancia

Fontes: <sup>1</sup>Peres & Beltrão (2006)<sup>2</sup>Fagundes (2002)<sup>3</sup>Peres & Beltrão (2006);Gonçalves *et al.*, (2005)

Outra questão importante para a agricultura familiar no semi-árido é a possibilidade de aproveitar os restos culturais como adubos e/ou na alimentação animal. Neste sentido, no caso do algodão, por Lei, os restos culturais deveriam ser queimados, para evitar a propagação de patógenos. Note-se que existe um potencial de geração de energia que poderia ser aproveitada pela queima desses resíduos (porém estudos nesse sentido não foram encontrados na literatura). No caso do amendoim e do girassol, os restos culturais podem ser aproveitados, recebendo destaque especial os restos culturais do girassol, por serem abundantes e altamente nutritivos e dando um feno de excelente qualidade e do amendoim pelo alto teor de nitrogênio dos restos culturais. A incorporação dos restos culturais do amendoim, girassol e da mamona trazem benefícios para as culturas subsequentes, tanto pela fertilização do solo, adição de matéria-orgânica em solos na maioria com baixo teor de matéria orgânica e aumentando a retenção da umidade do solo.

#### 4.7.5. Características de Solos e Benefícios da Rotação de Cultura

Considerando que as técnicas de correção e fertilização do solo, adubação, aplicação de agroquímicos são pouquíssimas difundidas entre os agricultores familiares do semi-árido, faz-se interessante o plantio de oleaginosas pouco exigentes nas condições físico-químicas do solo, que permitam esquemas de rotação de culturas ou auxiliem no controle de pragas e doenças e no aumento da fertilidade do solo. Neste sentido, serão apresentadas as vantagens e limitações para cada uma das espécies analisadas quanto a esses aspectos.

O algodoeiro herbáceo requer solos profundos, de média a alta fertilidade, pois é exigente em nutrientes minerais e sua raiz é pivotante (profunda), podendo ser cultivado em solos de textura variável, inclusive em solos arenosos, com boa drenagem e relevo plano a suavemente ondulado (BELTRÃO, 1999). Nos solos arenosos, geralmente pobres em nutrientes e de baixo poder de retenção de água, deve ser adicionada matéria orgânica. O uso inadequado de áreas com o algodão herbáceo e arbóreo tem sido o principal fator de degradação dos solos do Nordeste brasileiro. A lavoura permanente de algodão arbóreo não exige preparação do solo todo ano, evitando o revolvimento de terras, podendo ser mais benéficas sob o ponto de vista de degradação dos solos, quando comparada ao algodão herbáceo.

A maior produtividade do amendoim é obtida em solos bem drenados, de razoável fertilidade e textura arenosa ou franco-arenosa, de maneira a favorecer a penetração dos ginóforos. De acordo com a EMBRAPA Algodão, o amendoim é exigente em cálcio e fósforo, ambos imprescindíveis para a produção de flores e desenvolvimentos das vagens, podendo ser usado o adubo orgânico, na quantidade de 2kg de esterco de curral curtido/m<sup>2</sup> (outros tipos de adubação podem ser empregados). Cabe mencionar que o amendoim como a maioria das leguminosas realiza o processo da fixação do N<sub>2</sub> atmosférico pela simbiose com as bactérias *Rhizobium*. A cultivar Sertão apresenta potencial para a fixação biológica do N<sub>2</sub>, em associação com rizóbios nativos, existentes nos solos do semi-árido (SANTOS *et al.*, 2005). A fixação de nitrogênio pelo amendoim é benéfica para a melhoria de solos, sendo recomendável o plantio de

amendoim como forma de melhorar a oferta de nitrogênio do solo para os plantios subsequentes (FRANCO & BALIEIRO, 2000). Além de poder ser utilizado na recuperação de solos desgastados, o amendoim é de ciclo curto, ocupa a terra por pouco tempo e, quando comparado com outras herbáceas tradicionais na região é ideal para a diversificação da produção na pequena propriedade, através de rotação com outras culturas herbáceas ou de consórcio. Cabe ressaltar, que o uso crescente de fertilizantes nitrogenados para superar a queda de rendimento agrícola, aumenta a emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), importante gás de efeito estufa.

O gergelim pode ser cultivado em diversos tipos de solo, porém atinge a plenitude em solos profundos, bem drenados e de boa fertilidade natural, desde franco-arenosos até franco-argilosos, descartando-se as texturas extremas (AMORIM NETO *et al.*, 2001). Devido a sua tolerância à seca e facilidade de cultivo, essa cultura apresenta alto potencial agrônomo podendo ser usado em rotação e sucessão de culturas. Quando consorciado com o algodão funciona como cultura armadilha para mosca branca e para controle de formigas cortadeiras, em sua função de ser ativador de certas substâncias inseticidas, como a rotenona e a piretrina (EMBRAPA Algodão, 2007). A rotação de culturas com o gergelim também traz benefícios na produtividade e para a redução de pragas, tanto para o gergelim como para as demais culturas que entram no esquema de rotação, pois auxilia no controle de ervas daninhas, reduz a erosão e mantém a matéria orgânica no solo. Exemplos de esquemas de rotação são: feijão-gergelim, milho-gergelim e milho ou mamona-amendoim-gergelim (BELTRÃO, 2001).

O girassol é tido como planta rústica que se adapta bem a vários tipos de solo, entretanto, para o desenvolvimento pleno, recomendam-se os solos corrigidos, profundos, férteis, planos e bem drenados, para que as raízes desenvolvam-se normalmente (CASTRO *et al.*, 1997). O girassol não é muito resistente para os solos ácidos, e normalmente é preciso fazer uma retificação nas áreas de cultivo para corrigir a acidez do solo (JBIC/MDA, 2006). Esta cultura, por ter suas raízes do tipo pivotante, promove uma considerável reciclagem de nutrientes, das camadas mais profundas para as camadas superficiais do solo, auxiliando na fertilização natural do solo. Os restos culturais do girassol são bastante representativos e podem ser deixados no solo como adubação verde e as hastes e as folhas que podem também ser ensiladas e aproveitadas

na alimentação animal em períodos de seca. O girassol é uma opção vantajosa na rotação de culturas, pois diminui a incidência de pragas, doenças e ervas daninhas e melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo (PAES, 2005). Em áreas onde se faz rotação de culturas com o girassol observa-se aumento na produtividade do milho em 15 a 20% (EMBRAPA Soja, 2007).

A mamona é sensível à acidez do solo e exigente em nutrientes, apresentando boa resposta à correção do solo e fertilizantes, necessitando de solos profundos, de textura arenosa a franco-argilosa, bem drenada e sem problemas de salinidade, para o pleno desenvolvimento (GONÇALVES *et al.*, 2005). A planta é extremamente sensível à deficiência de oxigênio no solo, não suportando a falta de aeração do solo por mais de alguns dias (BELTRÃO *et al.*, 2006). O conhecimento científico sobre o uso de fertilizantes nesta cultura ainda é muito incipiente e carece de aperfeiçoamento e adaptação para as diferentes regiões onde a cultura é plantada. Entretanto, para as condições do semi-árido do Rio Grande do Norte (350mm de chuvas entre o plantio e a colheita), usando-se a cultivar BRS 149, a produtividade aumentou de 472 para 770kg/ha e o teor de óleo nas sementes, de 43,5% para 47,4% entre os tratamentos sem e com adubação (SEVERINO *et al.*, 2005). A mamona ocupa a área de cultivo por um período que varia de oito meses a dois anos. Depois disso, se o agricultor tiver terra disponível, ele muda de área, deixando aquela área “descansando”. Quando não há terra disponível, a mamona é replantada na mesma área, o que acentua o desgaste e o empobrecimento dos solos.

#### **4.7.6. Geração de Renda**

O mercado de biodiesel tende a aumentar a demanda por oleaginosas e criar as condições para o fortalecimento da agricultura familiar. A existência de um amplo mercado consumidor interno pode transformar a cultura das oleaginosas aptas ao plantio no semi-árido em uma oportunidade para o crescimento da produção agrícola familiar. O retorno econômico da produção é muito dependente do preço de mercado e da tecnologia utilizada na produção. Entretanto, a atratividade econômica para o cultivo da grande maioria das oleaginosas adaptadas ao semi-árido ainda está atrelada à expectativa de valorização desse mercado e ao maior apoio ao agricultor familiar local,

influenciado pela política governamental de uso do biodiesel na matriz energética brasileira. A maioria dessas oleaginosas apresentadas é plantada em pequena escala pelos agricultores familiares do semi-árido, com exceção para o algodão e para a mamona, essa última impulsionada pelos incentivos do governo federal (Selo Combustível Social) e estadual (distribuição de sementes). O custo final de produção para a maioria dessas oleaginosas ainda engloba um alto custo de aprendizagem e suas produtividades refletem o baixo nível tecnológico praticado pelos agricultores familiares do semi-árido.

A fim de estimar a renda gerada para o agricultor familiar do semi-árido pelo plantio para cada uma das oleaginosas propostas neste trabalho, considerou-se o custo de produção variável e a produtividade disponível na literatura para cada uma dessas culturas. O fato de considerar somente o custo variável da produção das oleaginosas é justificado, pois estes custos são menos heterogêneos entre os produtores. Considerou-se, também, o preço mínimo estipulado pelo governo (CONAB), com um parâmetro do preço pago ao produtor. A escolha do preço mínimo deve-se ao fato de que os preços mínimos funcionam como referencial de preços em programas de estímulo ao plantio e apoio aos produtores, servem de parâmetro para a concessão de financiamentos de custeio e de garantia para os produtores contra os efeitos de declínios acentuados de preços e são baseados nos custos variáveis de produção. A Tabela 28 apresenta os resultados dessas estimativas.

**Tabela 28** - Custo variável de Produção (R\$/ha), Produtividade (Kg/ha), Preço Mínimo (R\$/t) e Renda por Hectares por Oleaginosas em 2006

Cultura	Custo variável (R\$/ha)	Produtividade correspondente (kg/ha)	Preço mínimo (R\$/t)*	Estimativa Renda (R\$/ha)
<b>Amendoim (em casca)</b>	400,00 <sup>1</sup>	800	644,00	115,00
	609,00 <sup>2</sup>	1.848		581,00
<b>Algodão (caroço)</b>	572,00 <sup>3</sup>	1.000	893,00	321,00
	770,00 <sup>4</sup>	1.350		436,00
	1.930,00 <sup>2</sup>	2.500		303,00
<b>Girassol (grão)</b>	835,00 <sup>5</sup>	1.800	293,00	-307,00
	515,00 <sup>2</sup>	1.800		12,00
<b>Gergelim<sup>6</sup> (grão)</b>	275,00	520	1.000,00**	382,00
<b>Mamona (baga)</b>	360,00 <sup>7</sup>	600	559,00	25,00
	675,00 <sup>2</sup>	1.087		-67,00
	833,00 <sup>5</sup>	1.500		6,00
<b>Mamona + Feijão</b>	577,00 <sup>7</sup>	600	559,00	228,00
		600	783,00	
<b>Mamona + Feijão</b>	885,00 <sup>7</sup>	1200	559,00	349,00
		720	783,00	

\* Preço mínimo CONAB safra 2006/2007, com exceção para o gergelim. Foi considerado R\$16,10 /25 kg amendoim; R\$13,40/15 kg algodão; R\$17,61/60 kg girassol; R\$33,56/60kg mamona e de R\$ 47,00/ 60 kg feijão.

\*\* Para o gergelim considerou-se R\$ 1,00/kg citado por FIRMINO, *et al.*, (2003)

<sup>1</sup> Beltrão (2001) para pequeno agricultor familiar no semi-árido

<sup>2</sup> Valores médios de custo de produção e produtividade da CONAB para proposta de preço mínimo, safra 2005/06 (CONAB,2007).

<sup>3</sup> Sertão da Paraíba, agricultura familiar (FIRMINO *et al.*, 2003)

<sup>4</sup> EMBRAPA Algodão para Jaguaribe Ceará

<sup>5</sup> Base de dados da EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola/Petrobrás in PROBIODIESEL (2006)

<sup>6</sup> Sertão da Paraíba, para agricultura familiar (FIRMINO *et al.*, 2003)

<sup>7</sup> Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), plantio em Irecê: mamona solteira mecanizada sem adubo, mamona consorciada com feijão mecanizada sem adubo e com adubo.

A primeira evidência que poderá ser notada na Tabela 28 é que o preço mínimo da mamona não possibilita uma boa rentabilidade para o agricultor familiar, ao menos no caso do consórcio com feijão. Porém, em geral, no mercado da mamona, o cálculo para comercialização do quilo do produto obedece aos preços da bolsa de mercadorias de Irecê (Bahia), que dita os valores para as cidades produtoras da mamona, o que correspondia a cerca de R\$ 0,70/kg mamona em maio de 2007 (EBDA, 2006), o que é superior ao preço mínimo apresentado na Tabela 28, de cerca de R\$ 0,56/kg da mamona e torna rentável essa cultura nas condições descritas na Tabela 28. No geral, o baixo



preço pago aos agricultores tem contribuído para desestimular os agricultores familiares do Nordeste a investir no plantio de mamona. Entretanto, alguns programas estaduais de biodiesel incentivam o plantio da mamona pela distribuição de sementes e outros incentivos, que reduzem o seu custo de produção. O programa Biodiesel do Ceará, por exemplo, incentiva os pequenos agricultores a cultivarem mamona, com a distribuição gratuita de sementes, assistência técnica, o pagamento de R\$ 150,00 por hectare plantado, com limite de três hectares e o acréscimo de R\$ 0,14 ao quilo da baga, elevando o preço mínimo do produto para R\$ 0,70 por quilo<sup>103</sup>.

Cabe ressaltar que na literatura encontram-se valores de custo de produção para a mamona no Nordeste de até R\$ 331,00, para uma produtividade de 1.200kg/ha, com uma rentabilidade na faixa de R\$ 560,00 por hectare (JIBC/MAPA, 2006). Entretanto de acordo com os dados de produtividade para a mamona no Nordeste e no semi-árido, apresentados respectivamente nas Tabelas 23 e 24 e os dados de custo de produção apresentados na Tabela 28, conclui-se que essas informações podem ser consideradas otimistas.

Como pode ser notado na Tabela 28, o algodão apresentou a maior rentabilidade para o agricultor sob as condições descritas. O algodão é uma opção bastante rentável para o agricultor familiar do semi-árido. Entretanto, em geral, o custo de produção dessa cultura é maior, pois é geralmente plantada com maior dispêndio de insumos. O gergelim plantado na Paraíba por agricultores familiares também apresentou uma boa rentabilidade (Tabela 28). O algodão é uma cultura relativamente cara. BARROS *et al.*, (2004) encontraram, para as condições do semi-árido da Paraíba, uma receita líquida média de R\$ 77,48/ha, utilizando-se o custo médio por hectare obtido para um rendimento médio de 1.000kg/ha de algodão herbáceo de sequeiro (R\$ 572,00/ha). Para o algodão irrigado a receita líquida foi de R\$ 473,72/ha, utilizando-se o custo médio de produção por hectare (R\$1.171,00/ha) obtido para um nível tecnológico que possibilita um rendimento médio de 2.500kg/ha de algodão em caroço<sup>104</sup>. Com o Programa

---

<sup>103</sup> Informação relatório campo projeto Petrobrás

<sup>104</sup> É importante ressaltar que o preço do algodão em caroço difere do preço do caroço de algodão, sendo este último de menor valor, cujo preço mínimo é de R\$ 153,00/tonelada, pois esse é um subproduto do primeiro. Mas, o produtor recebe pelo algodão em caroço e não pelo caroço de algodão.

Nacional de Biodiesel, o algodão poderá ganhar um novo patamar no semi-árido (PERES & BELTRÃO, 2006).

O plantio do gergelim ainda não ocorre em escala comercial, mas a princípio representa uma boa opção para o agricultor familiar no semi-árido. O amendoim, como já comentado é principalmente plantado por pequenos agricultores no Nordeste e para o mercado *in natura*, utilizado na indústria alimentícia, mas esta cultura tem baixo custo de produção e boa produtividade nas condições do semi-árido (Tabela 28) e diferentemente do gergelim, já é plantado em escala comercial no Nordeste.

O girassol com o preço mínimo atual não é uma cultura que apresenta boa rentabilidade (Tabela 28), mas existe a expectativa de aumento do preço de mercado e redução do custo de produção do plantio do girassol por agricultores familiares do semi-árido, incentivados pela cadeia produtiva do biodiesel.

Como já sinalizado nesta seção, a idéia é que o agricultor familiar do semi-árido possa realizar o plantio de oleaginosas em consórcio. Esta opção parece ser vantajosa tanto do ponto de vista social (segurança alimentar), quanto econômico (redução de risco e possibilidade de aumento de rendimento ou produtividade em óleo) e ambiental (melhoria do solo, maior aproveitamento da terra e minimização de doenças e pragas) e, ainda, como uma promissora estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Entretanto, a grande maioria dos consórcios, tanto entre as oleaginosas, como entre oleaginosas e cultivos alimentares, ainda ocorre em nível experimental, com exceção da mamona consorciada com o feijão, que vem sendo conduzida em várias partes do semi-árido em escala comercial. Não obstante, destaca-se o trabalho de pesquisa da EPAMIG (GONÇALVES *et al.*, 2001) no semi-árido de Minas Gerais, com tratamentos de consórcio de mamona e diversas culturas, conforme apresentado na Tabela 29.

**Tabela 29** - Produtividades e Receitas Médias da Cultura da Mamona em Consórcio com Diferentes Culturas em Experimentos no Semi-Árido - 2004/05

Tratamentos		Produtividades (kg/ha)	Receita (R\$ 1,00) <sup>1</sup>
Mamona solteira		1.513	1.135
Consórcio	Mamona e Algodão	1.035	868
		173	
Consórcio	Mamona e Amendoim	1.366	1.227
		220	
Consórcio	Mamona e Feijão Caupi	1.236	1.223
		592	
Consórcio	Mamona e Gergelim <sup>105</sup>	1.350	1.013
		0	
Consórcio	Mamona e Milho	1302	1.264
		1026	
Consórcio	Mamona e Sorgo	1247	1.014
		359	

Fonte: Gonçalves *et al.* (2001)

<sup>1</sup> Valor por quilograma de cada produto: Mamona = R\$ 0,75; Algodão = R\$ 0,53; Amendoim = R\$ 0,92; Feijão Caupi = R\$ 0,50; Milho = R\$ 0,28 e Sorgo = R\$ 0,22.

A Tabela 29 indica a possibilidade dos consórcios proporcionarem rendimentos maiores que o plantio da mamona solteira; por ordem decrescente de rentabilidade, coloca-se: a mamona com milho, a mamona com amendoim e a mamona com feijão caupi. Assim, tanto as estimativas apresentadas na Tabela 28, quanto os resultados experimentais da EPAMIG, apresentados na Tabela 29, indicam que o consórcio entre oleaginosas pode ser uma opção interessante sob todos os pontos de vista para a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel.

Para o fortalecimento da agricultura familiar do semi-árido é necessário considerar sua capacidade de compatibilizar produção para o autoconsumo e para o mercado. Nesse sentido, a inserção do agricultor familiar na cadeia de biodiesel configura-se como uma opção de aumento da renda média agrícola desse agricultor, geração de empregos, melhoria das condições das famílias rurais e diversificação das atividades. Conforme pode ser observado na Tabela 30, o desempenho dos rendimentos auferidos pelos

<sup>105</sup> A ocorrência de um veranico na época de plantio dos consórcios, ocasionou a perda total da cultura do gergelim Gonçalves *et al.*, (2001).

agricultores familiares no Nordeste praticamente se manteve estável, com uma variação quase nula da renda agrícola, no período 2001-2004.

**Tabela 30** - Evolução da renda média mensal das famílias conta-própria domiciliadas na área rural da região não-metropolitana, segundo o tipo de atividade Nordeste, 2001-2004

<b>Renda média mensal (R\$)</b>			
	<b>2001</b>	<b>2004</b>	<b>Variação (%)</b>
<b>Agrícola</b>	379,04	382,32	0,3
<b>Pluriativo</b>	576,39	585,54	0,5
<b>Não-agrícola</b>	503,49	549,27	2,9
<b>Total</b>	443,50	450,10	0,5

**Fonte: Schneider (2006)**

É também prevista a criação de empregos não-agrícolas associados à cadeia produtiva de biodiesel, o que, de acordo com SCHNEIDER (2006), vem aumentando sua participação em taxas crescentes na composição da renda do agricultor familiar. O crescimento da renda média mensal dos agricultores familiares que passou de R\$ 443,50 em 2001 para R\$ 450, 27 em 2004 (Tabela 30), deve-se principalmente ao pequeno aumento das rendas não-agrícolas, ou seja, além dos baixos ganhos econômicos desses agricultores, existe certa estagnação no crescimento econômico dos agricultores familiares no semi-árido em parte, que pode ser explicado pela falta de opções agrícolas (SCHNEIDER, 2006).

O incentivo ao plantio de oleaginosas, em função da cadeia produtiva do biodiesel, pode contribuir para a alteração desse quadro de estabilidade e baixos rendimentos dos agricultores familiares, particularmente no semi-árido, onde as oportunidades são limitadas por vários aspectos já destacados nesse trabalho (sócio-culturais, edafoclimáticos e econômicos). As vantagens para os agricultores familiares do semi-árido não se restringiriam à fase agrícola, onde o governo federal estima a criação de um posto de trabalho a cada 10 hectares plantados, a cadeia produtiva do biodiesel cria também oportunidades de geração de empregos não agrícolas, estimada em três postos de ocupação para cada posto de trabalho agrícola (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA, 2006).

Existem também oportunidades para os agricultores familiares agregarem valor à produção de oleaginosas. No caso do caroço do algodão, a fabricação do óleo seria uma forma de agregar valor ao co-produto da pluma, tendendo a aumentar o valor da produção dessa cultura. O incentivo à organização dos agricultores familiares em associações e cooperativas em função do fornecimento de oleaginosas se traduz em benefícios para os agricultores familiares do semi-árido que ultrapassa a questão do biodiesel. O patamar das organizações de produtores rurais no Nordeste ainda se encontra em estágio primário de desenvolvimento (MAIA, 2001). As cooperativas facilitam o aumento da rentabilidade, podendo os agricultores participar da renda gerada pela extração dos óleos vegetais e a venda dos co-produtos. A instalação de miniprensas em nível de propriedade, também é uma alternativa para agregar valor às oleaginosas, permitindo aos agricultores produzir óleos vegetais na própria propriedade e promovendo a diversificação de suas fontes de renda, com vantagens sobre os custos de carregamento de estoque, ganhos com logística e organização, custos de financiamento agrícola, pacotes tecnológicos de baixo custo, entre outros.

Além disso, todas essas espécies oleaginosas geram co-produtos, com preço de mercado compensador, como as tortas protéicas e os adubos orgânicos, com possibilidade de agregação de valor à produção agrícola, além da possibilidade do uso da torta e farelo na alimentação humana (no caso do girassol e gergelim), animal, bem como adubos orgânicos. A seguir será comentada a fase de esmagamento e rendimento industrial em óleo para as oleaginosas analisadas.

#### **4.8. Esmagamento e Rendimento em Óleo**

Normalmente, o processo de extração de óleo ocorre por prensagem mecânica ou pela aplicação de solvente, ou por uma combinação dos dois processos (mista). A prensa é indicada para materiais com alto teor de óleo (>35%) e pode ter de pequena a média capacidade (< 200t grãos/dia) e podem ser prensas hidráulicas ou prensas tipo Expeller. O solvente é indicado para materiais com baixo teor de óleo (<25%) e tem capacidade de extrair mais de 300 toneladas de óleo por dia. Nos sistemas mistos, a capacidade diária de extração de óleo é menor que 200 toneladas/dia, mas é possível extrair óleo de sementes de variados teores de óleo, desde sementes com 15% em óleo (PARENTE,

2006). A Tabela 31 resume as características e indicações de oleaginosas em cada tipo de usina de extração de óleo.

**Tabela 31** - Rotas para Extração de Óleos Vegetais

<b>Tipos de Usina</b>	<b>Situações recomendadas</b>	<b>Matérias primas típicas</b>
<b>Extração mecânica</b>	Pequenas e médias capacidades até 200 t grãos por dia. Oleaginosas com teor de óleo acima de 35%	Mamona, Amendoim, Gergelim, Babaçu
<b>Extração solvente</b>	Grande capacidade, normalmente acima de 300 t grãos por dia. Oleaginosas com baixo teor de óleo (abaixo de 25%)	Soja
<b>Mistas (mecânica e solvente)</b>	Médias a grande capacidade. Oleaginosas com teores de óleo acima de 15%	Algodão, Mamona, Amendoim, Girassol e outras

**Fonte: Adaptado de Parente (2006) e Petrobio (2005)**

Na extração mecânica, o primeiro passo é a limpeza da matéria-prima, que consiste em retirar resíduos da colheita que possam prejudicar a qualidade do óleo ou os equipamentos. Em seguida, realiza-se o cozimento, que é opcional, dependendo da finalidade do óleo e do tipo de matéria-prima e a prensagem propriamente dita, obtendo-se o óleo bruto e a torta, o óleo bruto é filtrado, para retirar as impurezas, podendo ser destinado à produção de biodiesel<sup>106</sup>. O grau de pureza do óleo vegetal é fundamental para o desempenho na conversão de biodiesel, entretanto, tanto o óleo bruto, como o degomado, refinado e até usado, são utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel<sup>107</sup> (KHALIL, 2006). A torta contém ainda uma quantidade de óleo (torta gorda). Na extração de óleo da torta e no processo de extração de óleo da semente por solvente, é utilizado o hexano. O hexano é um derivado do petróleo que possibilita a extração da quase totalidade do óleo, deixando um resíduo desengordurado conhecido como farelo (PETROBIO, 2005). A Tabela 32, a seguir, apresenta o rendimento em óleo e a quantidade de torta resultante da extração de óleo mecânica (esmagamento) e por solvente (hexano), para diversas oleaginosas consideradas (a título de comparação

<sup>106</sup> Essas informações foram retiradas do site da ERITEC (Equipamentos e Acessórios Industriais LTDA) [www.ecirtec.com.br/index\\_arquivos](http://www.ecirtec.com.br/index_arquivos)

<sup>107</sup> O óleo destinado à produção de biodiesel não precisa passar pelo processo de refinamento e clarificação, como o óleo destinado ao consumo alimentar. No entanto, esse óleo deve atender a algumas especificações, como por exemplo, o grau de acidez, baixa umidade, baixo índice de peróxido e fósforo (como será comentado na próxima seção). Entretanto, as plantas de biodiesel, em geral, tratam esses óleos antes do processamento.

incluiu-se a soja), considerando 6% de perda de extração devido à umidade do óleo (PETROBIO, 2005). Para as culturas de gergelim e algodão, foram utilizados dados da EMBRAPA Algodão<sup>108</sup>.

**Tabela 32** - Rendimento em óleo e torta pelos processos de esmagamento e extração de óleo com solvente para diversas oleaginosas

	Esmagamento (%)		Solvente (%)	
	Óleo*	Torta	Óleo*	Torta /farelo
<b>Algodão</b>	10	84	15	74
<b>Amendoim</b>	42	52	49	45
<b>Gergelim</b>	45 <sup>1</sup>	49	52 <sup>2</sup>	42
<b>Girassol</b>	35	59	42	52
<b>Mamona</b>	40	54	44	50
<b>Soja</b>	13	81	19	75

\*Considerando a perda de 6% para todas as oleaginosas

Fonte: <sup>1</sup>Calvette, *et al.*, (1993);<sup>2</sup>EMBRAPA Algodão

Como pode ser visto na Tabela 32, a proporção de torta resultante do processo de extração de óleo corresponde no mínimo a cerca da metade da quantidade de grãos utilizados na extração de óleo. O preço de mercado dessas tortas é variável, por exemplo, a torta de algodão gorda (do processo de extração de óleo por esmagamento), cerca de 84% do total de caroço do algodão esmagado, tem um mercado garantido na região leiteira do Ceará (Quixeramobim), sendo comercializada por cerca de R\$ 400,00 por tonelada, em 2007<sup>109</sup>. No caso da mamona, o preço está na faixa de R\$ 190,00 a R\$ 390,00 por tonelada, para utilização como adubo orgânico (LEIRAS, 2006). Entretanto, a maior oferta de tortas no mercado tende a reduzir esses preços, diminuindo a margem de ganhos com os co-produtos da extração de óleo.

Para análise do potencial de rendimento em óleo por hectare das oleaginosas selecionadas será considerada a produtividade média apresentada no levantamento de custo de produção (Tabela 28) e como a produtividade máxima a equivalente ao potencial genético máximo alcançado pelas cultivares das respectivas oleaginosas, conforme apresentado na Tabela 25. A partir desses dados e do rendimento médio em

<sup>108</sup> Laboratório de Tecnologia de Alimentos (L.T.A.) do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (EMBRAPA Algodão) disponível em <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/gergelim>

<sup>109</sup> Informação obtida na PETROBRÁS (Gerência de Biocombustíveis)

óleo (média entre os valores de extração de óleo por esmagamento e solventes) calculou-se o rendimento em óleo por hectare. A Tabela 33 apresenta esses resultados.

**Tabela 33** - Produtividade (kg/ha), Teor de Óleo (%), Rendimento em Óleo (t óleo/ha)

Oleaginosa	Produtividade		Teor óleo	Rendimento em óleo	
	(kg/ha)		(%)	(t óleo/ha)	
	média	máxima	médio	médio	máximo
<b>Algodão</b>	1.000	3.300	13	0,13	0,41
<b>Amendoim</b>	800	1.900	46	0,36	0,86
<b>Gergelim</b>	520	650	49	0,25	0,32
<b>Girassol</b>	1.800	2.250	39	0,69	0,87
<b>Mamona</b>	600	1.500	42	0,25	0,63

Note-se que o girassol e o amendoim foram as oleaginosas com maior rendimento em óleo por hectare, seguida da mamona e por último do gergelim e algodão (Tabela 33). Em termos de uso do solo, a maior área ocupada por tonelada de óleo produzido seria, naturalmente, com o algodão. No entanto, vale relembrar que o caroço do algodão usado para extração do óleo é um co-produto da pluma, o agricultor planta o algodão pela pluma, que pode ter seu valor aumentado em função da maior demanda pelo caroço para produção de óleo.

#### **4.9. Características Físico-Químicas do Biodiesel oriundo das oleaginosas selecionadas**

No Brasil, a normalização dos padrões para o biodiesel é estabelecida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da Resolução ANP nº 42/04 aplicado ao biodiesel - B100, de origem nacional ou importada, a ser comercializado em território nacional adicionado na proporção de 2% em volume ao óleo diesel. As normas européias (EU 14214) e americanas (ASTM D-6751) determinam valores para as propriedades e características do biodiesel e os respectivos métodos para as determinações<sup>110</sup>. As características e propriedades determinantes dos padrões de identidade e qualidade do biodiesel, contemplados pelas normas ASTM e

<sup>110</sup> Os métodos de determinação não serão comentados aqui, pois não fazem parte do escopo desta Tese. Entretanto, a determinação das características do biodiesel é feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais *American Society for Testing and Materials* (ASTM), da *International Organization for Standardization* (ISO) e do *Comité Européen de Normalisation* (CEN).



EU, são: ponto de fulgor, teor de água e sedimentos, viscosidade, cinzas, teor de enxofre, corrosividade, número de cetano, ponto de névoa, resíduo de carbono, número de acidez, teor de glicerina total, teor de glicerina livre e temperatura de destilação para 90% de recuperação. A Tabela 34 apresenta as especificações do biodiesel definidas legalmente pela ANP.

**Tabela 34** - Especificação do Biodiesel B100

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite</b>
<b>Aspecto</b>	-	Límpido e isento de impurezas
<b>Massa específica a 20°C</b>	kg/m <sup>3</sup>	Anotar
<b>Viscosidade Cinemática a 40°C,</b>	Mm <sup>2</sup> /s	Anotar
<b>Água e sedimentos, máx.</b>	% volume	0,050
<b>Contaminação Total (2)</b>	mg/kg	Anotar
<b>Ponto de fulgor, mín.</b>	°C	100,0
<b>Teor de éster (2)</b>	% massa	Anotar
<b>Destilação; 90% vol. recuperados, máx.</b>	°C	360 (3)
<b>Resíduo de carbono dos 100% destilados, máx.</b>	% massa	0,10
<b>Cinzas sulfatadas, máx.</b>	% massa	0,020
<b>Enxofre total (2)</b>	% massa	Anotar
<b>Sódio + Potássio, máx</b>	mg/kg	10
<b>Cálcio + Magnésio (2)</b>	mg/kg	Anotar
<b>Fósforo (2)</b>	mg/kg	Anotar
<b>Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.</b>	-	1
<b>Número de Cetano (2)</b>	-	Anotar
<b>Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.</b>	°C	(4)
<b>Índice de acidez, máx.</b>	mg KOH/g	0,80
<b>Glicerina livre, máx.</b>	% massa	0,02
<b>Glicerina total, máx.</b>	% massa	0,38
<b>Monoglicerídeos (2).</b>	% massa	Anotar
<b>Diglicerídeos (2)</b>	% massa	Anotar
<b>Triglicerídeos (2)</b>	% massa	Anotar
<b>Metanol ou Etanol, máx.</b>	% massa	0,5
<b>Índice de Iodo (2)</b>	-	Anotar
<b>Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.</b>	h	6

**Fonte :ANP nº 42/04**

**Notas:** (2) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas; (3) Temperatura equivalente na pressão atmosférica.

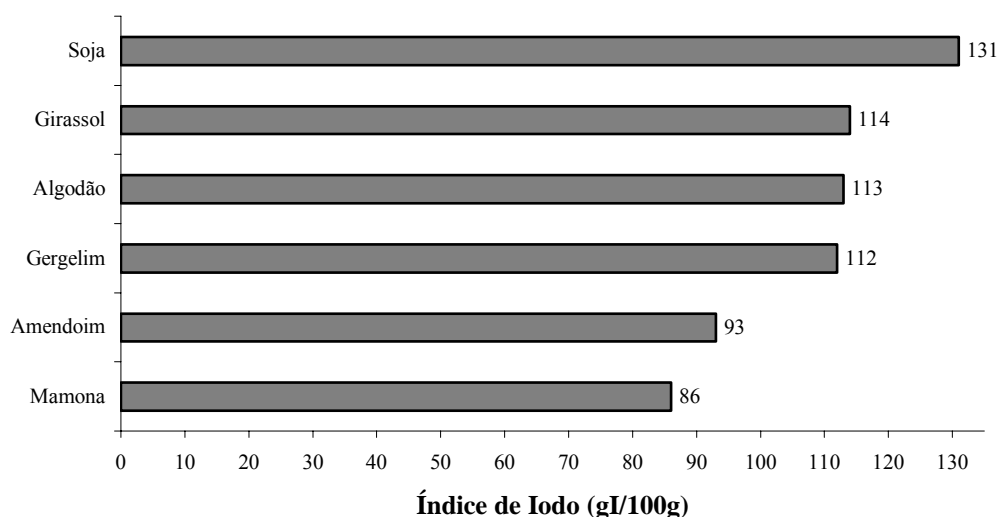
As especificações do biodiesel que mais sofrem influência da composição química dos óleos vegetais utilizados são: o ponto de fulgor, o número de cetano, a viscosidade, o índice de iodo e pontos de névoa e fluidez (ARAÚJO, 2005). Como comentado, o pré-tratamento e a transesterificação são processos químicos que têm por objetivo modificar

as características do óleo vegetal, tornando-as praticamente idênticas às do óleo diesel e, por consequência, com propriedades físico-químicas semelhantes. Assim, o biodiesel, quando adequadamente produzido alcança as especificações contidas nas normas (PARENTE, 2006). Para a ANP, o foco é nas propriedades físico-químicas do produto final e não do processo ou na matéria prima, entretanto todos esses fatores alteram a qualidade final do biodiesel. Por exemplo, a acidez e a corrosividade, dependem da ausência de ácidos graxos livres, o teor de cinzas, da separação do catalisador residual, a glicerina total da reação completa, a glicerina livre da separação da glicerina, ponto de fulgor, da separação do álcool e o excesso de álcool diminuem a massa específica do biodiesel (ARAÚJO, 2005). E ainda, como os óleos vegetais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento deste elemento (PARENTE, 2006).

Dentre as especificações que podem ser alteradas pelas características do óleo vegetal, quanto maior a cadeia hidrocarbônica da molécula do óleo, também é o número de cetano do combustível (maior qualidade à combustão) e lubricidade do combustível mas, o ponto de névoa e o ponto de entupimento aumentam, assim maior será a sensibilidade do combustível aos climas frios (PARENTE, 2006). Entretanto, a lubricidade de qualquer biodiesel supera a lubricidade do óleo diesel e semelhantemente, o número de cetano do biodiesel, para quase todas as matérias-primas é sempre maior que 60 (há controvérsias em relação à mamona), bem acima do índice de cetano dos melhores óleos diesel oferecidos no mercado, que em média é ao redor de 48 (PARENTE, 2006). Entretanto, o ponto de névoa e também o ponto de fluidez (temperatura em que o líquido não mais escoar livremente) do biodiesel, variam segundo a matéria-prima que lhe deu origem e são propriedades importantes no que diz respeito à temperatura ambiente onde o combustível deve ser armazenado e utilizado. No caso da mistura biodiesel ao óleo diesel em baixas proporções (B2, B5), essas propriedades da matéria-prima podem não representar problemas para o biodiesel.

Quanto ao número de insaturações (duplas ligações) dos óleos, quanto menor, maior é o número de cetano do combustível. Porém maior é o ponto de névoa e de entupimento e menor a estabilidade química desse biodiesel, o que pode provocar inconvenientes devido a oxidações, degradações e polimerizações do combustível, se inadequadamente armazenado ou transportado (PARENTE, 2006). O valor do índice de iodo, ou seja, o

número de gramas de iodo absorvido por 100g de gordura ou óleo ou éster, informa as quantidades de ligações insaturadas contida no óleo ou no biodiesel. A Figura 20 apresenta o índice de iodo para os óleos selecionados, de acordo com dados COSTA (2006).



**Figura 20** - Índice de Iodo de Óleos Vegetais Selecionados

Valores para o índice de iodo acima de 135 levam a produção de um biodiesel inaceitável para fins carburantes, devido à tendência a formar depósitos de carbono (DANTAS, 2006). Note-se na Figura 20, que todos os óleos vegetais listados se situam na faixa aceitável de índice de iodo, sendo para efeito de comparação, apresentado o índice de iodo do óleo de soja, que se encontra na faixa mais próxima do limite (131g iodo/100 gramas de óleo). Na Europa, o valor máximo de índice de iodo do biodiesel aceitável é de 120. No caso da Europa, se não existe definição técnica para tal restrição, suspeita-se do protecionismo europeu traduzido em barreiras alfandegária: Brasil e EUA poderiam restringir o mercado de biodiesel da colza pela produção do biodiesel da soja, caso não houvesse essa restrição<sup>111</sup>

De acordo com COSTA NETO & ROSSI (2000), a viscosidade, medida da resistência interna ao escoamento de um líquido e a densidade, são propriedades fluidodinâmicas de um combustível, importantes no que diz respeito ao funcionamento de motores

<sup>111</sup> Luciano Oliveira, comunicação pessoal

diesel, pela considerável influência no funcionamento do sistema de injeção e constituem outra propriedade intrínseca dos óleos vegetais. Porém, de acordo com PARENTE (2006), essas propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independentemente de sua origem, assemelham-se às do óleo diesel, com exceção do biodiesel oriundo do óleo de mamona, que foge um pouco à regra no que diz respeito à viscosidade devido à alta densidade do óleo (0,959g/ml). Todavia, o uso do biodiesel de mamona em misturas com o diesel constitui um artifício para corrigir tal distorção.

O poder calorífico de um combustível é definido com a quantidade de energia por quilo de combustível (kcal/kg). Poder calorífico (inferior) do diesel é de 10.100kcal/kg (BEN, 2006), enquanto do biodiesel é de cerca de 8.758 cal/kg (OLIVEIRA, 2001), ou seja, cerca de 90% do diesel. A diminuição no poder calorífico do diesel quando misturado ao biodiesel aumenta o consumo de biodiesel em relação ao de diesel para gerar a mesma quantidade de calor durante a combustão no motor. O menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel mineral se deve principalmente à existência de oxigênio em quantidades consideráveis no biodiesel. Em média o biodiesel tem 11% de oxigênio em sua composição, enquanto que isso não se verifica no caso do diesel (PARENTE, 2003).

Para a maioria dos óleos vegetais com potencial para ser usado em escala comercial, tais como óleo de soja, dendê, amendoim e girassol, as relações entre as massas de carbono e oxigênio são praticamente constantes, havendo pequenas flutuações que não interferem de forma significativa no poder calorífico. No entanto, para os óleos de algumas palmeiras como o babaçu, que possuem cadeias curtas de carbono, existe um aumento pronunciado da massa de oxigênio em relação ao carbono, o que faz com que o poder calorífico do biodiesel sofra uma redução considerável (CASTRO, 1999). O mesmo autor comenta que o biodiesel produzido a partir do óleo de mamona tem cerca de 5% menos poder calorífico que aqueles produzidos a partir da maioria dos outros óleos, devido à presença de um grupo hidroxila (OH) na composição deste óleo. Por outro lado, o oxigênio presente no biodiesel é responsável por diversas das suas vantagens em relação ao óleo diesel, como sua maior lubricidade e diminuição na emissão de poluentes durante a queima nos motores, como sólidos particulados e hidrocarbonetos.

O fato do óleo de mamona ser mais denso e ter um grupo de hidroxila (OH) no meio da cadeia do ácido graxo, dificulta o atendimento às especificações (padrões) do biodiesel, demandando maiores custos. O uso do óleo de mamona dificulta todas as etapas do processo, tanto na velocidade da transesterificação, quanto na separação e purificação dos produtos dessa reação (CASTRO, 1999). O óleo de mamona necessita de uma maior quantidade de álcool e catalisador na transesterificação alcalina para atingir uma boa conversão para biodiesel (acima de 90% em nível experimental), sendo a razão molar etanol: óleo de mamona superior a 19:1 e a quantidade de catalisador superior a 1,15% (SILVA, 2005). Conclui-se que entre as oleaginosas analisada, a mamona é, atualmente, a mais dispendiosa para atingir as especificações regulamentadas do biodiesel, introduzindo muitas variáveis adicionais para sua conversão em biodiesel. A viscosidade e a densidade do biodiesel de mamona geralmente apresentam valores fora das especificações, mesmo quando um processo de produção eficiente é executado, devido a razões de natureza química. Entretanto, os *blends* formulados com biodiesel de mamona e biodiesel oriundo de outras oleaginosas (soja, algodão e girassol), em geral atingem as especificações, quando misturado na concentração de no máximo 20% de biodiesel de mamona (MACHADO *et al.*, 2006). Entretanto, a Petrobrás está desenvolvendo uma rota específica para a produção de biodiesel a partir de sementes de mamona. Nessa rota o biodiesel é produzido a partir das sementes de mamona, que são trituradas, misturadas ao álcool e a uma pequena quantidade de óleo de mamona. Os resultados preliminares sugerem pela viabilização da utilização da mamona para produção de biodiesel (atendimento as especificações com viabilidade econômica) por esta rota.

Quanto ao gergelim e o amendoim, apesar do biodiesel a partir dessas oleaginosas ainda se encontrarem em teste, principalmente devido ao alto valor dessas oleaginosas como alimentos, dados do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello da Petrobras-CENPES<sup>112</sup>, indicam a viabilidade técnica dessas oleaginosas para produção de biodiesel. Em suma, todas as oleaginosas consideradas, com maior restrição para o óleo de mamona, que requer tratamentos extras para atingir as especificações determinadas pela ANP podem ser utilizadas para produção de biodiesel.

---

<sup>112</sup> Vidal Vieira (CENPES), comunicação pessoal.

#### **4.10. Custo do Biodiesel Oriundo das Diferentes Oleaginosas**

O custo de extração de óleo e produção de biodiesel é variável, dependendo da oleaginosa, do custo de aquisição de matéria prima, do processo empregado e do porte da usina e dos investimentos. A fim de estimar o custo de produção do biodiesel a partir das oleaginosas propostas para plantio no semi-árido nordestino, serão assumidas algumas premissas, deixando claro que não é objetivo deste trabalho, uma análise econômica da cadeia produtiva do biodiesel, a partir dessas oleaginosas e sim indicar a viabilidade econômica desta proposta. Em outras palavras, a análise do custo do biodiesel produzido a partir de cada oleaginosa pretende indicar as oleaginosas mais rentáveis para a produção de biodiesel a partir da matéria-prima da agricultura familiar.

A primeira premissa adotada é a consideração do preço mínimo da CONAB para as oleaginosas (com exceção do gergelim), como parâmetro para o custo de aquisição da matéria-prima. Mais uma vez, os preços mínimos parecem adequados para a análise, pois a Política de Garantia de Preços Mínimos do Governo Federal estabelece instrumentos de garantias aos produtores rurais, como o EGF-Empréstimos do Governo Federal<sup>113</sup> e AGF-Aquisição do Governo Federal<sup>114</sup>. Estes instrumentos podem vir a ser importantes para a efetiva inserção do agricultor familiar na cadeia produtiva de biodiesel e para garantir o fornecimento de matéria-prima para produção de biodiesel.

O custo final do biodiesel foi estimado a partir do custo de aquisição do óleo, como se a própria usina de biodiesel extraísse o óleo em uma usina acoplada, ou seja, o óleo extraído na própria usina seria destinado à produção de biodiesel. Assim, para o óleo vegetal não foram considerados custos de logística, impostos de comercialização, margem de lucro e tampouco os custos fixos da esmagadora, como o custo de aquisição do terreno e outros custos da extração do óleo vegetal que compõem uma análise completa. Também não foi feita uma análise da escala de produção de óleo, que naturalmente reduz o custo operacional de extração do óleo vegetal. Foi assumido que o

---

<sup>113</sup>O EGF é o financiamento concedido aos produtores, suas cooperativas e agroindústrias, com base no preço mínimo de garantia, para permitir a estocagem do produto para esperar o melhor momento para venda.

<sup>114</sup>O AGF é o mecanismo que permite ao Governo Federal adquirir produto agrícola do produtor rural, suas cooperativas e suas associações, ao valor do preço mínimo de garantia, quando o preço de mercado fica abaixo do preço mínimo.

custo de moagem e extração do óleo é equivalente a R\$ 24,00 por tonelada de óleo, para todas as oleaginosas. Esse custo é baseado no mercado da soja, que trabalha com um custo de moagem em torno de U\$ 12,00/tonelada óleo<sup>115</sup> (PETROBIO, 2005). Para estimar a receita financeira da venda da torta foi assumido um preço médio de R\$ 200,00 por tonelada de torta, independente da oleaginosa. De fato, embora o preço da torta entre as oleaginosas seja variável, assumiu-se um preço mínimo igual para as tortas de todas as oleaginosas, baseado no trabalho de LEIRAS (2006), considerando-se que o aumento da oferta de tortas, em função da produção crescente de biodiesel no Brasil, tende a reduzir o preço da torta no mercado. O fato de adotar um preço fixo para o custo de extração do óleo e preço da torta, é justificado no sentido de ressaltar a diferença do custo do óleo em função do custo de aquisição das diferentes matérias-primas. Por fim, para validar essas estimativas, serão comparados os resultados com outros trabalhos de análise de custo. A Tabela 35 apresenta os resultados para a análise de custo de extração do óleo

---

<sup>115</sup>Foi assumido uma taxa R\$2,00/U\$, do dia 10 de maio de 2007



**Tabela 35** - Estimativa de Custo de Extração de Óleo a partir de Diferentes Oleaginosas

	<b>Caroço algodão</b>	<b>Amendoim</b>	<b>Gergelim<sup>4</sup></b>	<b>Girassol</b>	<b>Mamona</b>
Preço mínimo (R\$/t) <sup>1</sup> = <b>a</b>	153,00	644,00	700,00	293,00	559,00
Teor de óleo (%) = <b>b</b>	13	45	49	39	42
Torta (%) = <b>c</b>	81	49	45	55	52
Toneladas grãos/tonelada de óleo (t/t) = $(100/b)$ = <b>d</b>	7,69	2,222	2,041	2,564	2,381
Preço matéria - prima/ t óleo (R\$/t) = $(a * d)$ = <b>e</b>	1.176,9 2	1.431,11	1.428,57	751,28	1.330,95
Custo moagem <sup>2</sup> (R\$/t grão) = <b>f</b>	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Custo total matéria prima/ t óleo (R\$/t) = $(d*f)+e$ = <b>g</b>	1.361,5 4	1.484,44	1.477,55	812,82	1.388,10
Produção torta/ t óleo (t torta/t óleo) = $d*c$ = <b>h</b>	6,23	1,089	0,918	1,410	1,238
Preço torta <sup>3</sup> (R\$/ t torta) = <b>i</b>	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Preço total de venda da torta (R\$/t óleo) = $h*i$ = <b>j</b>	1.246,1 5	217,78	183,67	282,05	247,62
Custo óleo final (R\$/ t óleo) = $g - j$ = <b>l</b>	115,38	1.266,66	1.293,87	530,76	1.140,47
Densidade óleo (kg/l) = <b>n</b>	0,92	0,914	0,915	0,918	0,959
<b>Custo final óleo (R\$/ l óleo) = <math>(l/(1000/ n))</math> = <b>m</b></b>	<b>0,11</b>	<b>1,16</b>	<b>1,18</b>	<b>0,49</b>	<b>1,09</b>

**Notas:** <sup>1</sup> O preço mínimo refere-se ao preço mínimo da CONAB para safra 2006/07, com exceção do gergelim. Note que o preço mínimo do caroço de algodão da CONAB é diferente do preço mínimo pago ao produtor pelo algodão em caroço, conforme apresentado na Tabela 18; <sup>2</sup> Valor adotado baseado no custo de moagem da soja, dados da PETROBIO (2006); <sup>3</sup> Estimado a partir do preço da torta da mamona e algodão e girassol, a partir de dados LEIRAS (2006); <sup>4</sup> Para o gergelim a única estimativa de preço encontrada refere-se ao trabalho de FIRMINO *et al.* (2003), que cita um valor de R\$ 1,00 por kg de gergelim. Como não existe preço mínimo para o gergelim assumiu-se um valor de R\$ 700,00 para a cultura, preço próximo ao custo mínimo do amendoim.

Para estimativa do custo de produção de biodiesel a partir dos óleos vegetais apresentados na Tabela 35 foram considerados, além do custo do óleo estimado, os custos operacionais de uma planta de biodiesel com capacidade de 10.000 toneladas/ano (químicos, energia, depreciação (10 anos) e mão-de-obra), conforme descritos por AMARAL (2006). A soma destes itens totalizou R\$ 0,40/litro de biodiesel (Tabela 36, a

seguir). Em relação aos impostos, foi considerado o ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços), conforme citado em LEIRAS (2006) para a Bahia e os Impostos Federais (PIS/PASEP e COFINS) cujo valor varia de 0 a R\$ 0,22/l de biodiesel, dependendo da oleaginosa e da origem. Neste caso, foi considerado que a empresa tem o Selo Combustível Social e está adquirindo oleaginosas dos agricultores familiares do semi-árido, cujo imposto incidente seria de R\$ 0,07/l, com exceção do biodiesel produzido a partir da mamona, que estaria livre desses tributos (conforme já comentado no capítulo 3). Não é considerada a venda da glicerina.

**Tabela 36** - Estimativa de Custos do Biodiesel a partir de Oleaginosas Selecionadas

<b>Tipo de óleo</b>	<b>Custo óleo vegetal (sem imposto) (R\$/l)</b>	<b>Custo operacional planta (R\$)<sup>1</sup></b>	<b>Imposto (ICMS) (R\$)</b>	<b>Imposto (PIS/PASEP e COFINS) (R\$)</b>	<b>Custo final biodiesel (base) (R\$/l)</b>
<b>Algodão</b>	0,11	0,4	0,2	0,07	<b>0,78</b>
<b>Amendoim</b>	1,16	0,4	0,2	0,07	<b>1,83</b>
<b>Gergelim</b>	1,18	0,4	0,2	0,07	<b>1,85</b>
<b>Girassol</b>	0,49	0,4	0,2	0,07	<b>1,16</b>
<b>Mamona</b>	1,09	0,4	0,2	-	<b>1,69</b>

**Nota:** Custo operacional estimado por AMARAL (2006) para uma planta com capacidade de 10.000 toneladas de biodiesel/ano, multi-óleos.

Note-se na Tabela 36 que o caroço de algodão alcançou o menor preço entre as oleaginosas listadas. Este fato está diretamente relacionado ao baixo preço de aquisição da matéria-prima, que representa um subproduto da indústria de algodão. Para o CEPEA (2006), o custo de produção de biodiesel a partir do caroço do algodão no Nordeste, sem considerar a venda da glicerina é de R\$ 0,824/l<sup>116</sup>. A diferença a mais para o trabalho do CEPEA deve-se principalmente, ao preço assumido de R\$ 180,00/t de caroço de algodão, enquanto aqui, foi considerado R\$ 153,00/l. Mas, ambos os cálculos indicam que o caroço do algodão, apesar do pouco rendimento em óleo, é competitivo para a produção de biodiesel no Nordeste. Este diferencial no preço deve-se a venda do grande volume de torta gerado.

A partir da análise realizada o biodiesel de girassol apresentou o segundo menor preço (Tabela 36). Coincidentemente, o preço encontrado para o biodiesel de girassol (R\$

<sup>116</sup>O CEPEA considerou uma usina da DEDINI, com a mesma capacidade considerada nessa tese (10.000 t/ano)

1,16/l) é igual ao encontrado pela PETROBIO (2005). A análise de custo da PETROBIO não considera a venda da glicerina, os impostos e a capacidade da usina. Para o CEPEA (2006), o custo do biodiesel produzido a partir do girassol no Sudeste é um pouco menor, equivalente a R\$ 0,973/l; já na região Centro-Oeste seria de R\$ 1,371/l, ambos os valores calculados a partir do preço de mercado da oleaginosa e da produção em usina com a mesma capacidade da analisada nesta tese (10 mil toneladas/ano). O biodiesel de girassol seria mais barato que o do algodão, caso não fosse considerada a venda da torta.

Quanto ao amendoim e ao gergelim, o biodiesel produzido a partir destas oleaginosas apresentou um preço bastante similar, sendo as opções mais caras entre todas as oleaginosas (Tabela 36). Evidentemente, como o custo de todos os outros fatores produtivos foi constante, a diferença deve-se ao custo de aquisição da matéria-prima. No trabalho do CEPEA (2006) o custo de produção do biodiesel a partir do amendoim na região Sudeste, processado em uma planta de igual capacidade é de aproximadamente R\$ 1,700/l, quando a matéria prima é adquirida a custo de produção agrícola e de R\$ 1,99/l, quando o amendoim foi adquirido a preço de mercado. A PETROBIO (2005), também fez uma análise do custo de produção de biodiesel a partir do amendoim, encontrando um custo de R\$ 1,61 a 1,76/l para o biodiesel. Para o biodiesel de gergelim não foram encontrados dados na literatura.

Por último, para a mamona não foi considerado nenhum custo adicional para produção de biodiesel (como comentado, existem indicações da mamona demandar uma maior quantidade de insumos no processo de produção de biodiesel). Entretanto, pode-se constatar na Tabela 36, que a mamona apresentou o terceiro maior custo de biodiesel (R\$ 1,36/l). De acordo com os dados do CEPEA (2006), os custos estimados para o biodiesel produzido a partir da mamona no Nordeste variam de R\$ 1,7 a 2,3/l, respectivamente quando se considera somente os custos agrícolas ou preço de mercado da oleaginosa. Portanto, os valores encontrados pelo CEPEA estão acima do encontrado nesta análise. Para a PETROBIO (2005), o custo do biodiesel de mamona é R\$ 1,32, sem impostos, também acima do estimado nesta análise. Para LEIRAS (2006), o custo do biodiesel de mamona seria de R\$ 2,16/l, considerando um preço de compra do óleo igual a R\$ 1,91/litro, com imposto.

Em síntese, todos os custos estimados estão próximos da faixa dos encontrados na literatura, com exceção do biodiesel da mamona, que nesta estimativa, encontra-se um pouco inferior. Mas, cabe ressaltar que foram usados os preços mínimos das oleaginosas e assumidos os demais valores como constantes, o que não representa a realidade. Logicamente somam-se a esses custos estimados, os custos fixos das usinas, o transporte, a remuneração do empreendedor e outros gastos e receitas não computados, como a destinação da glicerina, por exemplo. No entanto, pela análise feita, somente o caroço de algodão apresenta um diferencial significativo de custo (para menos), enquanto as demais oleaginosas situam-se no mesmo patamar de custo.

Os valores encontrados indicam a viabilidade econômica da produção do biodiesel a partir de quase todas as oleaginosas com exceção do amendoim e gergelim, uma vez que o biodiesel foi arrematado, no quarto leilão da ANP em 11/07/2006, ao preço médio de R\$ 1,74/l (ANP, 2007). Deve-se considerar que o preço médio de revenda do óleo diesel situa-se na faixa de R\$ 1,90/litro no Nordeste (ANP, 2007) e, portanto, o preço do biodiesel arrematado no leilão é ainda competitivo, devido principalmente à isenção de impostos. Entretanto, o preço médio do biodiesel deverá aumentar, inclusive porque, a partir de 2008 o preço do biodiesel não será mais regulado pelos leilões da ANP. Além disso, a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel passa pela valorização do preço da matéria-prima fornecida por esses agricultores.

#### **4.11. Área Necessária para Atender à Demanda de Biodiesel**

A fim de avaliar as necessidades agrícolas geradas pela Lei n. 11.097/05<sup>117</sup>, é necessário que se faça uma análise das tendências de mercado de óleo diesel. Considerando o consumo final de diesel brasileiro em 2005, da ordem de 38 bilhões de litros (BEN, 2006), a mistura de biodiesel na proporção de 2% (B2), requer a oferta anual de cerca de 800 milhões de litros de biodiesel. A produção necessária à mistura B5 seria da ordem de 2,0 bilhões de litros/ano.

---

<sup>117</sup>Os percentuais mínimos obrigatórios (2% em 2008 e 5% em 2013) serão adicionados ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional.

No entanto, a fim de estimar a área necessária para atender à demanda de biodiesel é importante considerar a expansão do mercado de diesel. Para tanto, será considerada a taxa de crescimento da demanda de óleo diesel até 2015, apresentada por TAVARES (2005), baseada em um estudo da evolução do mercado brasileiro de derivados de petróleo e perspectivas de expansão do parque de refino nacional até 2015 (SCHAEFFER *et al.*, 2004), o qual seguiu a base metodológica de formação de cenários macro-setoriais, considerando dois tipos de cenários: base de mercado e alternativo.

O cenário de mercado não considera maiores transformações qualitativas na trajetória produtiva do País, além daquelas já delineadas nos últimos anos e compatíveis com as ocorridas na última década, embora as taxas macroeconômicas consideradas sejam superiores à taxa real média do passado recente (TAVARES, 2005). De acordo com a mesma autora, no cenário alternativo foram consideradas as transformações qualitativas na trajetória produtiva do País, de tal forma que o ritmo de incorporação de progresso técnico e de alterações na estrutura produtiva em direção aos segmentos de maior valor agregado e de menores coeficientes de intensidade energética e de impactos ambientais é, progressivamente, acelerado. No cenário alternativo foi, inclusive, considerado o papel futuro dos biocombustíveis, especialmente álcool etílico e biodiesel, dos carros multicomcombustíveis e do Programa do Biodiesel (TAVARES, 2005). A Tabela 37 apresenta as taxas de crescimento anuais da demanda de óleo diesel para o Brasil nos cenários comentados.

**Tabela 37** - Taxas de Crescimento da Demanda de Diesel no Brasil(%a.a)

Cenários	Período		
	2002-2005	2005-2010	2010-2015
<b>Mercado</b>	1,51	2,97	2,27
<b>Alternativo</b>	1,96	2,54	1,50

**Fonte: Schaeffer *et al.*, 2004 (in TAVARES, 2005)**

Para estimar a demanda por diesel e biodiesel no Nordeste foram adotados alguns passos e premissas, a saber: a demanda de diesel no Brasil foi projetada a partir dos dados do consumo final de óleo diesel no Brasil em 2005, da ordem de 38 bilhões de litros (BEN, 2006); foi aplicada a taxa de crescimento da demanda de diesel do cenário de mercado (Tabela 36); a participação Nordestina no consumo nacional de diesel

considerada foi de 15%<sup>118</sup>; foi considerado que a demanda por biodiesel no Nordeste corresponde à adição de 2% de biodiesel ao diesel demandado no Nordeste entre 2008 a 2012 e de 5% entre 2013 a 2015.

Os resultados das estimativas da demanda de diesel no Brasil e no Nordeste e da demanda de biodiesel no Nordeste no período de 2007 a 2015 estão apresentados na Tabela 38, a seguir.

**Tabela 38** - Estimativa da Demanda de Diesel e Biodiesel (bilhões de litros/ano)

Ano	Demanda óleo diesel (bilhões litros/ano)		Demanda biodiesel (milhões litros/ano)
	Brasil	Nordeste	Nordeste
<b>2007</b>	40	6,0	120
<b>2008</b>	41	6,2	124
<b>2009</b>	43	6,4	128
<b>2010</b>	44	6,6	132
<b>2011</b>	45	6,7	134
<b>2012</b>	46	6,9	138
<b>2013</b>	47	7,0	350
<b>2014</b>	48	7,2	360
<b>2015</b>	49	7,4	370

Algumas incertezas referentes às estimativas apresentadas na Tabela 38 podem ser ressaltadas. O fato da demanda de óleo diesel no Nordeste ter sido estimada considerando a mesma taxa de crescimento da demanda de óleo diesel calculada para o Brasil, provavelmente superestima o crescimento de consumo de óleo diesel nordestino. Por outro lado, a taxa de participação nordestina no consumo nacional de diesel foi mantida constante de 2008 a 2013, o que de certa forma atrela a taxa de crescimento de demanda de diesel nordestino à taxa de crescimento brasileira, desconsiderando qualquer variação no Nordeste em relação à demanda de óleo diesel. Além disso, o fato de ter considerado as taxas de crescimento do cenário de mercado, também superestima a demanda por diesel. Como comentado, o cenário de mercado apresentado por SCHAEFFER *et al.*(2004) não considera a entrada de combustíveis menos poluentes (como o biodiesel), o que de certa forma aumenta a demanda de óleo diesel. Entretanto

<sup>118</sup> Uma vez que a participação nordestina no consumo de diesel nacional de 2000 a 2005 manteve-se na faixa de 15%, será assumida essa participação como constante na análise.

para o objetivo desta análise esses resultados poderão ser considerados como um limite máximo de demanda por diesel no Nordeste, no período analisado.

A demanda de biodiesel anual do Nordeste (Tabela 38) é muito menor que a capacidade instalada de produção de biodiesel no Nordeste, que totalizam cerca de 1 bilhão de litros/ano, considerando as usinas que já estão produzindo (309 milhões de litros/ano), em construção (385 milhões litros/ano) e em planejamento (376 milhões litros/ano). Assim, a produção de biodiesel no Nordeste seria praticamente três vezes mais a demanda estimada de biodiesel no Nordeste para atender a mistura B5 em 2015. Esses dados indicam que em termos da capacidade de produção haveria um excedente de biodiesel no Nordeste para ser utilizado em outras regiões do país ou exportado.

A partir dos dados da Tabela 38 calculou-se a área média para o plantio de cada uma das oleaginosas, supondo que a demanda anual de biodiesel fosse atendida por uma única oleaginosa. A demanda por biodiesel corresponde à demanda por óleos vegetais, ou seja, considerou-se que a proporção de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais é de 1:1 (PARENTE, 2006). Os dados de rendimento em óleo para cada oleaginosa foram extraídos da Tabela 25, considerando os valores médios de tonelada de óleo por hectare e convertendo esses valores para litros, baseado na densidade dos respectivos óleos a 20°C<sup>119</sup>. A Tabela 39, apresenta a área média necessária para atender a demanda de biodiesel (10<sup>3</sup>ha), em ordem crescente de uso da terra.

---

<sup>119</sup> Densidade de óleos a 20°C (g/ml) de acordo com AMARAL (2006): algodão (0,918); amendoim (0,914); gergelim (0,915); girassol (0,918) e mamona (0,959).

**Tabela 39** – Área Média Necessária para Atender à Demanda de Biodiesel no Nordeste, Anos de 2008 e 2013(mil hectares)

<b>Oleaginosa</b>	<b>Nordeste (mil hectares)</b>	
	<b>B2</b>	<b>B5</b>
	<b>2008</b>	<b>2013</b>
<b>Girassol</b>	146	415
<b>Amendoim</b>	186	529
<b>Mamona</b>	271	769
<b>Gergelim</b>	400	1.133
<b>Algodão</b>	423	1.200

A comparação entre as áreas de plantio necessárias para que cada oleaginosa atenda a demanda de biodiesel (Tabela 39) e a estimativa da área total indicada como disponível para expansão do cultivo de oleaginosas no semi-árido (Tabela 32) sugere que, em termos de uso do solo, qualquer uma dessas oleaginosas seria uma opção viável para o semi-árido. Isto porque na hipótese mais restritiva, a área estimada como disponível para o plantio de oleaginosas no semi-árido seria de 1,3 milhão de hectares e somente o algodão ocuparia uma área próxima, correspondente a 1,2Mha (Tabela 39). No entanto, o girassol e o amendoim apresentam um diferencial considerável em termos de área ocupada para atender a demanda por biodiesel (Tabela 39), portanto, poderiam ser privilegiados, a fim de otimizar a ocupação e uso do solo, em relação, por exemplo, ao gergelim e ao algodão. Porém, a questão de disponibilidade de área para o plantio não torna esse plantios viáveis. A maioria dos solos agrícolas do semi-árido encontra-se degradadas, também a disponibilidade e o acesso aos recursos produtivos podem inviabilizar esses plantios para grande parte dos agricultores familiares, principalmente no que se refere às culturas mais exigentes com o algodão e o girassol, por exemplo.

Evidentemente, com a análise apresentada na Tabela 39, não pretende indicar a viabilidade da monocultura no semi-árido, muito pelo contrário, como defendido ao longo deste texto, a diversificação do plantio de oleaginosas é essencial, tanto do ponto de vista da sustentabilidade socioeconômica e ambiental da região, quanto no que se refere à adaptação às mudanças climáticas. Entretanto, essa diversidade diz respeito não somente a opção do plantio em consórcio de oleaginosas ou rotação de culturas, mas também a melhor opção agrícola para cada ambiente que compõe o espaço heterogêneo do semi-árido Nordestino. Da mesma forma, considera-se que a diversidade pode



facilitar a inserção de um maior número de produtores familiares, assim, para agricultor familiar com menor acesso aos recursos produtivos, por exemplo, o plantio do algodão poderá ser inviável, enquanto que entre os agricultores familiares mais capitalizados esse cultivo seria mais viável.

#### **4.12. Mitigação às Mudanças Climáticas e Aspectos Ambientais do Uso de Biodiesel**

Os impactos ambientais da cadeia de produção de biodiesel são na maioria positivos. Como já comentado, pelas semelhanças de propriedades - o biodiesel e o diesel mineral - o biodiesel pode ser usado em motores do ciclo diesel, deslocando o uso desse combustível fóssil. PARENTE (2006) ressalta que são pelo menos 5, as importantes vantagens adicionais do biodiesel sobre o diesel: o biodiesel não contém enxofre; é biodegradável; não é corrosivo; é renovável e não contribui para o aumento do efeito estufa. O fato do biodiesel ser biodegradável reduz o impacto ambiental, na eventualidade de vazamento, quando comparado ao óleo diesel.

Porém, para avaliar a redução de Gases de Efeito Estufa (GEE) do uso do biodiesel em substituição ao diesel, a rigor, é necessário considerar o balanço energético do biodiesel e do diesel mineral. O balanço energético é definido pela relação entre a quantidade de energia gasta (entrada de energia - *input*) e a gerada (saída de energia - *output*). O balanço energético envolve o estudo do ciclo de vida do combustível, isto é, como o combustível é produzido, desde a extração da matéria-prima até sua utilização em motores, sendo uma questão bastante complexa.

Para ser positivo, o balanço energético do biodiesel depende de diversos fatores, entre outros, destacam-se, o rendimento da cultura, o uso de fertilizantes nitrogenados, uso de implementos agrícolas, que demandam grande quantidade de energia na fase agrícola, mas, também, da energia utilizada na usina de biodiesel, do processo adotado para obtenção do biodiesel e do transporte dos insumos e produto. Assim, a relação entre a energia investida na produção de um combustível (*input*) e a energia obtida na sua combustão (*output*) é um indicador importante na viabilidade econômica e ambiental de um processo, as emissões específicas de CO<sub>2</sub> (gCO<sub>2</sub>/MJ) são inversamente

proporcionais ao valor da relação *Output/Input* (O/I) para os biocombustíveis (NETO *et al.*, 2004).

O Brasil dispõe de poucos estudos sobre o balanço energético do biodiesel, mas foram realizados alguns trabalhos que apontam o biodiesel brasileiro de várias origens com balanço energético positivo (GAZZONI *et al.*, 2006, URQUIAGA *et al.*, 2005; ALMEIDA NETO *et al.*, 2004). A relação O/I para um biocombustível indica a sua eficiência na substituição de energia fóssil, ou seja, quanto maior que a unidade for essa relação, mais energia renovável é obtida por unidade de energia fóssil investida na produção do biocombustível (ALMEIDA NETO *et al.*, 2004). A Tabela 40 apresenta o a relação O/I do biodiesel oriundo de diversas fontes e do etanol da cana-de-açúcar, para comparação.

**Tabela 40** - Relação entre a Energia Gerada (O) e a Entrada de Energia (I) para Biodiesel Oriundos de Diversas Matérias-Primas e o Etanol da Cana-de-Açúcar

Biodiesel	Rota	Relação (O/I)	Fonte
Soja	Metílica	3,2-3,4	SHEEHAN (1998)
		1,0 – 1,24	PIMENTEL & PATZEK (2005)
Mamona	Metílica	2,0-2,7	ALMEIDA NETO <i>et al.</i> (2004)
Mamona	Eílica	2,1-2,7	ALMEIDA NETO <i>et al.</i> (2004)
Girassol	Metílica	1,0-0,76	PIMENTEL & PATZEK (2005)
		2,69	GAZZONI (2006)
Etanol	-	8,06	URQUIAGA <i>et al.</i> (2005)

Para o diesel mineral, a relação O/I é na faixa 0,83-0,85, ou seja, cada unidade de energia fóssil utilizada no ciclo de vida do diesel produz entre 0,83-0,85 unidades de energia útil em combustível (ALMEIDA NETO *et al.*, 2004). Note-se que praticamente o biodiesel de todas as matérias-prima e rotas estão acima do valor citado para o diesel mineral, em contrapartida, bem inferior ao valor encontrado para o etanol da cana-de-açúcar (Tabela 40). O balanço energético favorável do etanol da cana deve-se ao uso do bagaço da cana em substituição ao combustível fóssil na operação das usinas de álcool. No caso no biodiesel, o uso dos co-produtos é um fator determinante na elevação do valor da relação (O/I). A alternativa de uso energético dos co-produtos, aumenta a eficiência na substituição da energia fóssil em 43%, em comparação com a alternativa

de não aproveitamento dos co-produtos no biodiesel da mamona (ALMEIDA NETO *et al.*, 2004).

No que se refere ao balanço energético e a emissão de GEE, várias são as vantagens do fornecimento de oleaginosas a partir da agricultura familiar desenvolvida no semi-árido. Como já mencionado, os sistemas agrícolas adotados são intensivos em mão-de-obra, com baixa utilização de implementos agrícolas e, portanto, são pouco intensivos em energia. Além disso, técnicas de utilização da adubação verde, cobertura morta e plantio direto, além da fixação simbiótica de nitrogênio, promovida pelas leguminosas (como o amendoim), contribuem para a menor emissão de GEE/gasto energético, durante a fase agrícola. Por outro lado, práticas como as queimadas e o desmatamento, para abertura de novas áreas para o plantio, promovem a emissão de GEE para a atmosfera. Por exemplo, no caso europeu (canola), onde a agricultura é intensiva em energia, a redução na emissão de gases de efeito estufa pela utilização do biodiesel em substituição ao diesel de petróleo seria de 53% (considerando-se apenas a redução de CO<sub>2</sub>), ao passo que ao se considerar também a emissão do N<sub>2</sub>O durante a fase agrícola (da decomposição do nitrogênio presente no solo e dos fertilizantes, que resultam na emissão do N<sub>2</sub>O, um importante GEE), o ganho cairia para menos de 10% (TAVARES, 2005).

O uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel, além da possível mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) também reduz a poluição do ar local e regional<sup>120</sup>. O uso do biodiesel reduz a emissão de gases e partículas pelos veículos que são diretamente prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, como o monóxido de carbono (CO), enxofre (SO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP). No entanto, as emissões dos óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) aumentam em relação ao diesel mineral. A redução média de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de biodiesel metílico (B100) em substituição ao óleo diesel é de cerca de 78%, enquanto as de enxofre e material particulado são de cerca de 98% e 50%, respectivamente, e o NO<sub>x</sub> podem ter suas emissões aumentadas em até 13% (OLIVEIRA, 2001). As emissões de poluentes locais do biodiesel variam em função do tipo de óleo vegetal (soja, mamona, palma, girassol

---

<sup>120</sup> A poluição local é aquela causada por fontes existentes nos próprios locais onde seus efeitos são sentidos.

etc.) ou outro material graxo usado na produção do biodiesel. A Tabela 41 apresenta a redução de poluentes locais para diversas misturas de biodiesel de soja em relação ao óleo diesel.

**Tabela 41** - Comparação de Emissões do Biodiesel de Soja e do Diesel Mineral (%)

Mistura biodiesel /diesel	Reduções (%)			
	CO	HC	MP	NOx
<b>B2</b>	-1	-2	-1	+ 0,2
<b>B5</b>	-3	-5	-3	+0,5
<b>B20</b>	-12	-20	-12	+2
<b>B100</b>	-48	-67	-47	+10

**Fonte: GTI Biodiesel, Anexo II - BRASIL (2003)**

Gases como o monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio<sup>121</sup> (NO e NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) contribuem com o aumento do efeito estufa de forma indireta (ver seção 2.1), por suas interações físicas e/ou químicas com os GEE. Com exceção do ozônio que não é emitido pela queima dos combustíveis fósseis, todos os demais gases são emitidos pela queima de combustíveis fósseis. A adição do biodiesel ao diesel mineral afeta em maior ou menor grau a emissão desses gases (Tabela 41). CORRÊA (2005) analisou a poluição do ar local na cidade do Rio de Janeiro, testando o uso de biodiesel em diversas misturas em motores diesel, concluindo que a concentração atmosférica de ozônio (O<sub>3</sub>) foi reduzida em cerca de 8%, com a utilização do biodiesel B100.

Do ponto de vista local, os principais poluentes que impactam a saúde da população são os materiais particulados (MP) (aerossóis, fuligens, fumaça), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o monóxido de carbono (CO) e o ozônio (O<sub>3</sub>) (DUBEUX, 2007). Como pode ser observado na Tabela 41, tanto a emissão do SO<sub>x</sub>, como de CO e MP são reduzidas pelo uso do biodiesel em relação ao diesel. Dessa forma, o uso do biodiesel em substituição ao diesel mineral age sinergicamente pela redução da poluição local e regional e global (redução de GEE diretos e indiretos).

---

<sup>121</sup> NO<sub>2</sub>, é um dos NO<sub>x</sub>.

O aumento relativo do NO<sub>x</sub> pelo uso do biodiesel em substituição ao diesel é quase insignificante para mistura até 5% do biodiesel no diesel (Tabela 41). Além disso, as concentrações de NO<sub>x</sub> são de vida relativamente curta na atmosfera e variam espacialmente. Os efeitos climáticos do NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>) são indiretos e resultam tanto em aumento quanto em decréscimo do forçamento radiativo (positivo, pela precursores de ozônio tropoférico e aumento da concentração de N<sub>2</sub>O e resfriamento, pela redução de vida CH<sub>4</sub> e hidrofluocarbonos, sendo que seu efeito líquido ainda não está claro (DUBEUX, 2007).

Em contrapartida, a poluição por SO<sub>2</sub> é quase que totalmente eliminada pelo uso do biodiesel. O SO<sub>2</sub> irrita os olhos e as vias respiratórias. A poluição por SO<sub>2</sub> é mais danosa quando as concentrações de material particulado e outros poluentes são altas. A oxidação do SO<sub>2</sub> na atmosfera forma ácido sulfúrico que se deposita por intermédio da “chuva ácida”. O SO<sub>x</sub> é um gás precursor dos aerossóis (aerossóis secundários). Os aerossóis como comentado na seção 2.1, tem um efeito radiativo direto quanto indireto, diretamente ora aquecendo (*black carbon*), ora esfriando (partículas de sulfato e partículas orgânicas) e, no segundo caso, aumentando a quantidade de gotículas que modificam a formação, a eficiência de precipitação e as propriedades radiativas das nuvens (DUBEUX, 2007).

Da mesma forma, a redução do CO pelo uso do biodiesel, leva a uma redução de poluição local com grande impacto na saúde. O CO reage com a hemoglobina reduzindo a capacidade do sangue em transportar o oxigênio às células, aumentando o risco de ataques cardíacos, doenças coronarianas e doenças do sistema circulatório (VIANNA, 2006). O CO tem um forçamento radiativo indireto, pois eleva as concentrações de CH<sub>4</sub> e de O<sub>3</sub> troposférico e devido as suas reações químicas com outros constituintes da atmosfera, por exemplo, o radical hidroxila (OH), convertendo-se em CO<sub>2</sub>, reduzindo ainda a disponibilidade do OH que estaria contribuindo para a destruição do CH<sub>4</sub> e do ozônio troposférico (DUBEUX, 2006).

A redução de material particulado (MP) e Hidrocarbonetos (HC) são mais significativas pelo uso do B100 (Tabela 41). O MP é representado por mais de 40 espécies tóxicas que podem provocar câncer no pulmão e são absorvidos pelo sangue (VIANNA, 2006). As

ligações químicas entre ozônio e a formação de material particulado secundário são complexas e pouco conhecidas. Quanto ao HC, existem mais de 100 tipos de Hidrocarbonetos (HC)<sup>122</sup>, muitos são Compostos Orgânicos Voláteis (COV)<sup>123</sup>, altamente nocivos, como o benzeno, outros são os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e 1,3 butadieno, que aumentam a suscetibilidade à leucemia e outros tipos de câncer (DUBEUX, 2007).

Melhorar as condições ambientais, sobretudo nos grandes centros metropolitanos, significa também melhorar a qualidade de vida da população e evitar gastos dos governos e dos cidadãos no combate aos males da poluição. Uma noção da importância ambiental e econômica da utilização de combustíveis renováveis é apresentada na Tabela 42, que mostra a estimativa dos custos da poluição evitada, com o uso do biodiesel, nas principais cidades brasileiras e no Brasil.

**Tabela 42** - Custo Estimado da Poluição Evitada por Diferentes Misturas de Biodiesel (R\$milhões/ano), Brasil, 2003

Mistura	Custo da poluição evitada* com Uso de Biodiesel (R\$milhões/ano)	
	Dez principais cidades Brasileiras**	Brasil
<b>B2</b>	5,9	27,3
<b>B5</b>	16,4	75,6
<b>B20</b>	65,5	302,3
<b>B100</b>	191,9	872,8

**Fonte: GTI Biodiesel, Anexo II - BRASIL (2003)**

**Nota:** \* Para o CO, HC, MP e NO<sub>x</sub>, considerando os gastos principalmente com saúde

\*\*Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, São Paulo.

O exercício de valoração dos custos evitados da poluição, devido ao uso do biodiesel, apresentado na Tabela 42, indica que poderiam ser economizados cerca de 6 milhões de reais por ano, apenas com o uso do B2 nas principais cidades brasileiras. Esses dados podem oferecer elementos que justifiquem uma política tributária, ou mesmo de subsídios, que internalize os benefícios ambientais existentes pelo uso do biodiesel.

<sup>122</sup> Hidrocarbonetos são compostos químicos constituídos por átomos de carbono (C) e hidrogênio (H) aos quais se podem juntar átomos de oxigênio (O), azoto (N) e enxofre (S). As principais fontes de hidrocarbonetos são os combustíveis fósseis.

<sup>123</sup> COV - qualquer composto de carbono com baixo peso molecular que evapore rapidamente à temperatura ambiente, excluídos o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o ácido carbônico, carbonetos metálicos ou carbonatos e carbonato de amônia.

Estas características reforçam a concepção do uso do biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

No próximo capítulo será apresentada uma análise comparativa das principais características das oleaginosas para a produção de biodiesel comentadas neste capítulo. Em seguida são elaborados cenários de oferta de matéria-prima e de produção de biodiesel a partir das área estimada como disponível para a expansão do cultivo de oleaginosas no semi-árido e estimado o potencial teórico de mitigação de Gases de Efeito Estufa pelo uso do biodiesel produzido no semi-árido em substituição ao óleo diesel.

## **Capítulo 5 – Elaboração de cenários de oferta de matéria-prima no semi-árido, de produção de biodiesel e de mitigação de Gases de Efeito Estufa**

### **5.1. Análise comparativa das oleaginosas para produção de biodiesel**

Pelo até aqui exposto várias seriam as vantagens da inserção do agricultor familiar na cadeia produtiva do biodiesel pelo plantio diversificado de oleaginosas. Foram apresentados alguns aspectos que especificam o plantio de algumas oleaginosas, que poderiam ser uma alternativa de inserção dos agricultores familiares do semi-árido como fornecedores de matéria-prima para a produção de biodiesel. No entanto, o potencial de difusão do plantio dessas oleaginosas nos sistemas praticados pelos agricultores familiares, bem como as características de cada matéria-prima para a produção de biodiesel é distinto. Assim, no intuito de resumir e comparar as principais características levantadas no capítulo 4, quanto ao potencial de difusão do plantio e uso de cada uma dessas oleaginosas como matéria-prima para a produção de biodiesel, a Tabela 43 destaca alguns aspectos relevantes para análise.



**Tabela 43** – Comparação entre algumas Características de Oleaginosas selecionadas

	<b>Algodão</b>	<b>Amendoim</b>	<b>Gergelim</b>	<b>Girassol</b>	<b>Mamona</b>
<b>Tradição local de plantio</b>	Sim	Sim (mas, ainda incipiente).	Não	Não	Sim
<b>Variedades adaptadas ao semi-árido</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Zoneamento Agroclimático</b>	Sim	Não	Não	Não	Sim
<b>Ciclo variedade precoce (dias)</b>	120	87	90	100	250
<b>Custo variável de produção (R\$/ha)</b>	572,00	400,00	275,00	515,00	360,00
<b>Produtividade média atual (kg/ha)</b>	1.000	800	520	1.800	600
<b>Geração renda líquida (R\$/ha)</b>	321,00	115,00	382,00	12,00	25,00
<b>Rendimento em óleo mínimo (t/ha)</b>	0,13	0,36	0,25	0,69	0,25
<b>Área necessária para atender a demanda por B5 do Nordeste (mil ha)</b>	1.208	532	1.141	418	774
<b>Custo do biodiesel (R\$/l)</b>	0,78	1,83	1,85	1,16	1,69
<b>Desafios</b>	Necessidade de venda da torta que tende a ser desvalorizada pelo aumento da oferta				
<b>Problemas</b>	-Custo produção alto - Produção difusa entre agricultores familiares -Baixo rendimento em óleo implicando em alta geração de subprodutos - Dependência mercado pluma de algodão	Óleos utilizados em outros setores, com alto valor comercial -Alta demanda no mercado de alimentos -Cultura pouco difundida no semi-árido -Biodiesel de custo relativo alto -Pouco excedente no mercado - Viabilidade tecnológica do biodiesel ainda em teste - Para o gergelim, falta de dados sobre o plantio em escala comercial (preço mercado, custo produção)		- Custo produção alto - Baixa rentabilidade para o agricultor	-Alta densidade - Dificil padronização biodiesel - Baixa produtividade e atual

Quanto à tradição local de plantio, as culturas de amendoim, gergelim e girassol apresentam-se em desvantagem em relação ao algodão e mamona, ou seja, essas últimas são mais difundidas entre os agricultores familiares do semi-árido (Tabela 43). O caroço

de algodão é um subproduto do algodão em pluma, sendo tradicionalmente destinado ao mercado de torta gorda (com alto teor de óleo) e a indústria de ração animal. A destinação do caroço de algodão para a produção de biodiesel poderá ser uma opção atraente para agregar valor a esse subproduto. A mamona, a princípio encontrará um mercado garantido na produção de biodiesel, pois os contratos firmados entre os agricultores familiares e as empresas de produção de biodiesel detentoras do Selo Combustível Social (SCS) têm validade de dois anos e são na maioria baseados na produção de mamona.

Também o fato das culturas de algodão e da mamona estarem zoneadas em vários municípios do semi-árido, conforme descrito na seção 4.7.1, indica uma maior segurança para os agricultores quanto às recomendações técnicas de época de plantio, investimentos em sementes certificadas e permite o maior acesso ao crédito oficial e ao seguro safra pelo agricultor familiar. Por outro lado, existem indicações contrárias à viabilidade da utilização do óleo de mamona para produção biodiesel, conforme descrito nas seções 4.9 e 4.9.1., e, portanto, existe o risco do produtor de biodiesel adquirir o óleo de mamona oriundo do plantio dos agricultores familiares para cumprir contrato (SCS) e não produzir biodiesel desse óleo, destinando-o a outros mercados. Porém, do ponto de vista do agricultor familiar, esse fato poderia não representar um problema, pois o apoio para o cultivo da mamona continuaria a existir.

A mamona tem funcionado como indutora da inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel. A mamona é plenamente adaptável ao semi-árido e tem realmente grande importância para os agricultores familiares. Alguns desses produtores plantam mamona por sua durabilidade, resistência à seca e constância de sua colheita; ou mesmo por fatores culturais (já plantam há muito tempo, tendo aprendido com os pais). A cultura da mamona sempre foi considerada atividade de pequenos produtores, locais. Além disso, a cultura permite diversos tipos de consórcio com plantios de subsistência, como o feijão e o milho. Recentemente, os produtores familiares locais estão sendo estimulados a plantar mamona em função do Programa Brasileiro de Produção e Uso de Biodiesel, cuja meta de inclusão social do agricultor familiar na cadeia produtiva do biodiesel é centrada no cultivo dessa oleaginosa.

Quanto ao algodão, atualmente, essa oleaginosa é plantada quase que exclusivamente pelos agricultores mais capitalizados, pois essa cultura exige investimentos maiores em insumos (principalmente em defensivos e fertilizantes) e um maior nível técnico em relação às demais. Os problemas relacionados ao plantio do algodão por agricultores familiares referem-se, em primeiro lugar, ao seu custo de produção elevado, em função, principalmente, ao combate as pragas e doenças (bicudo, da lagarta rosada e doenças fúngicas). Em segundo lugar, coloca-se a questão da maior exigência de insumos (fertilizantes, sementes de qualidade, preparo do solo) e de áreas para o plantio, o que, conforme comentado, excluiria uma boa parcela dos agricultores familiares do semi-árido, a menos que fossem viabilizadas as parcerias (arrendamento) dos agricultores com maior posse de terra para os sem terra suficiente. Um terceiro problema refere-se ao baixo teor de óleo do algodão, ou seja, uma alta geração de torta e resíduo do processo de extração de óleo. O quarto ponto, diz respeito ao mercado de algodão em pluma, que pode influenciar negativamente na oferta dessa matéria-prima para a produção de biodiesel, incluindo a ameaça da baixa competitividade do algodão em pluma do Nordeste em relação a outras regiões do país, ou mesmo, a maior demanda industrial por algodão sintético, em detrimento do algodão em pluma.

A análise comparativa do ciclo de produção entre as oleaginosas é interessante no que se refere à possibilidade de escalonamento da oferta de matéria-prima para produção de biodiesel. Como pode ser deduzido da Tabela 43, a época de colheita do amendoim e do gergelim coincide, ou seja, ambas têm um ciclo de cerca de 3 meses. Em seguida, haveria a colheita do girassol e do algodão, quatro meses após o plantio e, por último, a mamona, de ciclo mais longo, com cerca de oito meses após o plantio. Além disso, a variabilidade espacial e temporal das chuvas no semi-árido indica que, em cada sub-região, o início das chuvas difere entre os meses de novembro a fevereiro e duram em média de três a quatro meses. Portanto, caso haja informações agrometeorológicas acessíveis aos produtores rurais, será possível um planejamento, no sentido da escolha da época ideal para o plantio, em cada sub-região e estado do Nordeste, o que vai auxiliar na oferta escalonada de matéria-prima para a produção de biodiesel.

Quanto à geração de renda líquida, nota-se na Tabela 43, que o algodão e o girassol são as oleaginosas com custos de produção mais elevados (baseado nos custos variáveis

atuais). Entretanto, a análise da renda líquida indica uma ampla vantagem para o cultivo do algodão em relação ao girassol (Tabela 43). O caroço de algodão foi apontado como a oleaginosa produzida em escala comercial mais rentável para o agricultor familiar e como a matéria-prima mais competitiva para a produção de biodiesel (Tabela 43). Existe a possibilidade de essa cultura ocupar um lugar de destaque a curto e médio prazo para a produção de biodiesel no Nordeste.

Em relação ao amendoim e a mamona, essas culturas estão em patamar semelhante quanto aos custos de produção, mas o amendoim seria bem mais atraente para o agricultor familiar, devido a maior produtividade média e ao melhor preço de venda praticado atualmente. Cabe ressaltar que o preço de venda do amendoim ainda não sofre influência do mercado de biodiesel. A mamona já reflete o mercado de biodiesel, uma vez que já existem contratos pré-estabelecidos entre os agricultores e produtores de biodiesel para essa oleaginosa, portanto, oferece maior segurança para o agricultor familiar.

Quanto ao gergelim, conforme ressaltado na Tabela 43, a falta de dados consolidados sobre essa cultura, dificulta qualquer afirmação consistente em relação à rentabilidade do plantio do gergelim para o agricultor familiar. Apenas baseado nos raros dados de literatura, que não representam os resultados dessa cultura em nível comercial, pode-se indicar o cultivo de gergelim como altamente promissor em termos de rentabilidade para o agricultor familiar.

A análise do rendimento em óleo e da área necessária para atender à demanda estimada de biodiesel para o Nordeste está diretamente relacionada. Como já comparado no capítulo 4, o girassol e o amendoim apresentam um diferencial considerável, em termos de rendimento de óleo por área ocupada, em relação as demais culturas (Tabela 43). O amendoim oferece diversas vantagens quando utilizado em rotação de culturas, devido à fixação de nitrogênio no solo pelo plantio dessa leguminosa e pode vir a representar uma importante opção para o agricultor familiar, caso haja o apoio necessário para a difusão dessa cultura no semi-árido. Nesse particular, a possibilidade de aumentar a matéria orgânica em solos como o do semi-árido, na maioria arenosos, resulta em especial vantagem para o desenvolvimento agrícola nessa região, inclusive auxiliando

na retenção de água no solo durante a ocorrência de veranicos. Além disso, esse cultivo oferece a maior quantidade de óleo por hectare entre as oleaginosas analisadas (Tabela 43), com a vantagem de ter um ciclo curto. Também no caso do girassol, dentre as inúmeras vantagens dessa cultura, destaca-se, novamente, a possibilidade de utilizar os restos culturais desse plantio na alimentação do gado, havendo inclusive ganhos consideráveis na produção de leite quando fornecidos os restos culturais do girassol ao gado leiteiro. Destaca-se também a possibilidade da utilização dessa planta para a criação de abelhas (apicultura) que tem especial importância para os agricultores familiares do semi-árido.

Portanto, todas essas oleaginosas serão consideradas, ocupando uma parcela de solo agrícola mais ou menos significativa, na elaboração dos cenários de oferta de matéria-prima por agricultores familiares do semi-árido, como será exposto a seguir.

## **5.2. Elaboração de cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel pelo cultivo de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido**

Na elaboração dos cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel pelo cultivo de oleaginosas no semi-árido, foram considerados três conjuntos de parâmetros que variam ao longo do período de 2008 a 2015: o aumento gradativo da área plantada com oleaginosas no semi-árido, até atingir a área disponível para o plantio de oleaginosas apresentado na Tabela 22; o aumento da produtividade das oleaginosas até atingir o potencial genético máximo para cada oleaginosa, apresentado na Tabela 17; a diversificação gradativa de oleaginosas, iniciando pela maior participação das mais plantadas atualmente no semi-árido, até atingir uma diversificação completa de oleaginosas, considerando o conjunto das oleaginosas analisadas e apresentadas na Tabela 43.

Um primeiro cenário (Cenário 1) considera que a expansão do plantio de oleaginosas no semi-árido ocorreria até atingir aproximadamente 1,3 milhões de hectares em 2015. A área de cerca de 1,3 Mha foi a área máxima estimada para a expansão do plantio de oleaginosas, na hipótese mais restritiva de aproveitamento dos solos do semi-árido (Tabela 22, capítulo 4). Um segundo cenário (Cenário 2) considera que a área

disponível para a expansão das oleaginosas no semi-árido até 2015 é de cerca de 3,5 milhões de hectares, o que corresponde à área máxima estimada como disponível para a expansão do plantio de oleaginosas no semi-árido, na hipótese menos restritiva (Tabela 22).

A área plantada com oleaginosas aumentaria linearmente nos cenários até atingir a área máxima estimada como disponível para o plantio de oleaginosas em cada estado no ano de 2015. Os Estados de Alagoas e Sergipe não foram considerados nos cenários de oferta de matéria-prima para a produção de biodiesel, uma vez que esses estados praticamente não dispõem, atualmente, de capacidade instalada para a produção de biodiesel (conforme pode ser verificado na Tabela 10, capítulo 3). A área disponível para o plantio de oleaginosas em cada estado nos cenários propostos está apresentada na Tabela 44, a seguir.

**Tabela 44** - Área Disponível para expansão do plantio de oleaginosas considerada na elaboração dos cenários de oferta de matéria-prima para Produção de Biodiesel

Estado	Área disponível para o plantio de oleaginosas (hectares)	
	Cenário 1	Cenário 2
<b>BA</b>	480.552	1.281.472
<b>CE</b>	233.304	622.144
<b>PB</b>	98.645	263.055
<b>PE</b>	126.069	336.183
<b>PI</b>	336.600	897.600
<b>RN</b>	96.152	256.405
<b>Total</b>	<b>1.371.322</b>	<b>3.656.859</b>

Quanto à diversificação do plantio de oleaginosas foi assumido, na elaboração dos cenários de oferta, que inicialmente a maioria da área disponível para a expansão do plantio de oleaginosas no semi-árido seria ocupada com a mamona. No decorrer do período considerado (2008 a 2015) a área plantada com mamona cederia espaço para o

crescimento da área com as demais oleaginosas. No caso do algodão e do gergelim foi considerado que somente uma pequena proporção fixa da área disponível para o plantio de oleaginosas seria ocupada com essas culturas durante todo o período. Quanto ao amendoim foi assumida a expansão gradativa do cultivo dessa oleaginosa para a produção de biodiesel, considerando que atualmente essa cultura é plantada, ainda que de forma difusa, em todo o semi-árido Nordeste (com exceção de Pernambuco). Foi considerada também a perspectiva da entrada do girassol como matéria prima para a produção do biodiesel em alguns estados do Nordeste, onde essa cultura não é cultivada atualmente. A Tabela 45 apresenta a proporção da área plantada com cada oleaginosa no semi-árido, em relação à área total estimada como disponível para o plantio de oleaginosas em cada cenário.

**Tabela 45** – Proporção da área plantada com cada oleaginosa (%) em cada Estado no Semi-árido, em 2015, considerada na elaboração dos cenários de Matéria-prima.

Ano	Proporção de área plantada (%)				
	Mamona	Algodão	Amendoim	Girassol	Gergelim
<b>2008</b>	90%	10%	-	-	-
<b>2009</b>	80%	10%	10%	-	-
<b>2010</b>	60%	10%	15%	10%	5%
<b>2011</b>	60%	10%	15%	10%	5%
<b>2012</b>	50%	10%	20%	15%	5%
<b>2013</b>	50%	10%	20%	15%	5%
<b>2014</b>	50%	10%	20%	15%	5%
<b>2015</b>	40%	10%	25%	20%	5%

O fato de a mamona ocupar a maior proporção da área estimada como disponível para o plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido é justificado uma vez que os agricultores familiares têm recebido incentivos para o plantio da mamona, no âmbito do PNPB. Além disso, a mamona consorciada é uma opção vantajosa a curto e médio prazo para o agricultor familiar. Dessa forma, foi assumido que os agricultores familiares do semi-árido, em 2008, dedicariam 90% da área disponível para a expansão do plantio de oleaginosas ao cultivo da mamona e, no decorrer do período, a mamona

iria perdendo espaço, para os cultivos mais rentáveis ou com maior rendimento em óleo, como o amendoim, girassol e gergelim, ocupando em 2015 cerca de 40% da área disponível (Tabela 45).

No caso do algodão a menor proporção da área plantada é justificada pelo fato que entre as oleaginosas descritas essa é a mais exigente em insumos e técnicas produtivas, com custo de produção alto, sendo predominantemente viável para os agricultores familiares mais capitalizados. Portanto, foi assumido que os agricultores familiares do semi-árido estariam aptos a cultivar algodão no máximo em 10% da área disponível para o plantio de oleaginosas em todo o semi-árido (Tabela 45).

Embora relativamente otimista, foi assumido um crescimento considerável da área plantada com amendoim e girassol. Considerou-se, na elaboração desses cenários, o importante papel que as culturas de amendoim e girassol tendem a representar para a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel. Devido ao fato de existir maior experiência entre os agricultores familiares no plantio do amendoim do que do girassol, a área plantada com amendoim seria maior em relação que a do girassol. Pelos mesmos motivos, foi considerado que o amendoim passa a ocupar uma parcela de 10% já em 2009 e o girassol só seria plantado visando o fornecimento de matéria-prima para a produção de biodiesel a partir de 2010, ocupando, neste ano, uma parcela de 10% da área estimada como disponível (Tabela 45).

A proporção da área plantada com gergelim foi considerada relativamente menos expressiva. Somente 5% da área disponível para o plantio de oleaginosas seria ocupada com essa cultura (Tabela 45). Esta escolha deve-se ao fato de ainda não existir informação suficiente sobre o plantio de gergelim em escala comercial no semi-árido. Dessa forma foi assumido que o plantio do gergelim no semi-árido ocorreria somente a partir de 2010 (Tabela 45), apoiado na hipótese que é uma questão de tempo para que essa cultura seja uma importante fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel.

A Tabela 46 apresenta a evolução da área plantada com cada oleaginosa consideradas nos cenários de oferta de matéria-prima pelos agricultores familiares do semi-árido para a produção de biodiesel.



**Tabela 46** – Evolução da área plantada com oleaginosas no Semi-Árido Nordestino no Cenário 1, 2008 a 2015

<b>Cenário 1</b>	<b>Área Plantada com oleaginosas no semi-árido (mil hectares)</b>							
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>TOTAL</b>	<b>171</b>	<b>343</b>	<b>514</b>	<b>686</b>	<b>857</b>	<b>1.028</b>	<b>1.200</b>	<b>1.371</b>
<b>Mamona</b>	154	274	309	411	429	514	600	549
<b>Algodão</b>	17	34	51	69	86	103	120	137
<b>Amendoim</b>	-	34	77	103	171	206	240	343
<b>Girassol</b>	-	-	51	69	129	154	180	274
<b>Gergelim</b>	-	-	26	34	43	51	60	69

**Tabela 47** – Evolução da área plantada com oleaginosas no Semi-Árido Nordestino no Cenário 2, 2008 a 2015

<b>Cenário 2</b>	<b>Área Plantada com oleaginosas no semi-árido (mil hectares)</b>							
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>TOTAL</b>	<b>457</b>	<b>914</b>	<b>1.371</b>	<b>1.828</b>	<b>2.286</b>	<b>2.743</b>	<b>3.200</b>	<b>3.657</b>
<b>Mamona</b>	411	731	823	1.097	1.143	1.371	1.600	1.463
<b>Algodão</b>	46	91	137	183	229	274	320	366
<b>Amendoim</b>	-	91	206	274	457	549	640	914
<b>Girassol</b>	-	-	137	183	343	411	480	731
<b>Gergelim</b>	-	-	69	91	114	137	160	183

A área ocupada com a mamona cresce até o ano 2014 e, no ano de 2015, começa a diminuir, nos dois cenários elaborados (Tabela 46 e 47), cedendo espaço para as outras oleaginosas. No cenário 1, a área plantada com mamona é de 154 mil hectares em 2008 e de 574 mil hectares em 2015 (Tabela 46). No cenário 2, a expansão dessa cultura no semi-árido seria bem mais acelerada, ocupando 411 mil hectares em 2008 e 1,4 milhões de hectares em 2015 (Tabela 47). Em média, a área plantada com mamona seria de cerca de 56 mil ha/ano (cenário 1) e 150 mil ha/ano (cenário 2).

Quanto ao algodão, cerca de 17 mil hectares dessa cultura seriam destinados à produção de biodiesel em 2008 e a área cultivada seria de cerca de 137 mil hectares em 2015, no cenário 1 (Tabela 46). No cenário 2 a área plantada com algodão em 2008 é ainda um pouco maior, aproximadamente 46 mil hectares, até ocupar cerca de 366 mil hectares em 2015 (Tabela 47). No Nordeste foram cultivados cerca de 390 mil hectares com algodão em 2005 (Tabela 23, capítulo 4) e no semi-árido, no mesmo ano, cerca de 40 mil hectares (Tabela 24, capítulo 4). A área plantada no cenário 2, em 2015, equivale, praticamente, à área plantada com algodão no Nordeste em 2005, o que parece razoável considerando que em um período de 10 anos poderia haver o incentivo a expansão dessa oleaginosa no semi-árido para a produção de biodiesel. Em média, a área anual de expansão do plantio do algodão equivale a 17 mil ha/ano no cenário 1 e a 46 mil ha/ano no cenário 2.

A área plantada com amendoim por agricultores familiares para produção de biodiesel apresenta um crescimento considerável no período de 2009 a 2015. No ano de 2009 seriam dedicados cerca de 34 mil hectares e 91 mil hectares ao plantio dessa cultura, respectivamente, no cenário 1 e cenário 2 e no ano de 2015 cerca de 343 mil hectares e 914 mil hectares (Tabela 46 e 47). Em média a expansão da área plantada com amendoim corresponde a 49 mil hectares/ano (cenário 1) e a 131 mil hectares/ano (cenário 2).

Quanto ao girassol a área destinada ao plantio dessa cultura corresponderia a 51 mil hectares (cenário 1) e a 137 mil hectares (cenário 2) em 2010. No ano de 2015, a área ocupada com essa cultura equivaleria a 274 e 731 mil hectares, respectivamente no cenário 1 e no cenário 2 (Tabela 46 e 47). A expansão média da área plantada com girassol corresponderia a 46 mil hectares/ano (cenário 1) e 122 mil hectares/ano (cenário 2).

Por último, a área plantada com gergelim é relativamente menos expressiva nos cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel. No cenário 1, a área plantada com gergelim é de 26 mil hectares em 2010 e de 69 mil hectares em 2015 (Tabela 46). No cenário 2, o plantio de gergelim no semi-árido corresponde a 69 mil

hectares em 2010 e a 183 mil hectares em 2015 (Tabela 47). Em média a expansão anual da área plantada com gergelim é de cerca de 11 mil hectares no cenário 1 e de 30 mil hectares no cenário 2.

No entanto o aumento de produção de oleaginosas no semi-árido não envolve somente a disponibilidade de áreas para o plantio, mas também, sementes de qualidade, insumos, como corretivos de solos, fertilizantes, defensivos e acesso ao crédito, entre outros recursos produtivos. Nos cenários de oferta de matéria-prima considerou-se, em um primeiro momento, que a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel tende a ocorrer pelo aumento gradativo da área plantada, sem grandes mudanças tecnológicas ou de práticas de manejo. Paulatinamente, são esperados o aumento ao acesso aos recursos produtivos, ao crédito e à assistência técnica e extensão rural (ATER), em virtude do incentivo à inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel. Estes fatos corresponderiam a um aumento mais significativo da área plantada em conjunto com o aumento da produtividade. Por último haveria um aumento ainda mais significativo na produtividade e na expansão da área plantada, resultado do maior rendimento das oleaginosas por unidade de área plantada e da maior segurança do agricultor familiar para investir em novas áreas de plantio de oleaginosas.

Dessa forma, considerou-se que em 2008 a produtividade agrícola para cada oleaginosa seria próxima à produtividade média das oleaginosas plantadas no semi-árido em 2005 (apresentada na Tabela 24, capítulo 4). Essa hipótese é apoiada pelo fato de que o acesso aos recursos produtivos, nível tecnológico e manejo agrícola empregado em 2005 no semi-árido provavelmente serão mantidos até 2008. Para a mamona, cultura amplamente cultivada por agricultores familiares do semi-árido, considerou-se que em 2008, a produtividade seria igual à produtividade média do semi-árido em 2005 (587kg/ha). Para o algodão optou-se por considerar que a produtividade dessa cultura em 2008, seria igual à produtividade máxima registrada no semi-árido em 2005, ou seja, respectivamente 774 kg/ha para o algodão (igual à produtividade encontrada no semi-árido da Bahia em 2005), uma vez que, como comentado, somente os agricultores com maiores recursos plantariam o algodão em um primeiro momento. Para o amendoim, pelo contrário, considerou-se que a produtividade em 2008, seria igual a produtividade mínima registrada no semi-árido em 2005, equivalente a 600 kg/ha (produtividade da

mamona no semi-árido da Paraíba em 2005), uma vez que essa cultura ainda é pouco disseminada no semi-árido. Para o girassol assumiu-se que a produtividade corresponderia a 960kg/ha (equivalente a produtividade média no semi-árido em 2005) em 2008. Para o gergelim, cultura ainda pouco difundida no semi-árido, considerou-se que em 2008, a produtividade corresponderia a 250kg/ha, conforme dados sobre produtividade média dessa cultura no semi-árido, já comentados no capítulo 4.

Em 2015 considerou-se que a produtividade das oleaginosas seria próxima ao potencial genético máximo das variedades (cultivares) desenvolvidas para o semi-árido (Tabela 25, capítulo 4), resultante da hipótese que, no período de 8 anos, haveria um aumento gradativo na produtividade, devido à difusão e emprego de técnicas simples de convivência com o semi-árido, a evolução de práticas de recuperação dos solos e melhorias nos tratos culturais, bem como de maior difusão e acesso às sementes melhoradas pelos agricultores familiares, do zoneamento agroclimático expandido para todas as oleaginosas e do amplo acesso aos recursos produtivos, ao crédito e a ATER.

Assim, uma vez que a alteração da produtividade agrícola de cada oleaginosa aumentaria de 2008 a 2015, foi utilizada uma equação logística para descrever esse aumento ao longo do período de 2008 a 2015. Dessa forma, a taxa de crescimento (aumento da produtividade agrícola) de 2008 a 2015 foi calculada aplicando-se a seguinte fórmula:

$$Tx = (B/C)^{(1/t)} - 1$$

Onde,

**Tx** = Taxa anual de alteração de produtividade

**B**= produtividade de cada oleaginosa (mamona, algodão, amendoim, girassol e gergelim) em 2015.

**C** = produtividade de cada oleaginosa (mamona, algodão, amendoim, girassol e gergelim) em 2005.

**t** = número de anos considerado (7 anos).

A Tabela 48 apresenta a variação na produtividade das oleaginosas quando a taxa anual de aumento de produtividade para cada matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel. Note que essa equação descreve uma curva logística, ou seja a curva de aumento crescente da produtividade, em velocidade decrescente, que é semelhante a curva de aprendizado.

**Tabela 48** - Variação da Produtividade Oleaginosa (kg/ha) no Período de 2008 a 2015

Ano	Produtividade (kg/ha)				
	Mamona	Algodão	Amendoim	Girassol	Gergelim
<b>2008</b>	587	774	600	960	250
<b>2009</b>	671	899	707	1.084	287
<b>2010</b>	767	1.043	834	1.225	328
<b>2011</b>	877	1.211	983	1.383	377
<b>2012</b>	1.003	1.406	1.159	1.562	432
<b>2013</b>	1.147	1.632	1.367	1.764	495
<b>2014</b>	1.312	1.895	1.612	1.992	567
<b>2015</b>	1.500	2.200	1.900	2.250	650

Para o cálculo da quantidade de óleo (em litros) potencialmente produzido pelo plantio de cada oleaginosa, foi considerado a área anual plantada com a oleaginosa em cada cenário de oferta de matéria-prima (Tabela 46 e 47), a variação na produtividade das oleaginosas (Tabela 48), o teor médio de óleo e densidade dos óleos a 20°C. O teor médio de óleo (média entre esmagamento e solvente, considerando 5% de perda no processo de extração do óleo) e densidade das oleaginosas considerados nesses cálculos estão apresentados na Tabela 49, a seguir.

**Tabela 49** – Teor de óleo médio (%) e Densidade a 20°C (kg/l) para Oleaginosas Seleccionadas

Oleaginosa	Teor médio óleo (%)	Densidade a 20°C (kg/l)
<b>Algodão</b>	12,5	0,918
<b>Amendoim</b>	45,5	0,914
<b>Gergelim</b>	48,5	0,915
<b>Girassol</b>	38,5	0,918
<b>Mamona</b>	42,0	0,959

Assumido que a quantidade de óleo produzido (em litros) é equivalente à quantidade de biodiesel produzido, ou seja, a relação de 1:1 entre óleo vegetal e biodiesel, foi possível estimar a quantidade de biodiesel produzido em cada cenário, conforme apresentado na Tabela 50 e Tabela 51, a seguir.

**Tabela 50** - Quantidade de biodiesel produzido (milhões de litros) a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido no cenário 1, no período de 2008 a 2015

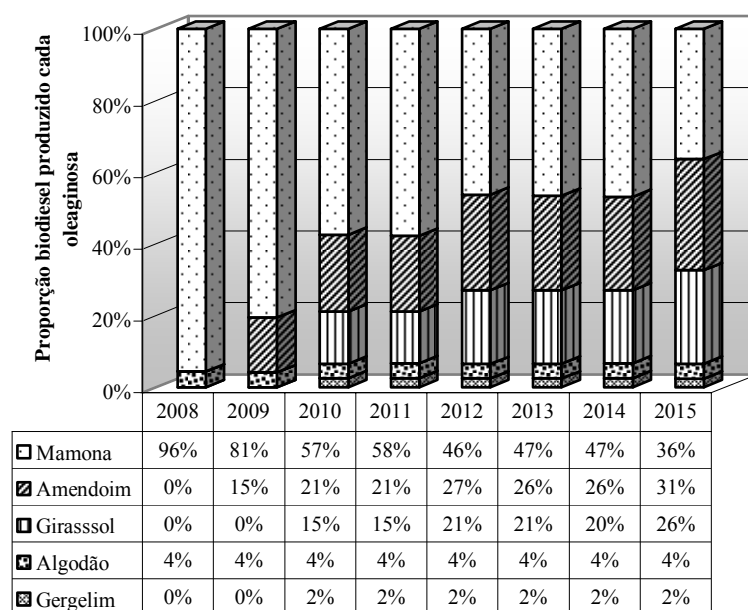
Cenário 1	Biodiesel (Milhões de litros)							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Mamona</b>	40	81	104	158	188	258	345	360
<b>Algodão</b>	1,8	4	7	11	16	23	31	41
<b>Amendoim</b>	-	15	39	58	109	146	192	307
<b>Girassol</b>	-	-	26	40	84	114	150	259
<b>Gergelim</b>	-	-	4	7	10	13	18	24
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>100</b>	<b>181</b>	<b>274</b>	<b>407</b>	<b>555</b>	<b>736</b>	<b>991</b>

**Tabela 51** - Quantidade de biodiesel produzido (milhões de litros) a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido no Cenário 2, no período de 2008 a 2015

Cenário 2	Biodiesel (Milhões de litros)							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Mamona</b>	106	215	277	422	502	689	919	961
<b>Algodão</b>	5	11	19	30	44	61	83	110
<b>Amendoim</b>	-	41	103	155	289	390	511	819
<b>Girassol</b>	-	-	70	106	225	304	401	690
<b>Gergelim</b>	-	-	12	18	26	36	48	63
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>267</b>	<b>482</b>	<b>731</b>	<b>1.086</b>	<b>1.480</b>	<b>1.962</b>	<b>2.643</b>

No cenário 1, seriam potencialmente produzidos cerca de 40 milhões de litros de biodiesel em 2008 e 990 milhões de litros em 2015, a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido (Tabela 50). No cenário 2, a produção de biodiesel seria maior, uma vez que a área plantada neste cenário é maior, equivalendo a produção total de 111 milhões de litros de biodiesel, aumentando a produção para 2,6 bilhões de litros de biodiesel em 2015 (Tabela 51). Vale lembrar que o cenário 1 e o cenário 2 foram baseados respectivamente na estimativa das áreas máximas nos cenários restrito e amplo de aproveitamento dos solos para a expansão do cultivo de oleaginosas no semi-árido e, conseqüentemente, representam à produção máximas de biodiesel nesses cenários, ou seja, qualquer variação dentro dessa faixa seria possível na configuração de um cenário intermediário.

A proporção de biodiesel produzido a partir de cada oleaginosa, naturalmente difere da proporção da área plantada com essas culturas apresentada na Tabela 45, uma vez que como comentado, a estimativa da quantidade produzida de biodiesel em litros envolve não somente a área plantada, mas, também, a produtividade, o teor de óleo e a densidade de cada oleaginosa. O Gráfico 7, a seguir, apresenta a proporção de biodiesel produzido a partir de cada oleaginosa em relação ao total anual produzido nos cenários.



**Gráfico 7.-** Proporção do biodiesel com cada oleaginosa no período de 2008 a 2015 nos cenários de oferta de matéria-prima para produção de biodiesel

O biodiesel produzido a partir da mamona representa cerca de 96% em 2008, diminuindo a proporção relativa para cerca de 36% em 2015, enquanto que o biodiesel produzido a partir das outras oleaginosas aumenta sua participação relativa no decorrer do período analisado (Gráfico 7).

Comparando a estimativa de produção de biodiesel nos cenários (Tabela 50 e 51) com a capacidade instalada de biodiesel no Nordeste (apresentada na Tabela 10 do capítulo 3) é possível inferir a participação dos agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel. Para tanto, foi assumido que as usinas de biodiesel do Nordeste atingem a sua capacidade de produção de biodiesel, gradativamente, ao longo do período considerado na elaboração dos cenários (2008 a 2015). Assim, em 2008, a produção de biodiesel no Nordeste seria equivalente à capacidade de produção de biodiesel das usinas que estão operando no Nordeste, somada a capacidade de produção das usinas-piloto do Nordeste, totalizando a produção de 323 milhões de litros de biodiesel por ano. No ano seguinte, seria adicionada a capacidade de produção de biodiesel de 1/4 das usinas em construção no Nordeste, e passariam a ser produzidos cerca de 420 milhões de litros/ano de biodiesel e assim, sucessivamente, até 2012, quando a produção de biodiesel no



Nordeste equivaleria à capacidade de produção de todas as usinas atualmente em operação, em construção, somada às usinas-piloto. A partir do ano de 2013, seria adicionada 1/3 da capacidade de produção das usinas atualmente em planejamento no Nordeste, até que em 2015 a capacidade de produção de biodiesel no Nordeste seria de cerca de 930 milhões de litros por ano, equivalendo à capacidade de produção total de biodiesel das usinas que estão atualmente em operação, construção e planejamento no Nordeste<sup>124</sup>. A Tabela 52 apresenta a comparação entre a produção de biodiesel prevista nos cenários e a capacidade de produção de biodiesel assumida para o Nordeste de 2008 a 2015.

**Tabela 52** – Comparação entre a produção de biodiesel prevista nos cenários e a capacidade de produção de biodiesel estimada para o Nordeste de 2008 a 2015

	Biodiesel (Milhões litros)			Porcentagem (%)	
	Cenário 1	Cenário 2	Capacidade Produção Nordeste	Cenário 1	Cenário 2
<b>2008</b>	42	111	323	13%	34%
<b>2009</b>	100	267	381	26%	70%
<b>2010</b>	181	482	439	41%	110%
<b>2011</b>	274	731	497	55%	147%
<b>2012</b>	407	1.086	555	73%	196%
<b>2013</b>	555	1.480	681	82%	217%
<b>2014</b>	736	1.962	806	91%	243%
<b>2015</b>	991	2.643	931	106%	284%

Como pode ser notado na Tabela 52, considerando a quantidade de biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido (cenário 1 e cenário 2) e a capacidade de produção biodiesel das usinas do Nordeste, no cenário 1, o fornecimento de matéria-prima dos agricultores familiares do semi-árido responderia por 13% do biodiesel produzido no Nordeste, em 2008. Em 2015, todo o biodiesel produzido nas usinas instaladas no Nordeste poderia ser originada da matéria-prima da agricultura familiar. No cenário 2, a produção de biodiesel a partir da agricultura familiar corresponde a 34% da capacidade de produção de biodiesel das usinas do Nordeste em 2008. Em 2015 o biodiesel produzido a partir da agricultura familiar corresponderia a cerca de 2,8 vezes a

<sup>124</sup> Vale ressaltar que as usinas de produção de biodiesel locadas no Estado do Maranhão foram excluídas dessa análise

capacidade de produção de biodiesel no Nordeste. Porém, a viabilidade de produção de biodiesel no Nordeste não depende apenas do fornecimento de matéria-prima e da construção de novas usinas de biodiesel e, sim, também da infra-estrutura necessária à logística de escoamento de grãos/biodiesel, armazenamento e extração de óleo. Neste caso, a oferta de matéria-prima dos agricultores familiares do semi-árido provavelmente estimularia a construção de novas usinas de produção de biodiesel no Nordeste.

Cabe ressaltar que o PNPB prevê que nas usinas com Selo Combustível Social o percentual mínimo de aquisição de matéria-prima dos agricultores familiares corresponde a 50% do custo de aquisição total anual com matéria-prima do produtor de biodiesel. Esse fato, evidentemente, não significa que 50% do biodiesel serão produzidos a partir da matéria-prima dos agricultores familiares. Não obstante, a análise apresentada na Tabela 52 indica que, considerando os cenários de oferta apresentados, grande parte da capacidade de produção de biodiesel das usinas do Nordeste poderia ser atendida pelo fornecimento de matéria-prima dos agricultores familiares do semi-árido Nordestino, principalmente considerando o cenário 2.

O produtor de biodiesel com Selo Combustível Social tenderia a adquirir as matérias-prima do agricultor familiar, conforme a disponibilidade e preço praticado, pois quanto maior a oferta, menor será o preço e maior será o interesse do produtor de biodiesel em adquirir matéria-prima dos agricultores familiares. A grande maioria das usinas instaladas no Nordeste pode operar com mix de oleaginosas. Alguns desses produtores podem se apropriar de uma maior quantidade de matéria-prima oriunda dos agricultores familiares, enquanto outros poderiam produzir biodiesel a partir da matéria-prima dos agricultores patronais (da soja do oeste da Bahia, por exemplo) e da agricultura familiar (do semi-árido ou não), dependendo da oferta de matéria-prima.

### **5.3. Cenários de mitigação das mudanças climáticas pelo plantio de oleaginosas por agricultores familiares no semi-árido para produção de biodiesel**

Como comentado, o uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel possibilita a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Cabe estimar o potencial teórico de mitigação de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir do fornecimento de matéria

prima por agricultores familiares no semi-árido. Nos cenários de mitigação que serão apresentados não é considerado o ciclo de vida do biodiesel ou do óleo diesel. Esse fato exclui, portanto, as emissões associadas da fase agrícola, da extração de óleo vegetal, escoamento da produção e do biodiesel (logística) e do consumo energético das plantas de biodiesel. Da mesma forma, não estão incluídas as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao ciclo de vida do óleo diesel (extração, produção, distribuição etc...). Somente serão consideradas as emissões de carbono (CO<sub>2</sub>) associadas ao uso (queima) do óleo diesel e do biodiesel e o consumo equivalente do biodiesel em substituição ao diesel.

Assim, os cenários de mitigação referem-se ao potencial de redução de emissão de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir do fornecimento de matéria-prima dos agricultores familiares do semi-árido descritos nos cenários de oferta. As seguintes etapas/premissas foram consideradas para o cálculo das reduções de emissão de CO<sub>2</sub>:

#### 1) As emissões de carbono do diesel mineral

Considerou-se que o fator de emissão de carbono do diesel é equivalente a 20,2 t C/TJ (IPCC, 2006). O fator de conversão de metro cúbico (m<sup>3</sup>) de diesel para tonelada equivalente de petróleo (tep) é igual a 0,848 tep/ m<sup>3</sup> e o fator de conversão de tep para Tera (10<sup>12</sup>) Joules (TJ) é de 0,04187 (TJ/tep) (BEN, 2006). Conclui-se que, o conteúdo de carbono de 1 m<sup>3</sup> de diesel é de 0,717216 tC/m<sup>3</sup>. Sabendo-se que cada átomo de carbono, em sua queima, se associa a dois átomos de oxigênio, tem-se que 12 g de carbono produzirão 44gCO<sub>2</sub> e que a emissão do diesel mineral corresponde a 2.630gCO<sub>2</sub>/l.

#### 2) Emissão do carbono do uso do biodiesel

O biodiesel é um combustível renovável. A emissão de carbono do uso do biodiesel é considerada nula, uma vez que, o carbono emitido durante sua queima é fixado novamente pelo crescimento das oleaginosas. Considerou-se, entretanto, que seriam consumidos no máximo 22% de metanol no processo de transesterificação pela rota metálica, para produção de 1 litro de biodiesel. Essa quantidade de metanol é superior à apresentada na Tabela 4 (Coeficientes técnicos para produção de biodiesel, apresentado

no Capítulo 3), porém, como existe indicação da necessidade de maior quantidade de álcool quando se utiliza a mamona e o biodiesel produzido a partir dos óleos de amendoim e gergelim ainda estão fase de teste, optou-se por considerar 22% de metanol em volume para cada litro de biodiesel produzido, conforme citado por OLIVEIRA & COSTA (2002)<sup>125</sup>.

Na transformação de óleo vegetal em biodiesel pela transesterificação foi assumido um aproveitamento de 100% em volume, ou seja, uma eficiência de processo de 100%, conforme descrito por PARENTE (2003). Assim, são necessários 1,0 litro de óleo e 200 mililitros de metanol (CH<sub>3</sub>OH) para se obter 1 litro de biodiesel. No cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da combustão do metanol<sup>126</sup>, considerou-se que todo o metanol consumido na queima será convertido em dióxido de carbono ( $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ).

A queima de um mol de metanol gera um mol de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerando-se os pesos moleculares do metanol e do CO<sub>2</sub>, bem como a densidade do metanol (0,792kg/l), tem-se que a combustão de 1 litro de metanol produz 1.089gramas CO<sub>2</sub> ( $1 \text{ l CH}_3\text{OH} = \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow (792 * 44 / 32) \text{ gCO}_2$ ). Infere-se que a queima de 1 litro de biodiesel, em cuja produção são consumidos 220 mililitros de metanol, gera 239,6 g CO<sub>2</sub>.

### 3) Eficiência energética do biodiesel

Com relação à eficiência energética do biodiesel, esta corresponde a 90% do diesel mineral, resultado do balanço entre o maior número de cetano e menor poder calorífico do biodiesel em relação ao óleo diesel, conforme já comentado. Portanto, são necessários 1,1 litros de biodiesel para substituir 1 litro de óleo diesel, ou ao contrário, 1 litro de biodiesel substitui cerca de 0,9 litros de óleo diesel, com a mesma eficiência energética.

---

<sup>125</sup> Na prática o valor de 22% de metanol representa um excedente utilizado no processo de produção de biodiesel e somente cerca de 12% ficaria retido no biodiesel, portanto esse valor é conservador

<sup>126</sup> O metanol pode ser produzido a partir da biomassa, porém no Brasil tradicionalmente produzido a partir do gás natural

### **5.3.1. Cenários de mitigação pelo lado da oferta de biodiesel a partir da matéria-prima dos agricultores familiares**

No cálculo da redução de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido, conforme os cenários descritos (Tabela 50 e 51) foram consideradas as premissas e etapas descritas acima, a saber: um litro de biodiesel substitui 0,9 litros de diesel e os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> do biodiesel (239, 6 gCO<sub>2</sub>/ litro) e do diesel mineral (2.630gCO<sub>2</sub>/litro). A Tabela 53 apresenta o potencial teórico de emissão evitada de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>)<sup>127</sup> pelo uso do biodiesel produzido a partir do plantio de oleaginosas pelos agricultores familiares em cada cenário de oferta de biodiesel em substituição ao diesel mineral.

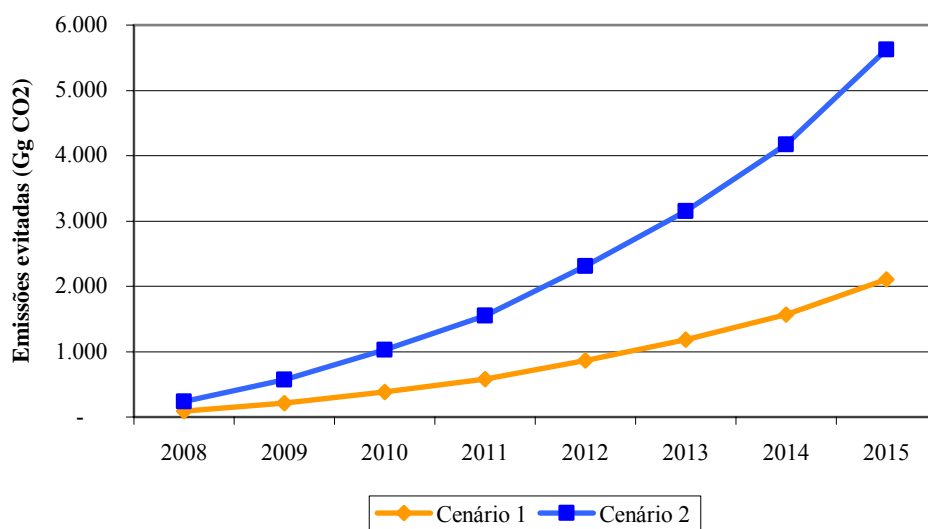
---

<sup>127</sup> Giga corresponde a 10<sup>9</sup> e 1 Giga grama é equivalente a mil toneladas (Kt)

**Tabela 53** – Produção de Biodiesel a partir da Agricultura Familiar do semi-árido (milhões de litros), quantidade de diesel mineral deslocado (milhões de litros) e emissão evitada de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel em substituição ao diesel a partir dos cenários de oferta.

	Ano	Biodiesel Produzido (Milhões de litros)	Diesel mineral deslocado (Milhões litros)	Emissão CO <sub>2</sub> Diesel mineral (Gg CO <sub>2</sub> )	Emissão CO <sub>2</sub> Biodiesel (Gg CO <sub>2</sub> )	Emissão Evitada (Gg CO <sub>2</sub> )
<b>Cenário 1</b>	<b>2008</b>	42	37	98	10	88
	<b>2009</b>	100	90	237	24	213
	<b>2010</b>	181	163	407	41	384
	<b>2011</b>	274	247	620	63	583
	<b>2012</b>	407	367	908	92	866
	<b>2013</b>	555	500	1.245	126	1.181
	<b>2014</b>	736	662	1.660	168	1.565
	<b>2015</b>	991	892	2.223	225	2.108
	<b>Total</b>	<b>3.285</b>	<b>2.957</b>	<b>7.399</b>	<b>749</b>	<b>6.989</b>
<b>Cenário 2</b>	<b>2008</b>	111	100	262	26	235
	<b>2009</b>	267	240	632	64	568
	<b>2010</b>	482	434	1.085	110	1.025
	<b>2011</b>	731	658	1.653	167	1.554
	<b>2012</b>	1.086	977	2.422	245	2.310
	<b>2013</b>	1.480	1.332	3.320	336	3.149
	<b>2014</b>	1.962	1.765	4.427	448	4.173
	<b>2015</b>	2.643	2.379	5.929	600	5.622
	<b>Total</b>	<b>8.761</b>	<b>7.884</b>	<b>19.729</b>	<b>1.997</b>	<b>18.637</b>

No cenário 1, a emissão evitada de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel no período de 2008 a 2015 corresponde a 6.989 GgCO<sub>2</sub> (ktCO<sub>2</sub>). No cenário 2, a emissão evitada pelo uso do biodiesel atinge cerca de 18.600 GgCO<sub>2</sub> no total do período considerado (Tabela 53). O valor mínimo de redução da emissão de CO<sub>2</sub> pelo lado da oferta de biodiesel é de 88 GgCO<sub>2</sub>/ano quando cerca de 13% do biodiesel no Nordeste é produzido a partir da matéria-prima da agricultura familiar do semi-árido. No extremo oposto, quando a produção de biodiesel a partir da matéria-prima ultrapassa em mais de duas vezes a produção estimada de biodiesel no Nordeste (cenário 2, ano de 2015) esse valor é da ordem de 5.600 Gg CO<sub>2</sub>/ano (Tabela 53). O Gráfico 8, a seguir, apresenta as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> por ano nos cenários descritos.



**Gráfico 8.-** Emissões anuais evitadas de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>/ano) pelo uso de biodiesel em substituição ao óleo diesel de 2008 a 2015

No Brasil, as emissões de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis fósseis do subsetor transporte rodoviário correspondiam a cerca de 83 TgCO<sub>2</sub> (83.302 Gg CO<sub>2</sub>) no ano de 1994 (MCT, 2004). A emissão evitada pelo uso do biodiesel (GgCO<sub>2</sub>/ano) no cenário 1 corresponde a menos que 1% das emissões do setor de transporte rodoviário até o ano de 2011 e representa cerca de 2,5% das emissões de CO<sub>2</sub> do transporte rodoviário (com base nos dados de 1994), no ano de 2015. Quanto às emissões evitadas pelo uso do biodiesel do cenário 2, estas representam em cerca de 4% as emissões do setor de transporte rodoviário no Brasil (com base no ano de 1994) em 2013, 5% em 2014 e 7% em 2015.

Também se pode comparar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> nos cenários apresentados (Tabela 53) com a emissão de CO<sub>2</sub> estimadas pelo o uso do óleo diesel que será consumido no Nordeste e no Brasil de 2008 a 2015 (demanda por óleo diesel apresentada na Tabela 38), conforme apresentado na Tabela 54, a seguir.

**Tabela 54** - Relação entre a emissões evitadas de CO<sub>2</sub> no Cenário 1 e Cenário 2 e as emissões derivadas ao uso de óleo diesel demandado no Nordeste e no Brasil, 2008 a 2015.

	Emissão evitada (Gg CO <sub>2</sub> )		Proporção entre emissão evitada nos cenários e emissão óleo diesel do Nordeste		Proporção entre emissão evitada cenários e emissão óleo diesel Brasil	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
<b>2008</b>	88	235	1%	1%	0,1%	0,2%
<b>2009</b>	213	568	1%	3%	0,2%	0,5%
<b>2010</b>	366	975	2%	6%	0,3%	0,9%
<b>2011</b>	557	1.486	3%	9%	0,5%	1,3%
<b>2012</b>	816	2.176	5%	13%	0,7%	1,9%
<b>2013</b>	1.119	2.984	6%	17%	1,0%	2,5%
<b>2014</b>	1.492	3.979	8%	22%	1,2%	3,3%
<b>2015</b>	1.998	5.329	11%	29%	1,6%	4,4%

Note-se que uma vez que a oferta de biodiesel a partir da matéria-prima dos agricultores familiares fosse utilizada para substituir parcialmente a demanda de óleo diesel estimada para o Nordeste esse fato acarretaria uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> na faixa de 1% a 10%, considerando o cenário 1 e na faixa de 1% a 29% no cenário 2 (Tabela 54). Em relação à demanda por óleo diesel estimada para o Brasil, evidentemente essa relação seria menos favorável, porém não desprezível, alcançando no máximo 1,6% no cenário 1 e 4% no cenário 2, em 2015 (Tabela 54).

As estimativas das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares deve ser considerado um valor teórico, uma vez que, como comentado, não foram contabilizadas as emissões associadas da produção e distribuição desse biodiesel, mas da mesma forma não foram consideradas as emissões da produção e distribuição do óleo diesel. Entretanto, na análise apresentada foram considerados apenas o potencial de mitigação de CO<sub>2</sub> do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido Nordestino, indicando a importância deste biocombustível na mitigação de GEE no Brasil como um todo. Vale destacar novamente que o sistema produtivo praticado pelos agricultores familiares do semi-árido, em geral, é menos intensivo em energia e insumos, podendo esse fato representar uma vantagem ímpar em termos de redução de emissão de carbono durante a fase agrícola da cadeia



produtiva de biodiesel. Assim, como pode ser confirmado nesses cenários, o potencial de mitigação do uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel é significativo, podendo funcionar como medida de mitigação de Gases de Efeito Estufa brasileira.

Nesse sentido passa-se a comentar sobre alguns aspectos importantes do mercado de carbono e sua relação com a produção e uso do biodiesel, a fim de indicar o potencial valor econômico das emissões evitadas pelo uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel.

#### **5.4. Mercado de Carbono**

O Protocolo de Quioto abre a possibilidade de utilização de mecanismos de mercado para que os países desenvolvidos possam atingir suas metas de redução de gases de efeito estufa. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL é o mecanismo que permite a participação voluntária de países em desenvolvimento e permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento e a posterior venda das reduções certificadas de emissão para serem utilizadas pelos países desenvolvidos, como modo suplementar para cumprirem suas metas. Portanto, o MDL permite que países e empresas localizadas nos países Anexo 1 (países desenvolvidos) possam investir em atividades de projetos que reduzam as emissões de GEE nos países em desenvolvimento, reduzindo assim seus custos de abatimento e atendendo as suas metas de redução, ao mesmo tempo em que auxiliam na promoção do desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento.

Os requisitos e procedimentos necessários para enquadramento de um projeto sob o MDL são inúmeros, entretanto essa discussão foge ao escopo desse trabalho. No entanto cabe mencionar que para um projeto se qualificar como MDL e receber os créditos de carbono (Redução Certificada de Emissões - RCEs) deve satisfazer os critérios estabelecidos no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, nos Acordos de Marraqueche e outras decisões adotadas nas Conferências das Partes e pelo Conselho Executivo do MDL, a saber:

- Participação do país deve ser voluntária.
- Deve haver a aprovação do país no qual o projeto é implementado.

- Contribua para os objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pelo país no qual o projeto é implementado (país hospedeiro).
- Reduzam as emissões de gases de efeito estufa de forma adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto MDL.
- Contabilizem o aumento de emissões de gases de efeito estufa que ocorrem fora dos limites das atividades de projeto e que sejam mensuráveis e atribuíveis a essas atividades.
- Leve em consideração a opinião de todos os atores<sup>128</sup> que sofrerão os impactos das atividades de projeto.
- Não causem impactos colaterais negativos ao meio ambiente local.
- Proporcionem benefícios mensuráveis, reais e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima.
- Estejam relacionadas aos gases e setores definidos no Anexo A do Protocolo de Quioto (já comentados na seção 2.2) ou se refiram às atividades de projetos de reflorestamento e florestamento.

Os projetos de MDL podem ser classificados em três tipos básicos. Primeiro, os projetos de seqüestro ou fixação de carbono (florestamento e reflorestamento) que resultam da formação de estoques dinâmicos de carbono fixado em formações florestais. O segundo tipo é conhecido como de eficiência energética, resultante de ações de redução de consumo de energia ou prevenção de emissões geradas por fontes não-renováveis (como a substituição do consumo de energia elétrica produzida em usinas termelétricas por unidades eólicas ou solares). Um terceiro tipo é a redução de emissões de carbono pela redução no consumo de combustíveis fósseis por uso de fontes renováveis, como no caso do biodiesel.

Dessa forma a substituição de um combustível fóssil por um renovável (biodiesel), para utilização no setor de transporte, ou na geração de energia, pode ser objeto de uma atividade de projeto MDL. No entanto, como comentado acima e estabelecido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, para ser elegível como projeto MDL, as reduções de

---

<sup>128</sup> Atores são o público, incluindo os indivíduos, os grupos e as comunidades afetadas ou com possibilidade de serem afetadas pela atividade de projeto do MDL

emissões devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto.

Para estabelecer o que se define como redução adicional, deve-se considerar um cenário de referência (Linha de Base) e a redução deve ser adicional a essa Linha de Base. No caso do Brasil, como já comentado, ficou determinado que entre 2005 e 2007 o uso do B2 (2% de biodiesel e 98% de diesel) seria opcional. Entre 2008 e 2012 a adição de 2% do biodiesel ao diesel passaria a ser obrigatória e, a partir de 2013, a utilização do B5 (5% de biodiesel e 95% de diesel) se torna obrigatória (Lei No. 11.097 de 13 de janeiro de 2005). Assim, no que tange à definição de adicionalidade, para que um projeto de substituição parcial ou total de combustível fóssil por biodiesel no setor de transporte seja adicional, é necessário considerar, a partir de 2008, como cenário de referência (Linha de Base) as adições obrigatórias (de biodiesel ao diesel) previstas em Lei no Brasil.

Porém, de acordo com o Decreto nº. 5.448, de 20 de maio de 2005, é permitida a adição de biodiesel ao óleo diesel de origem fóssil em quantidade superior a 2%, em volume, em todo o território nacional, quando o combustível resultante da mistura for destinado a teste ou uso em frotas veiculares cativas ou específicas; transporte aquaviário ou ferroviário; geração de energia elétrica e processo industrial específico. Dessa forma, a princípio, projetos que contemplem o uso de biodiesel em substituição ao óleo diesel, caso preencham os requisitos e procedimentos para se enquadrar como projetos MDL, estarão, de acordo com a legislação do Governo Brasileiro para o setor, aptos a pleitear créditos de redução de carbono sob o MDL.

Os projetos MDL podem ser de pequena escala ou de grande escala. Os projetos de grande escala são normalmente mais atrativos, em função da quantidade maior de RCEs geradas, o que reduz os custos de transação por unidade de emissões reduzidas, mas em compensação as exigências para esses projetos são maiores, bem como, o montante dos custos de transação. Os projetos de pequena escala, de acordo com os Procedimentos e

Modalidades para Projetos de pequena escala do MDL, são definidos em quatro tipos, apresentados a seguir<sup>129</sup>, sendo os demais considerados de grande escala.

(I) Projetos de energia renovável com uma capacidade máxima de geração da ordem de até 15 MW (ou um equivalente apropriado).

(II) Projetos de eficiência energética, que reduzam o consumo de energia pelo lado da oferta e/ou da demanda, até o equivalente a 60 GWh/ano.

(III) Outras atividades de projeto que tanto reduzam as emissões antropogênicas por fontes e o limite de emissão evitada corresponda a 60 kt CO<sub>2</sub>/ano.

Para projetos de pequena escala de utilização de biodiesel (energia renovável), não existe a necessidade de contabilizar as emissões geradas no ciclo de vida do biocombustível, mas, somente as geradas na combustão. Caso o projeto não se enquadre como um projeto de pequena escala seria necessário a avaliação do ciclo de vida dos combustíveis considerados.

Além disso, dependendo da forma como são estruturados, os projetos relacionados ao biodiesel poderão gerar créditos passíveis de comercialização em outros mercados de crédito de carbono, que estabelecem um regime de mercado para negociar créditos diferentes das regras estabelecidas no Protocolo de Quioto, como por exemplo, no *Chicago Climate Exchange-CCX*, e *Prototype Carbon Fund-PCF*.

Quanto aos preços de crédito de carbono, vários fatores influenciam o preço negociado, por exemplo, se o mercado é em “conformidade com Quioto” ou “não conformidade com Quioto” (se em conformidade, os preços em geral são maiores); a viabilidade do projeto; a credibilidade da qualidade do projeto e a garantia de entrega ao longo do período do projeto; o apoio e cooperação do país onde o projeto se desenvolve e os benefícios sociais e ambientais adicionais. De toda forma, o preço médio (ponderado)

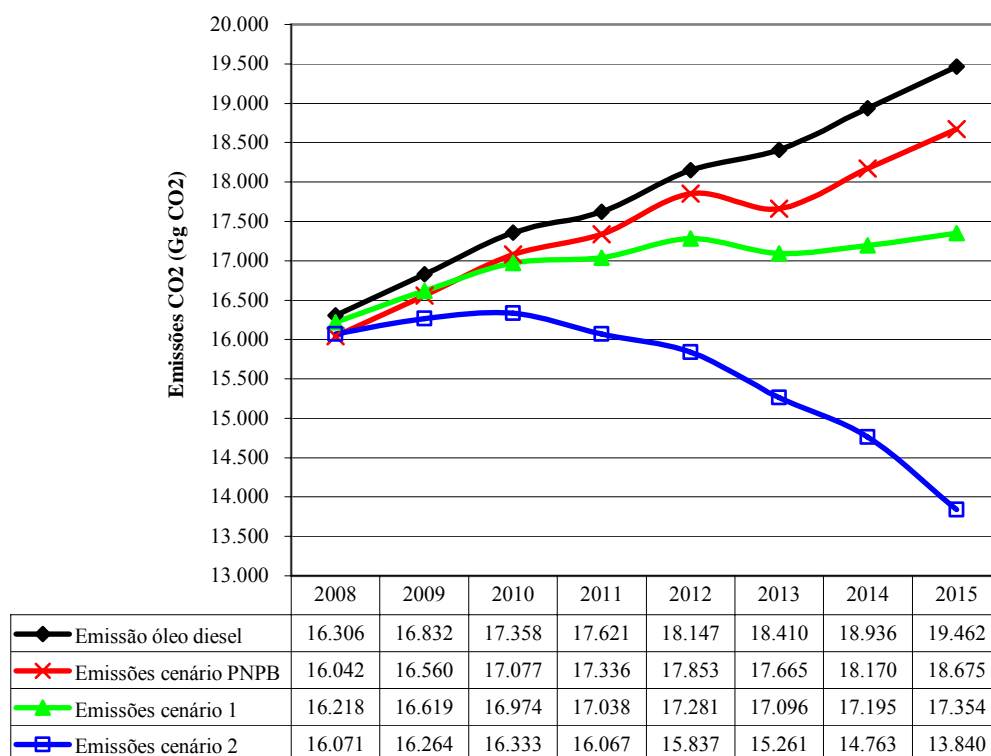
---

<sup>129</sup> De acordo com a Decisão/ CMP 2 da UNFCCC que revisa as definições de atividades de projetos de pequena escala sob o MDL. Disponível em: [www.cdm.unfccc.int/projects/pac/pac\\_ssc.html](http://www.cdm.unfccc.int/projects/pac/pac_ssc.html)

das transações baseadas em projeto no ano de 2006 foi cerca de U\$ 10/ t CO<sub>2</sub> a 20/t CO<sub>2</sub> de acordo com o Banco Mundial (2006).

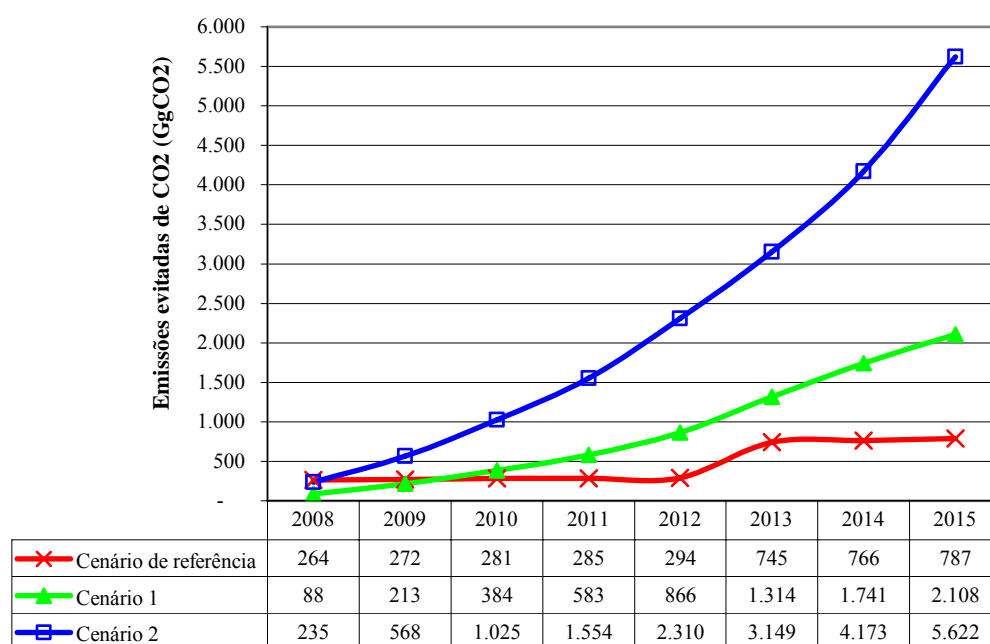
Pelo até aqui exposto pode-se afirmar que projetos de redução de emissões de GEE pelo uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido em substituição ao óleo diesel provavelmente teriam inúmeros benefícios socioambientais adicionais que tenderiam a ser valorizados no mercado. A venda desses créditos de carbono poderia ser revertida para os produtores familiares, apoiando inclusive ações de sustentabilidade da produção agrícola. Também poderia ser valorizado o sequestro de carbono proporcionado pela ampliação das lavouras, principalmente se adotados sistemas produtivos sustentáveis, abolindo o uso de queimadas, com a adoção de práticas de plantio direto e outras técnicas de conservação do solo e água. A utilização de práticas agrícolas sustentáveis é interessante tanto do ponto de vista da convivência com as condições edafoclimáticas do semi-árido, quanto em termos de fixação do carbono nos solos. Em suma, a possibilidade de gerar créditos de carbono poderá incentivar a produção sustentável de biodiesel, uma vez que existe um mercado para apoiar esse tipo de iniciativa.

A fim de ilustrar o potencial de redução de emissão de CO<sub>2</sub>, o Gráfico 9, a seguir, apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao uso do óleo diesel demandado no Nordeste de 2008 a 2015. Nestes gráficos estão ilustradas também as emissões de CO<sub>2</sub> caso fossem utilizados a mistura B2 (2% de biodiesel e 98% de diesel) de 2008 a 2012 e a mistura B5 (5% biodiesel e 95% óleo diesel) de 2013 a 2015 (cenário PNPB), bem como, as emissões de CO<sub>2</sub> caso fosse adicionada todo o biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido (cenários 1 e cenário 2).



**Gráfico 9.-** Emissões anuais de CO<sub>2</sub> pelo uso do óleo diesel, biodiesel, conforme previsto no PNPB e biodiesel, produzido a partir dos agricultores familiares do semi-árido (cenário 1 e cenário 2)

Considerando como cenário de referência às emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao uso do biodiesel como previsto no PNPB (B2 a partir de 2008 até 2012 e B5 a partir de 2013), as emissões evitadas pelo uso do biodiesel produzido a partir da matéria-prima fornecida pelos agricultores familiares (cenário 1 e cenário 2) adicionais as prevista em Lei, poderiam, teoricamente, gerar créditos de carbono. O Gráfico 10 apresenta as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> referente ao cenário de referência e pelo uso do biodiesel produzido nos cenário 1 e cenário 2.



**Gráfico 10.-** Emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelo uso de biodiesel em substituição ao diesel no cenário de referência (PNPB) e no Cenário 1 e 2

Assim, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em cada cenário, adicionais às emissões evitadas no cenário de referência (Gráfico 10) seriam as quantidades máximas (teórica) de créditos de carbono oriundo do uso biodiesel produzido a partir do cultivo de oleaginosas por agricultores familiares. A Tabela 55 apresenta os créditos gerados pela emissão de CO<sub>2</sub> evitada pelo uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido em relação ao cenário de referência.

**Tabela 55**– Emissões Evitadas e Créditos gerados pelo uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido (Cenários de oferta), 2008 a 2015

Ano	Emissões Evitadas (ktCO <sub>2</sub> )			Créditos Gerados <sup>1</sup>	
	Cenário referência (PNPB)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
<b>2008</b>	264	88	235	-	-
<b>2009</b>	272	213	568	-	296
<b>2010</b>	281	384	1.025	103	744
<b>2011</b>	285	583	1.554	298	1.269
<b>2012</b>	294	866	2.310	573	2.017
<b>2013</b>	745	1.181	3.149	569	2.404
<b>2014</b>	766	1.565	4.173	975	3.407
<b>2015</b>	787	2.108	5.622	1.321	4.835

**Nota:** <sup>1</sup>Cada unidade de Redução Certificada de Emissões - RCEs (crédito carbono) corresponde a um ktCO<sub>2</sub> reduzido (emissão evitada)

Note-se na Tabela 55, que caso as emissões evitadas pelo uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel fossem contabilizadas como créditos de carbono, no cenário 1, somente a partir do ano de 2010 seriam gerados créditos de carbono, uma vez que até esse ano as emissões de carbono evitadas não seriam adicionais ao cenário de referência. Seguindo o mesmo raciocínio, no cenário 2, seriam gerados créditos a partir de 2009 (Tabela 55). Note-se, também, que no ano de 2013, quando a mistura do biodiesel ao diesel passa a ser de 5% (B5), as emissões evitadas no cenário de referência aumentam consideravelmente e os créditos gerados sofrem uma redução (Tabela 55). Considerando a hipótese do uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar do semi-árido gerar créditos de carbono, a renda bruta correspondente, no caso que esses créditos valessem de U\$ 10,00 a U\$ 20,00 por tonelada, está apresentada na Tabela 56.



**Tabela 56**-Renda bruta da comercialização dos créditos de carbono, gerado pelo uso do biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares

Ano	Renda bruta (mil U\$)		Renda bruta (mil U\$)	
	Crédito de carbono		Crédito de carbono	
	Cenário 1 (U\$10/tCO <sub>2</sub> )	Cenário 1 (U\$20/tCO <sub>2</sub> )	Cenário 2 (U\$10/tCO <sub>2</sub> )	Cenário 2 (U\$20/tCO <sub>2</sub> )
<b>2008</b>	-	-	-	-
<b>2009</b>	-	-	2.960	5.920
<b>2010</b>	1.030	2.060	7.440	14.880
<b>2011</b>	2.980	5.960	12.690	25.380
<b>2012</b>	5.730	11.460	20.170	40.340
<b>2013</b>	5.690	11.380	24.040	48.080
<b>2014</b>	9.750	19.500	34.070	68.140
<b>2015</b>	13.210	26.420	48.350	96.700

O montante da renda bruta anual da comercialização dos créditos de carbono gerados pelo uso do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar pode parecer a primeira vista alto. Porém, pode-se considerar a renda gerada por metro cúbico de biodiesel produzido, conforme apresentado na Tabela 57, a seguir.

**Tabela 57**-Renda bruta da comercialização dos créditos de carbono por metro cúbico de biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares

	Cenário 1		Cenário 2	
	Biodiesel (mil m <sup>3</sup> )	U\$/ m <sup>3</sup> (*)	Biodiesel (mil m <sup>3</sup> )	U\$/ m <sup>3</sup> (*)
<b>2008</b>	42	-	111	-
<b>2009</b>	100	-	267	11,09
<b>2010</b>	181	5,69	482	15,44
<b>2011</b>	274	10,88	731	17,36
<b>2012</b>	407	14,08	1.086	18,57
<b>2013</b>	555	10,25	1.480	16,24
<b>2014</b>	736	13,25	1.962	17,36
<b>2015</b>	991	13,33	2.643	18,29

\* Considerando o valor de venda de créditos como de U\$ 10,00/tCO<sub>2</sub>

A partir dos dados Tabela 57, pode-se concluir que a renda oriunda dos créditos de carbono por metro cúbico de biodiesel (1.000 litros), varia de cerca de U\$ 5,00 a U\$ 13,00 por m<sup>3</sup> de biodiesel produzido, no cenário 1, quando se considera o valor dos créditos como de U\$10/tCO<sub>2</sub>. No cenário 2, os rendimentos oriundos dos créditos de carbono estariam na faixa de U\$ 11,00 a U\$ 18,00/ m<sup>3</sup> de biodiesel produzido. Note-se que esses valores são brutos, os custos incorridos para gerar esses créditos de carbono, incluindo os custos para elaboração de projetos MDL (Documento de Concepção de Projeto- DCP<sup>130</sup>) e auditorias não foram considerados. Porém, na Tabela 57 foram apresentados renda gerada pela venda de créditos a U\$ 10/tCO<sub>2</sub>, como comentado o valor dos créditos de carbono de projetos como ganhos sociais e ambientais adicionais tende a alcançar maior valor de mercado. Ressalta-se que a renda dos créditos de carbono comercializados poderia ser parcialmente revertida para os agricultores familiares do semi-árido, contribuindo para a sustentabilidade desses projetos.

## 5.5. Análise do potencial de contribuição para a adaptação às Mudanças Climáticas

<sup>130</sup> Project Design Document (PDD)

Um dos aspectos mais importante quando se analisa a redução da vulnerabilidade às mudanças climáticas é a geração de renda e emprego agrícola, resultantes da inclusão dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel. Embora os cenários de oferta de matéria prima apresentados tenham sido elaborados antes do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel estar organizado suficientemente para contribuir com a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel, pode-se supor que haveria um aumento na renda líquida para os agricultores familiares e a geração de emprego no campo. Provavelmente, no futuro, a renda líquida gerada pelo plantio de oleaginosas por agricultores familiares vai variar em função do preço alcançado pelo óleo vegetal para a produção de biodiesel. Os preços de praticados para as oleaginosas, atualmente, ainda não refletem o mercado de biodiesel.

A fim de estimar a renda líquida gerada pelo plantio de oleaginosas no semi-árido para a produção de biodiesel dos cenários de oferta, foi considerado como elemento de avaliação, para cada oleaginosa, a relação entre a renda líquida (R\$/ha) e a produtividade média alcançada pelo plantio de cada oleaginosa (kg/ha), conforme dados apresentados na Tabela 33, deste capítulo. Para a mamona a renda líquida alcançada pelo plantio dessa oleaginosa em consórcio com feijão. Assim obteve-se um valor monetário por quilograma para cada oleaginosa plantada (R\$/kg). Multiplicando-se esse valor pela variação da produtividade das oleaginosas (kg/ha) (Tabela 48), pode-se estimar a renda líquida pelo plantio de cada oleaginosa em R\$/ha/ano. Feitas essas considerações, a Tabela 58 apresenta a estimativa da renda gerada pelo plantio de cada oleaginosa em função do aumento da produtividade agrícola assumido na elaboração dos cenários.

**Tabela 58** - Estimativa da Renda líquida alcançada pelo plantio de oleaginosas nos cenários de oferta de matéria-prima (R\$/ha/ano)

	<b>Mamona</b>	<b>Algodão</b>	<b>Amendoim</b>	<b>Girassol</b>	<b>Gergelim</b>
<b>2008</b>	223,06	248,45	86,25	6,40	183,65
<b>2009</b>	255,05	288,44	101,69	7,23	210,51
<b>2010</b>	291,63	334,86	119,89	8,17	241,30
<b>2011</b>	333,46	388,76	141,35	9,22	276,60
<b>2012</b>	381,29	451,33	166,65	10,41	317,05
<b>2013</b>	435,97	523,97	196,49	11,76	363,42
<b>2014</b>	498,50	608,30	231,66	13,28	416,57
<b>2015</b>	570,00	706,20	273,13	15,00	477,50

Note-se na Tabela 58 que a estimativa de renda líquida por quantidade de oleaginosa produzida (kg/ha/ano), varia em função do aumento da produtividade, ou seja, nessa análise quanto maior for o rendimento agrícola, maior será a renda gerada pelo agricultor familiar. A geração de renda pelo plantio de cada uma dessas oleaginosas foi apresentada na Tabela 28 (capítulo 4) e segue a mesma lógica na Tabela 58, ou seja, a oleaginosa mais rentável seria o algodão e a menos atrativa o girassol. Assim, conforme a produtividade agrícola fosse aumentando, também aumentaria a renda líquida por hectare, como pode ser notado nos resultados do exercício apresentado na Tabela 58. A partir dos dados da Tabela 58 pode ser estimada a renda líquida total, considerando a expansão da área plantada com cada oleaginosa nos cenários de oferta de matéria-prima (conforme dados da Tabela 46 e 47), conforme apresentado na Tabela 59, a seguir.

**Tabela 59-** Estimativa da Renda líquida total nos Cenários de oferta de matéria-prima (R\$)

	Ano	Mamona	Algodão	Amendoim	Girassol	Gergelim	TOTAL
<b>Cenário 1</b>	2008	34.351	4.224	-	-	-	38.575
	2009	69.884	9.807	3.457	-	-	83.148
	2010	90.114	17.078	9.232	417	6.274	123.114
	2011	137.052	26.824	14.559	636	9.404	188.476
	2012	163.573	38.814	28.497	1.343	13.633	245.861
	2013	224.089	53.969	40.477	1.811	18.534	338.880
	2014	299.100	72.996	55.598	2.390	24.994	455.079
	2015	312.930	96.749	93.684	4.110	32.948	540.420
<b>Cenário 2</b>	Ano	Mamona	Algodão	Amendoim	Girassol	Gergelim	TOTAL
	2008	91.678	11.429	-	-	-	103.106
	2009	186.442	26.248	9.254	-	-	221.943
	2010	240.011	45.876	24.697	1.119	16.650	328.354
	2011	365.806	71.143	38.730	1.687	25.171	502.536
	2012	435.814	103.355	76.159	3.571	36.144	655.042
	2013	597.715	143.568	107.873	4.833	49.789	903.778
	2014	797.600	194.656	148.262	6.374	66.651	1.213.544
	2015	833.910	258.469	249.641	10.965	87.383	1.440.368

Para a estimativa do número de famílias envolvidas e renda anual gerada por familiar, assumiu-se que, em média, cada família de agricultor teria 8 hectares de terra no cenário 1 e, portanto plantaria 3ha com oleaginosas (sistema agro-silvo-pastoril recomendado para o semi-árido). No cenário 2 foi considerado que cada família teria em média 15 ha (área média das propriedades familiares no Nordeste) e, portanto, cerca de 6 hectares seriam plantados com oleaginosas. Na Tabela 60 constam a estimativa do número de famílias envolvidas com plantio de oleaginosas no semi-árido e renda média anual auferida por cada família, considerando cada cenário de oferta.

**Tabela 60**– Área plantada com oleaginosas (de oferta), Estimativa do Número de famílias e da Renda média anual e mensal por família

	Ano	Área plantada (1000 ha)	Nº famílias	Renda familiar anual (R\$/família/ano)	Renda familiar mensal (R\$/família/mês)
<b>Cenário 1</b>	2008	171	57.000	677,00	56,00
	2009	343	114.333	727,00	61,00
	2010	514	171.333	719,00	60,00
	2011	686	228.667	824,00	69,00
	2012	857	285.667	861,00	72,00
	2013	1.028	342.667	989,00	82,00
	2014	1.200	400.000	1.138,00	95,00
	2015	1.371	457.000	1.183,00	99,00
<b>Cenário 2</b>	2008	457	76.167	1.354,00	113,00
	2009	914	152.333	1.457,00	121,00
	2010	1.371	228.500	1.437,00	120,00
	2011	1.828	304.667	1.649,00	137,00
	2012	2.286	381.000	1.719,00	143,00
	2013	2.743	457.167	1.977,00	165,00
	2014	3.200	533.333	2.275,00	190,00
	2015	3.657	609.500	2.363,00	197,00

Note-se na Tabela 60 que a expansão da área plantada com oleaginosas, conforme considerada nessa análise, ocorreria pela inclusão de um número crescente de famílias na cadeia produtiva do biodiesel. Evidentemente essa situação só seria possível com o apoio do Governo para a inserção crescente dos agricultores familiares. Note-se, também, que a renda gerada pelo plantio de oleaginosas, quando se considera o custo de produção variável e o preço mínimo das oleaginosas em 2007, não parece muito atrativa para o agricultor familiar. Considerando o salário mínimo como de R\$380,00, no máximo o agricultor familiar ganharia em média cerca de 50% do salário mínimo por mês, plantando 6 hectares com oleaginosas.

Entretanto, o aumento da renda dos agricultores familiares do semi-árido pelo plantio de oleaginosas para produção de biodiesel é muito incerto, uma vez que depende do preço de mercado e da tecnologia utilizada na produção, dos fatores climáticos, da localização da propriedade (distância para o escoamento da produção), entre outros fatores. Embora os resultados dessa análise apontem, no geral, para um modesto aumento da renda do agricultor familiar pelo plantio de oleaginosas, as novas opções agrícolas para o uso da terra no semi-árido não são muitas e o plantio de oleaginosas pode ser compatível à

continuidade dos sistemas produtivos tradicionalmente desenvolvidos no semi-árido. Reconhece-se, assim que a rentabilidade do plantio de oleaginosas poderia servir, atualmente, como uma espécie de poupança, complementando os baixos rendimentos auferidos pela maioria desses agricultores.

Claramente o fortalecimento dos agricultores familiares do semi-árido ultrapassa a geração de renda em nível de propriedade ou empregos gerados. Como comentado, o PNPB foi pioneiro enquanto Programa Nacional em incluir a participação ativa dos representantes da associação de agricultores familiares na formulação e na execução dos contratos de venda de matéria-prima, o que valoriza de forma excepcional a importância dos representantes dos agricultores familiares. Também o fato dos movimentos sociais e sindicatos dos trabalhadores rurais estarem na maioria das regiões apoiando o plantio de oleaginosas para produção de biodiesel, como é o caso do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra, Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA), Via Campesina, da Federação dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (FETRAF), da Confederação Nacional dos Trabalhadores da Agricultura (CONTAG), só para citar alguns, aumentam as chances de mobilização de famílias de agricultores para o plantio de oleaginosas. Os movimentos dispõem de informações detalhadas sobre a produtividade destas oleaginosas em suas regiões, assim como o número de hectares por família de que dispõem os agricultores familiares.

Do ponto de vista das empresas produtoras do biodiesel, a competitividade dessas empresas depende, também, da capacidade da adoção de processos de gestão comprometido com as demandas e expectativas das suas diferentes partes interessadas. Nesse sentido, as usinas de biodiesel que estão operando no Nordeste, particularmente as detentoras do Selo Combustível Social (SCS), estão mobilizadas em ações de responsabilidade social junto aos agricultores familiares, além dos seus compromissos para a manutenção do SCS. Evidentemente são previsíveis algumas falhas nesse processo, mas também é esperado que algumas dessas ações resultem no fortalecimento dos agricultores familiares.

A cadeia produtiva do biodiesel ainda está se estabelecendo e não é possível avaliar de uma maneira objetiva o número de empregos diretos e indiretos decorrentes da

instalação dessa cadeia. No entanto, é esperado um aumento de oportunidades de emprego, não só pela produção de oleaginosas e seu processamento, mais também pela valorização de subprodutos e pelo aumento da oferta de serviços técnicos e de acompanhamento, logística de transporte, instalações de infra-estruturas, que fatalmente acompanharão as instalações das usinas de biodiesel nessa região.

Dessa forma haveria um aumento também das oportunidades de empregos não agrícolas, cuja importância é crescente na composição da renda do agricultor familiar. A cadeia produtiva do biodiesel pode funcionar como vetor de desenvolvimento das pequenas cidades do semi-árido. Essas cidades, hoje consideradas como “rururbanas”, ou seja, uma extensão das áreas rurais, sem condições de abrigar o contingente crescente da população que se desloca do campo, poderiam ter suas economias dinamizadas pela proximidade com as indústrias de esmagamento (muitas da época do ciclo do algodão, que voltariam a operar) e produção de biodiesel.

O deslocamento para as grandes cidades também é uma outra realidade que se afigura ingrata para a população do semi-árido. No geral, os agricultores que migram para as grandes cidades conseguem, no máximo sub-empregos nas cidades grandes, geralmente se instalando em encostas, áreas com risco de desmoronamento, em habitações de padrões inseguros, com acesso restrito aos serviços de saúde e educação. Em outras palavras, essa população continuaria altamente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas. A maioria dos desastres naturais está diretamente associada aos extremos climáticos - tais como enchentes, inundações, secas, deslizamentos de terras, mudança no ritmo das chuvas. Como na maioria das vezes a emigração ocorre em virtude da absoluta falta de condições necessárias para os agricultores se manterem no campo, quase sempre condicionado pelos fatores climáticos e pela falta de acesso aos recursos produtivos, uma nova opção de inserção no mercado, pelo plantio de oleaginosas, pode contribuir para a fixação de uma parcela desses agricultores no campo. Assim, os resultados dessa análise indicam que mesmo que, em um primeiro momento, a geração de renda geração de renda não seja muito significativa, haveria um ganho potencial em termos de fixação dos agricultores familiares no campo.



## **5.6. Análise da Viabilidade dos cenários de oferta de matéria-prima, de produção de biodiesel pelos agricultores familiares do semi-árido**

O ambiente semi-árido é heterogêneo, marcado por diversos micro-climas que se caracterizam em diferentes tipos de solo, diferentes graus de fertilidade natural do solo, de condições de conservação do solo e da água e de acesso aos recursos hídricos. Da mesma forma, considera-se que os agricultores familiares não formam um grupo homogêneo e, sim grupos que se diferem entre si, quanto ao acesso aos recursos produtivos, níveis culturais e práticas agrícolas adotadas. Para alguns, o fator limitante é o acesso a terra, para outros ao crédito/ capital/ energia elétrica/ assistência técnica/ logística para escoamento da produção/mão-de-obra, entre os diversos fatores que, em conjunto ou isoladamente determinam a possibilidade do plantio de oleaginosas por esses agricultores familiares. Portanto, a diversificação do plantio de oleaginosas assumidas na elaboração dos cenários não se refere apenas ao plantio em consórcio ou rotação de culturas ou mesmo ao aproveitamento da área agrícola da mesma propriedade familiar com diversas espécies oleaginosas. Mas, também, refere-se ao leque de opções, atualmente com domínio tecnológico, para a produção de biodiesel que, de acordo com as especificidades socioeconômica e ambiental locais, deveriam ser privilegiadas para ampliar a inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel.

O conhecimento sobre a potencialidade das principais oleaginosas aptas à região semi-árida encontra-se, ainda, em seu estágio inicial, com exceção da mamona e do algodão, sobre as quais se dispõe de certa experiência produtiva, zoneamento e um primeiro esforço de pesquisas e desenvolvimento. No entanto, quanto mais diversificado for o fornecimento de matéria-prima para a produção de biodiesel, melhor, pois mais provável seria a mobilização de recursos para o desenvolvimento de novas variedades adaptadas ao semi-árido e o zoneamento agrícola de um maior número de oleaginosas, beneficiando também um maior número de produtores pela instalação da cadeia produtiva do biodiesel nessa região. Estas oleaginosas podem ser manejadas em regime de consórcio, têm baixa exigência em solos e nutrientes e, contribuem para a melhora das condições do solo, pela rotação de cultura e de diversos aspectos relacionados à ciclagem de nutrientes.

O consórcio entre oleaginosas e cultivos alimentares, como feijão e o milho auxiliam na garantia da segurança alimentar desses agricultores. Além disso, nas condições climáticas do semi-árido, o consórcio diminui os riscos de quebra de safra, pois essas culturas ciclos produtivos e demandas hídricas diferentes. Também com o consórcio, o uso e ocupação do solo são otimizados, aspecto importantíssimo para a grande parcela de agricultores que dispõe de pouca terra. Dentre as diversas vantagens do consórcio, destaca-se que as práticas agrícolas como a calagem (quando é o caso), preparo do solo, adubação e demais tratamentos culturais, servem para duas culturas, portanto há economia de trabalho e insumos.

Nos cenários de oferta foi assumido que a maioria do biodiesel seria produzida a partir da mamona nos anos iniciais. Como já comentado, a utilização do óleo de mamona até no máximo de 20% na produção de biodiesel, a princípio, não acarretaria problemas técnicos de produção ou dificuldades para se atingir as especificações previstas pela ANP (desde que esse biodiesel seja utilizado em misturas “*blends*”). Porém, mesmo no caso que os agricultores familiares forneçam predominantemente mamona para produção de biodiesel, enquanto a participação dos agricultores familiares não for efetiva como fornecedores de matéria-prima para a produção de biodiesel em cada usina, o óleo de mamona representará apenas uma pequena parcela do total de insumos utilizados para a produção de biodiesel. Por exemplo, no cenário 1, em 2008, praticamente 100% do biodiesel produzido a partir da agricultura familiar seria de mamona (Gráfico 7). No entanto, o total de biodiesel produzido a partir do fornecimento de matéria-prima dos agricultores familiares representa 13% do total produzido no Nordeste neste ano (Tabela 52). Assim, o biodiesel produzido a partir da mamona, representaria em torno de 13% do total de biodiesel produzido no Nordeste em 2008, portanto uma pequena proporção do total do produzido no Nordeste. A partir de 2009 no cenário 1 e desde 2008 no cenário 2, mais de 20% do total do biodiesel produzido no Nordeste seria a partir da mamona.

Nota-se novamente que a Petrobrás está desenvolvendo tecnologias para solucionar os problemas técnicos do uso do óleo de mamona para a produção de biodiesel. Na planta-piloto de Guamaré- RN, dessa empresa, vem sendo testada a rota semente de produção

de biodiesel, ou seja, a produção de biodiesel a partir da própria semente de mamona, triturada e misturada com óleo (de mamona). A Petrobrás tem divulgado que essa tecnologia possibilitará a produção de biodiesel com 100% de mamona dentro dos padrões exigidos pela ANP e a preços competitivos. Por último, deve-se salientar o risco do óleo da mamona não ser usado para produção de biodiesel, pois esse óleo é uma *commoditie*, com preços determinados pelas flutuações do mercado internacional e com alto custo de oportunidade, podendo ser utilizado em diversas outras aplicações, consideradas, inclusive, mais “nobres” do que a produção de biodiesel.

Quanto ao algodão, uma vez que a expansão área com essa oleaginosa seria predominantemente em propriedades de agricultores mais capitalizados, deve ser considerado que esses produtores poderão ter maior acesso as novas cultivares de algodão, ou seja, às variedades melhoradas exclusivamente para produção de óleo ou mesmo às sementes transgênicas. As pesquisas nessa área estão em andamento na EMBRAPA Algodão. A variedade será, inclusive, mais resistente às pragas e doenças e está sendo desenvolvida em função da atratividade do caroço de algodão como matéria-prima para a produção de biodiesel. Ressalta-se que tanto a possibilidade de efetuar o plantio direto do algodão quanto a rotação de culturas (especialmente recomendado para diminuir ataques de pragas nessa cultura), diminui o custo de produção do algodão. Assim, não obstante os problemas relacionados ao cultivo do algodão no semi-árido, a expansão da área de plantio do algodão descrita nos cenários parece coerente com a possibilidade do caroço de algodão ter confirmada sua vantagem como matéria-prima para produção de biodiesel e ainda de agregar valor ao caroço do algodão (subproduto da fibra).

O fato de ter sido assumido uma expansão significativa da área plantada com o amendoim, girassol e gergelim, oleaginosas atualmente cultivadas de forma difusa no Nordeste, concorda com a viabilidade desses cultivos no semi-árido para a produção de biodiesel, como comentado no capítulo 4. Vale ressaltar que os cenários de oferta de matéria-prima foram elaborados para o semi-árido como um todo, assim na possibilidade, por exemplo, das condições edafoclimáticas do estado de Pernambuco não serem favoráveis à cultura do girassol, essa cultura seria plantada no semi-árido da Bahia e Rio Grande do Norte.

Outrossim, cabe considerar a disponibilidade de mão-de-obra para o cultivo das oleaginosas sem conflito com as atividades produtivas tradicionalmente desenvolvidas pelos agricultores familiares do semi-árido. As principais atividades produtivas no semi-árido ocorrem entre os meses de outubro a janeiro (dependendo da época do início das chuvas) com o preparo do solo e a semeadura e nos de junho-julho (colheita do milho). Os cuidados com o rebanho se distribuem de forma relativamente equitativa durante o ano (são mais duros na época seca), mas ocupam poucas horas diárias e são desenvolvidos, na maioria das vezes, pelas mulheres e crianças. Assim, a princípio o plantio de oleaginosas por agricultores familiares não alteram significativamente o balanço de utilização da força de trabalho familiar, uma vez que podem ser conciliadas com as atividades tradicionalmente desenvolvidas por esses agricultores.

Cabe ressaltar ainda que no cálculo do biodiesel produzido pelo plantio de oleaginosas não foram consideradas perdas decorrentes da ocorrência de estiagens e outros fatores, como pragas e doenças que poderiam resultar na quebra de safra dessas oleaginosas. Em outras palavras, toda a área plantada com oleaginosas apresentada nos cenários de oferta de matéria-prima seria destinada à produção de biodiesel, sem considerar quebra de safras ou outros tipos de perdas. Tampouco foram incluídos nessa análise os possíveis problemas de logística, incluindo o esmagamento das oleaginosas para obtenção de óleo. Sabe-se que um dos gargalos para o desenvolvimento de programas de biocombustíveis no Brasil relaciona-se com a infra-estrutura logística, particularmente quando se considera as perspectivas de expansão, a fim de se evitar o adensamento excessivo das unidades e cultivos, bem como promover a descentralização e a inserção de novos produtores na cadeia produtiva de biodiesel. Em suma, foi considerado que o aumento da área plantada estaria atrelado a um promissor mercado do biodiesel, que apoiaria os agricultores familiares do semi-árido, como fornecedores de matéria-prima (governo e iniciativa privada) e que ocorreria, concomitantemente, a organização da cadeia produtiva do biodiesel. Os atores da cadeia do biodiesel se articulariam a partir de instâncias institucionais e de mercado. As políticas públicas influenciariam a construção e a dinâmica da cadeia produtiva, em particular pela instituição do Selo Combustível Social, que determina a inclusão dos produtores familiares na cadeia produtiva do biodiesel.

Os cenários de oferta de matéria-prima elaborados devem ser considerados como uma alternativa (não a única, nem a melhor ou a mais provável) para o uso e ocupação do solo estimado como disponível para o plantio de oleaginosas no semi-árido a fim de fornecer matéria-prima para a produção de biodiesel até o ano de 2015. As chances de esses cenários ocorrerem na prática dependem de uma série de condições e fatores que não foram analisadas aqui. As mudanças climáticas projetadas para o semi-árido podem inviabilizar qualquer atividade agrícola a médio e longo prazo, como exposto no capítulo 3 por Nobre *et al* (2007). No entanto, na elaboração dos cenários, como o período considerado foi relativamente curto (2008 a 2015), essa hipótese não foi considerada.

## Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações

### 6.1. Conclusões

A diversificação dos sistemas produtivos dos agricultores familiares do semi-árido pelo plantio de oleaginosas para atender o mercado de biodiesel é uma alternativa que contribui para a sustentabilidade da agricultura familiar no semi-árido. A sustentabilidade da agricultura familiar do semi-árido requer a adoção de sistemas produtivos diversificados, que visam à preservação e a valorização das atividades agropecuárias voltadas para o mercado e para o autoconsumo das famílias. Tanto no contexto da variabilidade climática atual, quanto frente às mudanças climáticas projetadas, os produtores especializados correm riscos elevados de perda da produção e podem enfrentar dificuldades em sua própria reprodução enquanto agricultores.

Dentre as oleaginosas selecionadas para análise na Tese, o amendoim, o gergelim e o girassol ainda são plantados de forma marginal no Nordeste e não possuem zoneamento agrícola para a região, mas, apresentam-se como promissoras opções para a diversificação do cultivo de oleaginosas para a produção de biodiesel, entre os agricultores familiares do semi-árido. Porém, a importância dessas oleaginosas no mercado alimentício representa um obstáculo para a destinação dessas oleaginosas para a produção de biodiesel. Quanto ao caroço do algodão, cultivo já difundido na região entre os agricultores mais capitalizados da região, sua destinação como matéria-prima para a produção de biodiesel agrega valor ao subproduto do algodão em pluma. Entretanto essa cultura é mais exigente em recursos (hídricos, solos) e insumos, o que dificulta a viabilização de seu cultivo entre a maioria dos agricultores familiares do semi-árido. Já a mamona, oleaginosa tradicionalmente cultivada pelos agricultores familiares do semi-árido, seu uso na produção de biodiesel apresenta restrições, principalmente relacionadas à qualidade do biodiesel gerado, mas também ao alto valor atual do óleo de mamona no mercado.

O plantio das oleaginosas analisadas contribui para a melhora das condições do solo, pela rotação de cultura, consorciamento e diversos aspectos relacionados à ciclagem de nutrientes. A utilização de oleaginosas beneficia o sistema agrícola devido ao aumento

da oferta do nitrogênio no solo para os cultivos subsequentes (amendoim, gergelim e girassol), liberação de substâncias inseticidas (gergelim), criação de abelhas (girassol), resistência à seca devido às raízes profundas e ramificadas (algodão, gergelim e girassol) e adição de matéria orgânica proveniente dos restos culturais. Com a rotação de cultura e o consórcio há otimização do uso e ocupação do solo e dos recursos produtivos, beneficiando os sistemas produtivos dos agricultores familiares. Entre as oleaginosas investigadas, o algodão e o girassol são as que apresentam menor compatibilidade ao sistema de consórcio.

Todas as oleaginosas analisadas, com exceção do algodão, apresentam altos rendimentos em óleo, em torno 50% e características físico-químicas condizentes com a produção do biodiesel (com exceção da mamona), ou seja, são competitivas no mercado de biodiesel, permitindo a produção de biodiesel nos padrões especificados pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A estimativa de custos do biodiesel a partir das oleaginosas selecionadas indica a produção de biodiesel proveniente do algodão como o mais competitivo, seguido do girassol e da mamona.

A renda gerada pelo plantio dessas oleaginosas ainda é muito incerta. Vários fatores influenciam a geração de renda, como a tecnologia utilizada na produção, os fatores climáticos, a localização da propriedade (distância para escoamento da produção) entre outros. O custo final de produção para a maioria dessas oleaginosas ainda engloba um alto custo de aprendizagem e suas produtividades refletem o baixo nível tecnológico praticado pelos agricultores familiares do semi-árido. A estimativa de renda líquida pelo cultivo de oleaginosas (R\$/ha) adotando apenas o custo variável de implantação das culturas (algodão, amendoim, gergelim, girassol, mamona e manona + feijão) indica maior potencial de geração de renda para o cultivo do amendoim, seguido do algodão, gergelim e da mamona consorciada com feijão. O cultivo do girassol e da mamona (solteira) resultam na menor renda líquida por unidade de área para o produtor familiar do semi-árido.

A atratividade econômica para o cultivo da grande maioria das oleaginosas adaptadas ao semi-árido ainda está atrelada à perspectiva de valorização do mercado e do maior apoio ao agricultor familiar local, com forte expectativa na política governamental de uso do

biodiesel na matriz energética brasileira. A existência de um mercado consumidor interno para as oleaginosas, o aumento do preço do Petróleo e o reconhecimento internacional da necessidade de produção de biocombustíveis, como opção para a substituição dos combustíveis fósseis, tendem a contribuir para a valorização das oleaginosas como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel. Os agricultores familiares têm capacidade para atender a demanda por matéria-prima para produção de biodiesel, desde que haja o apoio e o incentivo do Governo para a inserção desses agricultores na cadeia produtiva de biodiesel.

A cadeia produtiva do biodiesel ainda está se estabelecendo e ainda não é possível avaliar de uma maneira objetiva o número de empregos diretos e indiretos decorrentes da instalação dessa cadeia produtiva. No entanto, é esperado um aumento de oportunidades de trabalho, não só pela produção de oleaginosas e seu processamento, como também pela valorização dos subprodutos da extração do óleo e pelo aumento da oferta de serviços técnicos e de acompanhamento, logística de transporte, instalações de infra-estruturas. Dessa forma haverá também um aumento das oportunidades de empregos não agrícolas, cuja importância é crescente na composição da renda do agricultor familiar e, a conseqüente dinamização da econômica na região.

A estimativa da área máxima de expansão para o cultivo de oleaginosas por agricultores familiares no semi-árido nordestino foi de 3,7 milhões de hectares, considerando as áreas com potencial para desenvolvimento agrícola que estão improdutivas. A área máxima para expansão do cultivo de oleaginosas é de 1,3 milhões de hectares quando se considera o sistema agro-silvo-pastoril, recomendado para agricultura familiar do semi-árido, ou seja, quando em cada propriedade agrícola, 3 ha destinam-se a pastagem, 2 ha ao pousio (lavouras temporárias em descanso) e 3 ha as atividades agrícolas. Essa expansão do cultivo de oleaginosas nas propriedades familiares do semi-árido não representa uma ameaça à produção de alimentos, uma vez que a agricultura familiar ocupava cerca de 34 Mha (a grande maioria dessa área no semi-árido), sendo que cerca de 6 Mha eram de áreas agrícolas não utilizadas em 1996.

Além da disponibilidade de área para a expansão agrícola no semi-árido, a maioria das oleaginosas pode ser consorciada aos cultivos alimentares otimizando o uso e a



ocupação do solo. Em termos de uso e ocupação do solo, o girassol ocupa a menor área para fornecimento de matéria prima capaz de atender a demanda estimada de biodiesel no Nordeste (prevista no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB), seguido do amendoim, mamona, gergelim e do algodão. Os subprodutos derivados da extração do óleo (tortas e farelos) podem beneficiar a produção de alimentos, tanto como adubos, quanto na alimentação animal (com exceção da mamona).

A questão da mitigação de GEE pelo uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel depende do balanço energético da produção de biodiesel. O balanço energético do biodiesel varia em decorrência dos diferentes níveis de manejo e técnicas empregadas na produção das diversas fontes de matéria-prima, técnicas de produção de biodiesel e outros gastos energéticos. Porém, nos cenários de mitigação elaborados, apenas considerando as emissões de CO<sub>2</sub> da queima do diesel e do biodiesel (metanol), a redução de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de biodiesel corresponde de 10% a 29% das emissões associadas a uso de óleo diesel demandado no Nordeste em 2015.

Os benefícios decorrentes da inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel ultrapassam a geração de renda e emprego, estendendo-se à organização da cadeia produtiva, diversificação de culturas, oportunidade de difusão de técnicas agrícolas sustentáveis, fomento ao cooperativismo, fortalecimento dos movimentos sociais, fixação do homem ao campo e do próprio desenvolvimento regional. Todos esses aspectos contribuem para diminuir a vulnerabilidade dos agricultores familiares às mudanças climáticas.

O uso de biodiesel produzido a partir da matéria-prima dos agricultores familiares do semi-árido em substituição ao óleo diesel contribui para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, de diversos outros Gases de Efeito Estufa (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) e de poluentes locais (aerosóis, fuligens), sendo uma estratégia de mitigação às mudanças climáticas. A potencial comercialização de créditos de carbono pelo uso de biodiesel produzido a partir dos agricultores familiares do semi-árido seria valorizada no mercado de carbono, devido aos benefícios ambientais e sociais adicionais dessa iniciativa. Essa renda pode ser parcialmente revertida para os agricultores familiares do semi-árido, significando um estímulo a mais para a produção sustentável de biodiesel.

## 6.1. Recomendações

Em um cenário futuro de mudanças climáticas algumas medidas de adaptação que beneficiariam esses agricultores são muito parecidas às que deveriam ser utilizadas hoje em dia. Para o semi-árido podem ser citadas como estratégias benéficas, tanto diante da variabilidade climática atual, quanto das mudanças climáticas futuras: a seleção e melhoramento das cultivares adaptadas ao clima mais quente e seco; a alteração na época de plantio e colheita em função das previsões climáticas e a adequação das práticas culturais, com especial atenção para o aumento da matéria orgânica no solo, as técnicas de irrigação de salvamento e pequenos barreiros e açudes, entre outras técnicas simples de convivência com semi-árido. Evidentemente, seria necessário concomitantemente, o aprimoramento e maior difusão entre os agricultores da previsão meteorológica de médio e longo prazo, a fim de adaptar as atividades agrícolas a variabilidade do clima. Os conhecimentos da estação chuvosa, do total de chuva precipitada, de como elas se distribuem ao longo do tempo, são de primordial importância para que se possa majorar a produção agrícola local.

Nesse sentido, coloca-se como fundamental o zoneamento edafoclimático e topográfico, que permita a seleção das regiões e sub-regiões de maior aptidão para a implementação das culturas de interesse, bem como zoneamento ambiental, para a identificação das áreas de preservação permanente, parques naturais, disponibilidades de recursos naturais para as atividades agroindustriais (água e energia elétrica); infra-estrutura requerida para as cadeias logísticas dos insumos e produtos.

A adoção de práticas sustentáveis de manejo do solo, como o plantio direto, adubação orgânica, redução das queimadas, fixação biológica de nitrogênio, são fundamentais para a sustentabilidade dessas atividades, na medida em que haveria o aumento da produtividade agrícola e, ao mesmo tempo, se reduziriam os impactos ambientais da expansão agrícola sobre o frágil e degradado ambiente semi-árido. Ressalta-se o diferencial em termos de redução de emissões de GEE para atmosfera (mitigação), dessas práticas agrícolas, que, em última análise, permitiriam a produção de biodiesel com balanço energético mais favorável, que pode vir a ser valorizado, por exemplo, no mercado de carbono.

Assim, o ideal seria que a expansão necessária da oferta de matéria-prima para a produção de biodiesel fosse acompanhada não só do aumento dos benefícios sociais, mas também da atenuação dos impactos ambientais, decorrentes da expansão agrícola. Do ponto de vista da agricultura familiar no semi-árido a pressão para a rápida expansão agrícola, pode conferir a este sistema total ineficiência quanto à sustentação ecológica e econômica em médio prazo. A agricultura familiar do semi-árido é tradicionalmente desenvolvida na base da seqüência derrubada – queimada – plantio – pousio, os solos são na maioria degradados e o acesso aos recursos produtivos é limitado a uma pequena parcela desses agricultores.

O aumento de produção agrícola envolve não somente a disponibilidade de terras e mão de obra, mas também insumos como corretivos de solos, fertilizante, defensivos, instalações de beneficiamento, além da infra-estrutura de transporte e armazenagem. Portanto, não basta apenas definir metas de produção, os agricultores precisam ter tempo hábil para aderir ao programa, de forma sustentável. É preciso criar condições para uma possível otimização das diversas fontes de matéria-prima disponíveis. São necessários estudo a fim de possibilitar a oferta escalonada de matéria-prima para produção de biodiesel, considerando o caráter sazonal da produção agrícola e, conseqüentemente, estimulando a diversificação do plantio de oleaginosas.

Neste caso seria fundamental o incentivo ao cooperativismo, visando contribuir para a organização do processo produtivo, agregar valor as oleaginosas, aumentar o acesso ao crédito, facilidade de acesso aos equipamentos e insumos necessários a produção do biodiesel, bem como para o escoamento da produção. As cooperativas funcionariam para auxiliar na resolução dos problemas de logística, para armazenagem e movimentação de estoques, considerando o caráter sazonal da produção e a necessidade de regularizar a oferta de matéria-prima nesse mercado que exige maior escala de produção. O fomento ao associativismo e às cooperativas agrícolas, sem dúvida, teria um forte impacto positivo no setor agrícola com um todo. Também a comercialização direta dos sub-produtos da extração de óleo seria facilitada pelas cooperativas, promovendo o aumento da rentabilidade dos agricultores para os produtores rurais.

Ainda não existe legislação específica sobre a forma de descarte da glicerina, que será gerado em volume crescente com a produção de biodiesel. Tanto o descarte em rios como sua queima gera problemas ambientais. Nos rios, a glicerina provoca consumo excessivo de oxigênio, podendo matar a população aquática, enquanto a queima libera na atmosfera a cloreína (sais), substância cancerígena<sup>131</sup>. A destinação desta glicerina pode gerar passivo ambiental. Devem-se buscar soluções tecnológicas, para os processos contínuos de obtenção de biodiesel (industrial) de forma competitiva.

Também é necessário ressaltar sobre a importância do desenvolvimento de instrumentos de certificação socio-ambiental do biodiesel, quando a produção responsável ganharia mais um estímulo e passaria a ser avaliada de acordo com os padrões e normas estabelecidas e de forma independente aos envolvidos no processo produtivo.

Do ponto de vista territorial, pode haver uma grande mudança em áreas situadas dentro de um raio de 100 km das unidades produtoras de biodiesel, com isso o perfil produtivo do agricultor e também de consumidores é alterado. Os impactos positivos e negativos deverão ser avaliados, pois essas mudanças indicam, por exemplo, que haveria uma maior demanda por alimentos em função do deslocamento de pessoas para os locais de instalação das usinas de biodiesel.

No caso da mamona, o fato de a ricina ser tóxica e da torta e dos restos culturais da mamona não poderem ser utilizados na alimentação animal, vem despertando uma desconfiança entre os agricultores do semi-árido. Muitos proprietários não aceitam arrendar suas terras para os agricultores que pretendem plantar mamona, com medo de perder seus rebanhos. A determinação da não toxicidade da planta é condição necessária a sua efetiva integração ao sistema produtivo praticado pelos produtores do semi-árido.

O estudo do balanço energético do biodiesel, oriundo de diversas fontes de matéria-prima, decorrente de diferentes níveis de manejo empregado, ainda se encontra em estágio inicial no Brasil. Seriam interessantes esforços nesse sentido, principalmente a fim de avaliar o potencial real de mitigação de Gases de Efeito Estufa pelo uso do biodiesel. Esforços no sentido de desenvolver estudos da análise do ciclo de vida

---

<sup>131</sup> Vidal Vieira, comunicação pessoal

(ACV) dos biocombustíveis e do combustível fósseis, também são necessários. Cabe ressaltar que a pressão sobre os recursos florestais e do solo decorrentes da expansão agrícola desordenada poderão ser associadas à produção de matéria-prima para esse biocombustível, decorrendo em menores ganhos em termos de mitigação do efeito estufa.

As perspectivas de captação de recursos adicionais por meio do mercado de carbono são avaliadas como promissoras. Estas poderiam ser em parte destinadas a ações de redução da pobreza ou ao fortalecimento das comunidades mais vulneráveis às mudanças climáticas. Os projetos de mitigação nessa área podem ter um valor especial no mercado de carbono, considerando o forte componente de redução da pobreza, inclusive considerando que parte da renda oriunda dos créditos de carbono poderia ser revertida a esses agricultores.

A implementação de projetos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas seja dentro das regras de Quioto ou de outros mercados, poderia auxiliar o governo a traçar metas claras de adaptação e mitigação às mudanças climáticas para uma segunda fase do PNPB (após 2013), que por sinal, coincide com o segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto. Esses projetos deveriam ser incentivados pelo Governo, através da Comissão Interministerial da Mudança Climática Global, como uma forma de dar uma nova visibilidade e importância ao próprio Programa Brasileiro de Produção e Uso de Biodiesel e corrigir possíveis distorções do Programa. Os projetos nesse setor possibilitariam que as estratégias sinérgicas de adaptação e mitigação fossem avaliadas e monitoradas de forma mais pontual, assim os aspectos produtivos e os ganhos sociais e ambientais pelo plantio de oleaginosas no semi-árido para produção de biodiesel poderiam ser privilegiados.

Novas metas e regras referentes ao compromisso internacional às mudanças climáticas vão surgir, as questões das estratégias sinérgicas de adaptação e mitigação tendem a ser cada vez mais valorizadas. Indica-se aqui uma oportunidade, pela produção de biodiesel a partir do plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido. Certamente a mobilização nesse sentido irá contribuir para o desenvolvimento de uma das regiões mais vulneráveis as mudanças climáticas do país, promovendo o aumento da oferta

desse combustível renovável para uso regional e possivelmente gerando excedentes para comercialização em outros mercados. Esse esforço poderá resultar na integração da política climática à agenda de desenvolvimento sustentável do Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

- ABIOVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS., 2007. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/> .Acesso em maio de 2007.
- AB'SABER, A. N., 1999. "Sertões e Sertanejos: uma Geografia Humana Sofrida". In: *Dossiê Nordeste Seco, Revista Estudos Avançados, 13 (36)*, Instituto de Estudos Avançados/IEA, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.
- ABRAMOVAY, R., MAGALHÃES, R., 2007. *O acesso dos agricultores familiares aos mercados de biodiesel: parcerias entre grandes empresas e movimentos sociais*. Plural Pesquisa e Consultoria/Departamento de Economia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 22p.
- ADGER, W.N.; HUQ, S.; BROWN, K.; CONWAY, D.; HULME, M., 2003. "Adaptation to Climate Change in the Developing World". In: *Progress in Development Studies 3*, 179-195.
- ADGER, W. N.; ADGER, W. N; ARNELL, N. W.; TOMPKINS, E. L., 2007. "Successful Adaptation to Climate Change across Scales". In: *Global Environmental Change, no. 15*, pp.77-86.
- AGRAWALA, S. 2004. "Adaptation, Development Assistance and Planning: Challenges and Opportunities". In: *IDS Bulletin 35(3): July*, 50-54.
- ALMEIDA NETO, J. A. de; CRUZ, R. S. DA; ALVES J. M., MOURA, M. de; PIRES, S. R.; PARENTE E. JR., 2004. "Balanço Energético de Ésteres Metílicos e Etílicos de Óleo de Mamona". In: *Congresso Brasileiro de Mamona, 1*, Campina Grande, PB. Anais. Embrapa Algodão, CD-ROM.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B., 2005. "Impactos da Variabilidade Climática na agricultura de subsistência do estado do ceará". In: *Agricultura e Pecuária*. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME. 26 p

- AMABILE, R. F., 2002. “Girassol, uma oleaginosa de múltiplos usos”. *Circular técnica n° 20*. EMBRAPA Cerrados. Planaltina-DF.
- AMARAL J. A. B., 2006a. “Municípios Aptos e Época de Plantio para Cultura do Amendoim no Estado de Pernambuco, Segundo o Zoneamento de Riscos Climáticos”. In: *Comunicado Técnico 299/MAPA*. Campina Grande PB.
- AMARAL, W. A., 2006. “Matérias-Primas para Produção de Biodiesel”. In: *Relatório sobre o Seminário Internews Biodiesel e H-Bio-Pólo Brasileiro de Biocombustíveis*.
- AMBRIZZI T., ROCHA R., MARENGO J, A. I. PISNITCHENKO, L. A., 2007. Cenários Regionalizados de Clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de Clima usando Três Modelos Regionais. *Relatório n° 3: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade*, Subprojeto: “Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI”. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio, Brasília, DF.
- AMORIM NETO, M. da S. ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M., 2001. Clima e solo. In: BELTRÃO, N.E. de M; VIEIRA, D.J. 2001. “Clima e Solo”. In: *O Agronegócio Gergelim no Brasil*, pp. 93-107. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília, DF.
- ANP- Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis., 2007. Disponível em [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Acesso em maio de 2007
- ARAÚJO, C. A. S. 1994. *Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância à salinidade em solução nutritiva*. Dissertação Mestrado, 87p., UFV, Viçosa, MG.
- ARAÚJO, J. M. de; SANTOS, R. C. dos; FARIAS, F. J. C.; SOUZA, J. M. de., 1992. Diagnóstico da cultura do amendoim nos municípios de Mogeiro, Itabaiana e Pilar-PB. *Relatório técnico anual 1990-1991* EMBRAPA. Algodão Campina Grande, PB p. 430-434.



- ARAÚJO, R. M., 2005. “Controle de Qualidade de Biodiesel”. In: *Seminário Temático de Caracterização e Controle Temático de Qualidade*, ANP/Superintendência de Qualidade de Produtos, junho.
- ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P.de; PEREIRA, W. E. ; SEVERINO, L. S., 2004. “Cultivo do Pinhão Manso (*Jatrofa curcas* L.) como Alternativa para o Semi-Árido Nordeste”. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 8, n. 1, p. 789-799, Campina Grande, PB.
- ASHTON, J; WANG, X., 2003. “Equity and Climate: in Principle and Practice”. In: *Pew Center on Global Climate Change*, 24 p.
- ASSAD, E. D., 2002. “Rede Virtual de Agrometeorologia como Suporte ao Zoneamento Agrícola”. In: *XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis*. CD-ROM, EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG.
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; LIMA, E.F.V., 1997 “Recomendações Técnicas para o Cultivo da Mamoneira *Ricinus communis* L. no Nordeste do Brasil”. In: *Circular Técnica*, 25, 39 p., EMBRAPA-CNPA, Campina Grande/PB.
- BARROS, M. A. L.; SANTOS, R.C. dos; ARAÚJO, J.M. de; SANTOS, J.W. dos; OLIVEIRA, S.R. de M., 1994. “Diagnóstico Preliminar da Cultura do Amendoim no Estado da Bahia”. In: *Relatório Técnico Anual 1992-1993*, pp. 381-383, EMBRAPA Algodão, Campina Grande, PB.
- BARROS, M. A. L.; SANTOS, R.F. dos; BENATI, T.; FIRMINO, P. de T., 2001. “Importância econômica e social”. In: *Beltrão, N.E. de M; Vieia, D.J. O Agronegócio Gergelim no Brasil*. Informação Tecnológica, p. 21-35, EMBRAPA, Brasília, DF.
- BARROS, M. A. L; SANTOS R. F. DOS, FERREIRA, P. F. 2004. “Análise dos Sistemas de Produção Identificados para os Algodões de Sequeiro e Irrigado no Estado da Paraíba”. In: *Congresso Brasileiro de Algodão*. EMBRAPA Algodão. Campina Grande, PB.  
[www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos\\_cba4/011.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba4/011.pdf)

- BEG, N.; MORLOT J. C.; DAVIDSON, O.; AFRANE-OKESSE, Y.; TYANI, L.; DENTON F.; SOKONA Y; THOMAS J.P.; LA ROVERE, E. L.; PARIKH, J. K.; PARIKH, K.; RAHMAN, A. A. 2002. "Linkages Between Climate Change and Sustainable". *Global Environmental Change* 12, p. 25-40
- BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E.C.; LIMA, E.F. 1994. "Gergelim Cultura no Trópico Semi-Árido Nordeste". *Circular Técnica*, 18, 52p. EMBRAPA Algodão, Campina Grande, PB.
- BELTRÃO, N.E. de M. 1995. "Importância da Cultura do Gergelim para Região Nordeste". *CNPA Informa*. n. 19, 5p., Campina Grande, PB.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L.C. 1999. "Os Múltiplos Usos do Óleo da Mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a Importância do seu Cultivo no Brasil". In: *Fibras e Óleos*, n. 31, p. 7, Campina Grande, PB.
- BELTRÃO, N. E. de M. 1999. "O Agronegócio do Algodão no Brasil". In: *EMBRAPA*, v.1, 1ª. ed., Campina Grande-PB.
- BELTRÃO, N. E. de M. 2001. "Fitologia". In: *Azevedo, D. M. e Lima, E.F. (Ed.). O Agronegócio da Mamona no Brasil. EMBRAPA Algodão Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica*, pp. 37-61, Campina Grande/PB.
- BELTRÃO, N.E. de M. 2001. "Origem e História". In: *Beltrão, N.E. de M; Vieia, D.J., O Agronegócio Gergelim no Brasil*, p. 17-20, Brasília, DF.
- BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W.V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. RIBEIRO F., 2006. O Cultivo Sustentável da Mamona no Semi-Árido Brasileiro. EMBRAPA Algodão, Circular Técnica, 84, 22p., Campina Grande/PB.
- BELTRÃO, N. E de M. 2006. "Considerações Gerais sobre o Pinhão Manso (*Jatrofa curcas* L.) e a Necessidade Urgente de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovações Tecnológicas para esta Planta nas Condições Brasileiras". 4p. Campina Grande, PB,
- BEN- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. 2006. Ministério de Minas e Energia.

- BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS F. S.; FREITAS, J. B. S; TEÓFILO, E. M. 2004. “Avaliação da Qualidade das Sementes de Moringa Oleifera Lam. durante o Armazenamento”. *Ciência agrotécnica.*, v. 28, n. 6, p. 1240-1246, Lavras, MG.
- BIODIESEL BR. 2007. Disponível em [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com). Acesso em 05/06/2007
- BRASIL. 2003. Casa Civil da Presidência da República. Grupo de Trabalho Interministerial – *GTI. Relatório Final – Anexo II*. Brasília-DF: Imprensa oficial. 32 p.
- BUAINAIN A. M.; ROMEIRO A. R.; GUANZIROLI C. 2003. “Agricultura Familiar e o Novo Mundo Rural”. *Sociologias*, ano 5, nº 10, jul/dez., p.312-347. Porto Alegre, RS.
- BUCHMANN, J.; MOURA, A.D.; HIRATA, M.H. “A study of the influence of extra-tropical latitudes systems on the climatic variability on Northeast Brazil”. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.1, p-11-17, 1986
- BURTON, I. 1994. “Deconstructing Adaptation... and Reconstructing”. *Delta* 5(1), 14-15
- BURTON, I., HUQ, S., LIM, B., PILIFOSOVA, O., SCHIPPER, E.L., 2002. “From Impacts Assessment to Adaptation Priorities: the Shaping of Adaptation Policy”. *Climate Policy* 2, pp. 145-159.
- CALVASIN JUNIOR, C. P. 2001. A cultura do girassol. Guaíba Agropecuária. 69 p.
- CAMPOS, A.; CARMELIO, E. de C. 2006. “Biodiesel e Agricultura Familiar no Brasil: Resultados Socioeconômicos e Expectativa Futura”. In *Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior-MDIC/Instituto Euvaldo Lodi-IEL/Núcleo Central*. Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior-14: O Futuro da Indústria: Biodiesel, pp. 49-66
- CAMPOS, C. P. 2001. “A conservação das Florestas no Brasil, Mudança do Clima e o Mecanismo de desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto”. Tese Mestrado. COPPE/UFRJ 169p.

- CAMPOS, J. N. B. 1995. “Vulnerabilidades do Semi-Árido às Secas, sob o ponto de vista dos Recursos Hídricos”. *Projeto Áridas RH*, Seplan/PR, Brasília, DF.
- CAMPOS, J. N. B. 1997. “Vulnerabilidades Hidrológicas do Semi-Árido às Secas”. In: *Planejamento e Políticas Públicas n. 16*, pp 261-298. FBDS. Rio de Janeiro, RJ
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T.de C.; LIMA, H. V. C., 1994. “Secas no Nordeste diante de um cenário de mudanças climáticas”. In: *Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, II*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 479p. p.20-26, Fortaleza, CE
- CARVALHO, B. C. L. de; PEIXOTO, S. E.; OLIVEIRA, E. A. S., 2006. “Potencialidades das Oleaginosas Cultivadas no Estado da Bahia para a Produção de Biodiesel”. Disponível em: [www.ebda.ba.gov.br](http://www.ebda.ba.gov.br).
- CARVALHO, L.R.V.de; SILVA, J.C.R.D.A.; SANTOS, P. dos. 1990. “Mecanização conservacionista – noções básicas”. Coordenadoria de assistência Técnica Integral. Campinas- SP p. 93-117.
- CARVALHO, O. de. 1994. “Avaliação dos programas de desenvolvimento regional”. *Estudo realizado no âmbito do Grupo de Políticas de Desenvolvimento e Modelo de Gestão do Projeto ÁRIDAS (Nordeste.)*. SEPLAN-PR/IICA, Brasília, DF.
- CARVALHO, O. de (Coord); EGLER, C.A.G; MATTOS, M.C.L., 1994. “Variabilidade climática e planejamento da ação governamental no Nordeste semi-árido”. In: *SEPLAN-PR/IICCA*. Brasília-DF
- CARVALHO, O. de, SANTOS, A. J. 2003. “Contribuição da “Nova Sudene” para o Desenvolvimento da Região Semi-Árida do Nordeste”. *Relatório Final, 09 de junho, Grupo de Trabalho Interministerial para a Reconstrução da Nova Sudene*, Ministério da Integração Nacional/Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, Recife, PE.

- CARVALHO, O., EGLER, C. A. G. 2003. “Alternativas de Desenvolvimento para o Nordeste Semi-Árido”, 204 p. Ministério da Fazenda, Banco do Nordeste do Brasil.
- CASTRO, A. A. 1999 “Extração, caracterização físico-químico, nutricional e reológica do azeite do coco babaçu (*Orbignya spp*)”. *Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola*. Campina Grande-PB. 65 p
- CASTRO, C de; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A., 1997. “Cultura do Girassol: Tecnologia de Produção”. *Documentos*, 67, 19p. EMBRAPA/CNPSo. Londrina, PR.
- CASTRO, H. F. de; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C. dos; AGUIAR, C. L. de., 2004. “Modificação de Óleos e Gorduras por Biotransformação”. *Química Nova*, Vol. 27, No. 1, 146-156.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/ESALQ/USP. 2006. “Quanto Custa Produzir Biodiesel?”. Disponível em: [www.cepea.esalq.usp.br](http://www.cepea.esalq.usp.br).
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento, 2007. Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em maio 2007.
- CONFALONIERE, U. E. C. 2005. “Mudanças Climáticas e Saúde Humana”. In: *Poppe, M. K.; La Rovere, E. L. (Org.). Mudança do Clima. Brasília: NAE, 2005, v. 1, p. 166-171*
- CORREA, M. P. 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. MA/IBDF, 1984. v. 5, 322p., Rio de Janeiro, RJ.
- CORRÊA, S. M. 2005. “Efeito do Biodiesel na Qualidade do Ar nas Grandes Cidades”. In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel*, pp. 929-934, Universidade Federal de Lavras e Prefeitura Municipal de Varginha, MG.

- COSTA NETO, P. R., ROSSI, L. F. S.. 2000. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel através da Transesterificação de Óleo de Soja usado em Frituras. In: *Química Nova*, 23(4)
- COSTA, F. C. da; HOESCHL, H. C. 2006. Gestão do Conhecimento na Cadeia Produtiva de Biodiesel. In: *I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel*. Disponível em: [www.biodiesel.gov.br/rede](http://www.biodiesel.gov.br/rede)
- DANTAS, H. J., CANDEIA, R. A.; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, M. C. D.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G., 2006. “Caracterização Físico-Química e Estudo Térmico de Biodiesel Etílico de Algodão”. LCLBio, Departamento de Química, CCEN/UFPB, pp. 231-235, CCET/UFRN.
- DANTAS, M. B. 2006. *Obtenção, Caracterização e Estudo Termoanalítico de Biodiesel de Milho*. Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Dissertação de Mestrado, João Pessoa, PB.
- DAVIDSON, O.; HALSNAES K.. HUQ, S.; KOK, M.; METZ, B.; SOKONA, Y.; VERHAGEN, J., 2003. “The Development and Climate Nexus: the Case of Sub-Saharan Africa”. *Climate Policy* 3S1. S97–S113.
- DIEESE/NEAD-Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos/ Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. 2006. Estatísticas do Meio Rural. MDA. São Paulo.
- DIEESE-Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos; Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. 2006. Estatísticas do Meio Rural. MDA, São Paulo, SP
- DOE- U.S DEPARTMENT OF ENERGY. 1999. “Carbon Sequestration Research and Development”. Disponível em [www.doe.gov/bridge](http://www.doe.gov/bridge)
- DUBEUX, C. B. S. 2006. “Emissões Evitadas e Cenários Futuros de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo”, *Relatório nº 5, janeiro. Contrato 014/SVMA/2004/, Secretaria do Verde e do Meio Ambiente(SVMA)/Centro Clima/LIMA/PPE/COPPE/UFRJ*.

- DUBEUX, C. B. S. 2007. Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Municípios Brasileiros: Metodologias para Elaboração de Inventários Setoriais e Cenários de Emissões como Instrumentos de Planejamento. *Tese de doutorado. PPE/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro – RJ. 247p
- DUQUE, J. G. 2001. *O Nordeste e as Lavouras Xerófilas*. ESAM/Fundação Guimarães Duque, 3ª ed., 316 p., Mossoró, RN.
- EBB – European Biodiesel Board. 2007. Disponível em: [www.ebb-eu.org](http://www.ebb-eu.org). Acesso em junho de 2007.
- EBDA - EMPRESA BAIANA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA. 2006. “Orçamento para Custeio de um Hectare de Mamona Solteira, de Feijão Solteiro e de Mamona e feijão consorciados”: Safra 2004/2005”. Irecê, BA.
- EC-EUROPEAN COMMUNITY. 2005. *Adaptation and sustainable development*. Supporting material for the presentation by Finland on behalf of the European Community and its Member States at the Seminar of Government Experts, Bonn, Germany, 16-17 May.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1996. Atlas do Meio Ambiente do Brasil. Editora Terra. 2ªed.160p. Brasília-DF
- EMBRAPA ALGODÃO. 2007. *Cultura do Gergelim para a Agricultura Familiar*. Disponível em: [www.cnpa.embrapa.br/](http://www.cnpa.embrapa.br/). Acesso maio 2007.
- EMBRAPA SOJA. 2007 “A cultura da soja”. Disponível em: [www.cpsa.embrapa.br/](http://www.cpsa.embrapa.br/). Acesso em julho de 2007
- EMBRAPA SOLOS UEP RECIFE. 2000. “Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico” Embrapa Solos – Escritório Regional de Pesquisa e Desenvolvimento Nordeste – ERP/NE Recife - PE; Embrapa Semi-Árido Petrolina –PE. Zane Digital. CD ROM. (Embrapa Solos. Documentos n.14)
- EMERGING MARKETS ON LINE. 2007. Disponível em [www.emerging-markets.com/biodiesel/default.asp](http://www.emerging-markets.com/biodiesel/default.asp). Acesso em julho de 2007.

- EVANGELISTA, F. R. 2000. “A Agricultura Familiar no Brasil e no Nordeste”. *Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste-ETENE*, 12p., Equipe de Estudos de Sistemas Agroindustriais e de Turismo.
- FAGUNDES, M. H. 2002. “Sementes de Amendoim: alguns comentários”. MAPA/Conab/Sugof. Disponível em: [www.conab.gov.br/download/](http://www.conab.gov.br/download/)
- FALCÃO, R. B. M., OLIVEIRA, A. P. da S. 2004. “Desenvolvimento Rural Sustentável - Um Guia Prático para as Comunidades do Semi-Árido Nordestino”. In: *A Seca Nordestina de 1998-1999: da Crise Econômica à Calamidade Social*. Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil, Coleção SUDENE 40 anos, Convênio SUDENE/UFPE/FUNDAJ, Recife, PE.
- FAVIS-MORTLOCK, D.T., GUERRA, A.J.T. 1999. “The Implications of General Circulation Model Estimates of Rainfall for Future Erosion: a Case Study from Brazil”. *Catena* 37, 329–354.
- FEARNSIDE, P. M. 1999. “Forests and Global Warming Mitigation in Brazil: Opportunities in the Brazilian Forest Sector for Responses to Global Warming Under the ‘Clean Development Mechanism’ ”. *Biomass and Bioenergy*, n. 16, pp. 171–189.
- FERRARI, R. A. 2006. “Tecnologias para Produção de Biodiesel”. In: *Seminário Regional sobre Produção e Uso do Biodiesel na Bacia do Paraná III*, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 28 de março, Santa Helena, PR.
- FERREIRA, M de O. 2003. “Crescimento e transformações estruturais da agropecuária Cearense”. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Departamento de Economia Agrícola/Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 118p.
- FIRMINO, P. de T., 1996. *Gergelim: Sistemas de Produção e seu Processo de Verticalização, visando Produtividade no Campo e Melhoria da Qualidade da Alimentação Humana*. EMBRAPA Algodão. (Prêmio Jovem Cientista), Campina Grande, PB.



- FIRMINO, P. de T.; SANTOS, R. F. dos; BARROS, M.A. L.; OLIVEIRA, J. M. C. de. 2003. "Gergelim: Opção para Agricultura Familiar do Semi-Árido Brasileiro" Comunicado Técnico, 198. EMBRAPA Algodão. Campina Grande, PB.
- FIRMINO, P. de T., BELTRÃO, N. E. M., 2003. "A Vez dos Pequenos". *Globo Rural*, edição n. 231, pp-42-51.
- FRANCO, A. A., BALIEIRO, F., 2000. "The Role of Biological Nitrogen Fixation in Land Reclamation Agroecology and Sustainability of Tropical Agriculture". In: *ROCHA MIRANDA, C.E. (Ed.). Transition Global Sustainability: the Contribution of Brazilian Science*, pp. 209-233, Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, RJ.
- FREIRE, R. M. M.; FIRMINO, P. T; SANTOS, R. C., 1998. "Aproveitamento do Amendoim na Dieta Alimentar". *Óleos e Grãos*, nov-dez., p. 17-19.
- FREITAS, M. A. V., 1999. *O Estado das Águas no Brasil. Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos*. Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Sindicato Nacional do Editores de Livros. Rio de Janeiro, 334 p.
- FREITAS, S. M.; MARTINS, S. S.; NOMI, A. K; CAMPOS, A. F., 2005. "Evolução do mercado brasileiro de amendoim". In: *SANTOS, R.C., O agronegócio do amendoim no Brasil, Cap. 1, 451p.*, EMBRAPA Algodão, Campina Grande, PB.
- FUZATTO M. G.; CARVALHO L. H.; CIA E.; SILVA N. M. da; CHIAVEGATO E. J.; LÜDERS R. R., 2005. "Algodão". In: Boletim 200, Centro de Grãos e Fibras, Instituto Agrônomo-IAC/ESALQ/USP, 23de junho.
- GARY YOHE, G., TOL, R. S. J., 2002. "Indicators for Social and Economic Coping Capacity Moving Toward a Working Definition of Adaptive Capacity Development". *Climate Policy* 12, pp. 129-144.
- GATES, D.M. 1983. *Climate Change and its biological consequences*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetss. 279pp
- GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N; CORONATO, R. M. e S., 2006. "Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel", In: *I*

*Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, vol. I, Agricultura, pp. 12-17.*

GODOY, I.J. de; SAVY FILHO, A.; TANG, J.S.; UNGARO, M.R.G.; MARIOTTO, P.R. 1995. Programa integrado de pesquisa. Oleaginosas. São Paulo; Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. 33p.

GONÇALVES N. P.; SATURNINO H. M.; LOPES H. F.; BORGES, H. Q.; SANTOS D. A. 2001. “Arranjo de Fileiras da Mamoneira Consorciada com Algodão, Feijão Caupi, Sorgo, Gergelim, Amendoim e Milho”. EPAMIG - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS CTNM - CENTRO TECNOLÓGICO DO NORTE DE MINAS. Disponível em: [www.epamig.br/downloads.html](http://www.epamig.br/downloads.html)

GONÇALVES N.P; FARIA, M.A.V.de R.; SATURNINO, H.M.; PACHECO,D.D., 2005. “Cultura da Mamoneira”. *Informe Agropecuário*, v. 26, n. 229, p. 28- 32, Belo Horizonte, MG.

GUANZIROLI, C. E. 1998. “Reforma Agrária e Globalização da Economia: o Caso do Brasil”. In: *ECONÔMICA*. pp. 27-51.

GUANZIROLI, C. E., ROMEIRO, A R., BUAINAIN, A.M.; DI SABBATO, A. B., 2001. “Agricultura Familiar e Reforma Agrária no Século XXI”. Ed. Garamond, 284 p., Rio de Janeiro, RJ.

GUIMARÃES NETO, L. 1998. “Ciclos econômicos e desigualdades Regionais no Brasil.” *Cadernos de Estudos Sociais*. Recife, Fundação Joaquim Nabuco, 14(2):315-341, jul./dez., 1998.

HUQ, S. 2005. *Adaptation to Climate Change: A Paper for the International Climate Change Taskforce*. Institute for Public Policy Research, London.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1996. Censo Agropecuário 1995/96.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1996. Pesquisa Agrícola Municipal PAM. Disponível em [www.sidra.ibge.gov.br/bda/PAN](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/PAN). Acesso em abril de 2007

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000. *Indicadores Sociais Mínimos. Aspectos Demográficos*. Fonte: IBGE/DPE/Departamento de Populações e Indicadores Sociais. Divisão de Estatutos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeto UNFPA/BRASIL (BRA/98/P08). Sistema Integrado de Projeções e Estimativas Populacionais e Indicadores Sócio-Demográficos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2004. Síntese de Indicadores Sociais. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/sinteseindicisociais2004](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/sinteseindicisociais2004)

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2005. Pesquisa Agrícola Municipal-PAM. Disponível em [www.sidra.ibge.gov.br/bda/PAM](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/PAM). Acesso em abril de 2007

IEA-INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. 2005. “Agricultura Familiar: Limites do Conceito e Evolução do Crédito,” *José Sidnei Gonçalves, Sueli Alves Moreira de Souza* (Org.). Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br>

IEA-INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2006. *Biofuels for Transport: an International Perspective*. Paris, França. 379pp.

IICA-INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. 2007. “Informe sobre a Situação e Perspectivas da Agroenergia e dos Biocombustíveis no Brasil”. 44p. Disponível em: [www.iica.org.br](http://www.iica.org.br)

INCRA/FAO-INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA/ORGANIZAÇÃO PARA A AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO 1996. *Perfil da Agricultura Familiar no Brasil: Dossiê Estatístico*. 23p. Ministério do Desenvolvimento Agrário(MDA), Brasília, DF.

- INCRA/FAO-INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA/ORGANIZAÇÃO PARA A AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO. 2000. *Novo Retrato da Agricultura Familiar. O Brasil Redescoberto*, 74p. Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento Agrário,
- INCRA-INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA, 2005. *Relatório de Gestão de Exercício*, 71p.
- INCRA-INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. 2007. Disponível em [www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br)
- IPCC., 1990. "Climate Change: The IPCC Scientific Assessment". In: *J.T. Houghton, G.J. Jenkins e J.J. Ephraums (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 365 p.*
- IPCC., 1995. "Climate Change. The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". In: *J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg e K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 p.*
- IPCC., 1996. "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Disponível em: [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm)
- IPCC., 1997. "Greenhouse Gas Inventory Reference Manual: Revised 1996", In: *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Lim, B. et al. (eds). University Press, Cambridge, UK.*
- IPCC., 2000. "Emissions Scenarios 2000" In: *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK, 570 p.*
- IPCC., 2000a. "Land Use, Land-Use Change, and Forestry". In: *A Special Report of the IPCC. R.T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, D. J. Dokken, (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, USA, 377pp.*

- IPCC., 2001. "Climate Change 2001: The Scientific Basis". In *Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; Van der Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. (Eds.): Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 881 p.*
- IPCC., 2001a. "Climate Change, 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability". *Working Group II. TAR: Summary for Policymakers*. Disponível em: [www.meto.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf](http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf). 2001.
- IPCC., 2006. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>
- IPCC., 2007. "Climate Change 2007". Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. AR4: Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>
- IPCC., 2007a. "Mitigation of Climate Change" Working Group III Report Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>
- JBIC-Japan Bank for International Cooperation/MAPA, 2006. Estudos Prospectivos para Fomento dos Biocombustíveis no Brasil. Relatório Final, Abril, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- JORDÃO FILHO, W., 2004. "Implementação de negócios de biodiesel no Brasil: Estudo de Viabilidade técnica e financeira preliminar". In: LEIRAS, A., 2006. *A Cadeia Produtiva do Biodiesel: uma Avaliação Econômica para o Caso da Bahia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 156 p. Rio de Janeiro, RJ.
- JUNG T.Y.; LA ROVERE E. LEBRE; GAJ H.; SHUKLA P. R.; ZHOU DADI 2000. "Structural Changes in Developing Countries and Their Implication for Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions", *Technological Forecasting and Social Change*: 63, 111-136pp

- KALTNER, F., 2007, "O Biodiesel no Brasil". In: *Workshop Conversation International, BNDES/FBDS Artigos temáticos: A Expansão da Agroenergia e seus Impactos sobre os ecossistemas Brasileiros, Rio de Janeiro 26-27 de março de 2007*, pp 140-166.
- KANE, S.; SHOGREN, J. F., 2000. "Linking adaptation and mitigation in climate change policy". *Climate Change* 45 (1), 75–102.
- KATES, R.W., 2000. "Cautionary Tales: Adaptation and the Global Poor". *Climate Change* 45, 5–17.
- KHALIL, C. N. 2006. "As tecnologias de produção de biodiesel". In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel. Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, nº 14*, pp.83-90, STI/MDIC/CNI/IEL, Brasília, DF.
- KLEIN, R., 2002. "Adaptation to Climate Variability and Change: What is Optimal and Appropriate?" In: *C. Giupponi and M. Schechter (eds), Climate Change and the Mediterranean Region: Socio-economics of Impacts, Vulnerability and Adaptation*. Edward Elgar.
- LA ROVERE, E.L; COSTA, R.C. 2000. Socio-Economic and Emission Scenarios for Latin America, In "Second IPCC Regional Expert Meeting on Development, Equity and Sustainability", Havana, Cuba, 23-25 February
- LEIRAS, A., 2006. *A Cadeia Produtiva do Biodiesel: uma Avaliação Econômica para o Caso da Bahia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 156 p. Rio de Janeiro, RJ.
- LEITE, S. P.; CINTRÃO, R.; LASA, C., 2006. *O Meio Rural Baiano como Espaço Privilegiado de Políticas Públicas: uma Análise do Contexto Institucional e do Financiamento das Políticas Rurais*. Convênio SEPLAN-BA e REDES/CPDA-UFRJ.

- LIMA, P. C. R., 2005. “O Biodiesel e o Desenvolvimento Social da Bahia”. In: *Consultoria Legislativa, Câmara dos Deputados, Estudo, setembro, 30 p.*, Brasília, DF.
- MACHADO, R. C. R.; RENA, A. B.; VIEIRA, C. 1976. Efeito da desidratação osmótica no acúmulo de prolina livre em discos foliares de vinte cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista CERES*, Viçosa, v. 23, n. 128, p. 302-309.
- MACHADO, Y.L.; ALBUQUERQUE, M.C.G.; FIRMIANO, L.R.; PARENTE JR., E.J.S.; TORRES, A.E.B.; AZEVEDO, D.C.S.; CAVALCANTE JR., C.L., 2006. “Blends de Biodiesel usando Diferentes Fontes de Biomassa”. In: *I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel*, vol. I. Caracterização e Controle da Qualidade, pp.268-271.
- MAIA G. G.2001. “Velhas secas em novos sertões: continuidade e mudanças na economia do Semi-Árido e dos cerrados nordestinos”. *IPEA*. 34p. Brasília, DF
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. Disponível em: [www.mapa.gov.br](http://www.mapa.gov.br). Acesso em julho de 2007
- MARENGO J. A., NOBRE, C.A., SALATI, E., AMBRIZZI, T., 2007. “Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade”. In: *Sumário Técnico, Sub-projeto “Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI”*. MMA/SBF/DCBio, Brasília, DF.
- MARENGO, J., 2005. “Vulnerabilidade da agricultura do semi-árido à variabilidade natural e a mudanças climáticas”. In: *NAE/Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - nº 3, Fevereiro*, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília, DF.
- MARENGO, J. A., ALVES, L., VALVERDE, M., ROCHA, R., LABORBE, R., 2007. “Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais”. In: *Relatório Nº 5, Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a*

*Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI.* MMA/SBF/DCBio, Brasília, DF.

MCT-MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2004. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.* 274p. Brasília, DF.

MDA – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. 2006. *Biodiesel no Brasil: Resultados Sócio-Econômicos e Expectativa Futura.* Disponível em [www.mda.gov.br/saf/arquivos](http://www.mda.gov.br/saf/arquivos).

MDA/INCRA – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO/INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. 2004. Banco de dados sobre agricultura familiar. Disponível em: [www.incra.gov.br/sade](http://www.incra.gov.br/sade). Acesso em junho de 2007

MDA-MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. 2007. Disponível em: [www.mda.gov.br](http://www.mda.gov.br). Acesso em maio de 2007

MELLO, E. B. de, CANEPA, E. L., COSTA, M. M., 2007. Visões Ambientais para o Financiamento de biocombustíveis no Brasil. In: *Conversation International, BNDES/FBDS, Artigos temáticos do Workshop A Expansão da Agroenergia e seus Impactos sobre os ecossistemas Brasileiros, 26 a 27 de março, pp. 129-139.* Rio de Janeiro, RJ.

MELO, J. C.; TEIXEIRA, J. C.; BRITO, J. Z.; PACHECO, J.G.A.; STRAGEVITCH, L., 2006. “Produção de Biodiesel de Óleo de Oiticica”. Disponível em: [www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/producao/Oiticica14.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/producao/Oiticica14.pdf)

MENDES, B. V. 1997. “Importância Social, Econômica e Ecológica da Caatinga”. In: *Anais do I Simpósio Brasileiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido.* p. 26-35. *Coleção Mossoroense, Série E, Volume CMXLVIII*, Fundação Vingt-un Rosado, Mossoró, RN.



- MENDES, R. de A. 2005. “Diagnóstico, análise e proposição de gestão para a cadeia produtiva do biodiesel da mamona: O caso do Ceará”. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. 175p..
- MENEGHETTI, S.M. P., 2006. “Alternativas para Ampliar os Usos e o Mercado da Glicerina”. Disponível em: [www.biodiesel.br.com.br](http://www.biodiesel.br.com.br)
- MI-MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2003. *Bases para a Recriação da SUDENE por uma Política de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste*. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, Grupo de Trabalho Interministerial para a Recriação da Sudene. <http://www.integração.gov.br>.
- MI-MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005. Redelimitação do Semi-Árido Nordestino e do Polígono das Secas. In: *Relatório GT Interministerial, janeiro*, Brasília, DF.
- MIRZA, M. M. Q 2003. “Climate Change and Extreme Weather Events: Can Developing Countries Adapt?” *Climate Policy* 3, 233-248.
- MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE., 2003. “Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca”. Secretaria de Recursos Hídricos-SRH. Brasília – DF
- MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2003a.“Biodiversidade da CAATINGA: áreas e ações prioritárias para a conservação Ministério do Meio Ambiente” Silva, J. M. C. da; Tabarelli M. F.; Mônica T. da; Lins L. V. (Orgs.). Universidade Federal de Pernambuco, Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE, Conservation International do Brasil, Fundação Biodiversitas, EMBRAPA Semi-Árido. Brasília-DF. Disponível em: [www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/partelcaa.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/partelcaa.pdf)
- MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, 2006. “Plano Nacional de Recursos Hídricos; síntese executiva”. Brasília, DF: MMA (CD-ROM.)

- MOLINIER, M.; AUDRY, P.; DESCONNETS, L. C.; LEPRUN, J. C., 1989. *Dinâmica da Água e das Matérias num Ecossistema Representativo do Nordeste Brasileiro: Condições de Extrapolação Espacial à Escala Regional*, ORSTOM, Recife, PE.
- MOURA, A. D.; KAGANO, M. T. “A distribuição da precipitação para os anos extremos no Nordeste do Brasil”. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1 p-1-9, 1986.
- MUEHE, D.; NEVES, C. F. 1995. “The implications of sea-level rise on the Brazilian coast: a preliminary assessment”. *Journal of Coastal Research*, v. 14, p. 54-78, New York. NY
- NAE- NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. 2004. Cadernos NAE, *Biocombustíveis*, nº 2, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, outubro, Brasília, DF.
- NAE- NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. 2005. Cadernos NAE, *Mudança do Clima*, 250 p. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília, DF.
- NATIONAL BIODIESEL BOARD, 2006. Disponível em [www.biodiesel.org/](http://www.biodiesel.org/). Acesso em dezembro de 2006.
- NEWELL, P., 2004. “Climate Change and Development: a Tale of Two Crises”, In: *IDS Bulletin* 35(3): 120-126.
- NOBLICK, L. R., 1996. “Palmeiras das Caatingas da Bahia e as Potencialidades Econômicas”. In: *Anais do Simpósio sobre a Caatinga e sua Exploração Racional*, p. 99-115, EMBRAPA, Brasília, DF.
- NOBRE, C.A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J., 1991. “Regional Climate Change and Amazonian Deforestation Model”. In: *Journal of Climate*, v. 4, n. 10, p. 957-988.

- NOBRE, C., BARROS, H., MOURA FÉ, J. de A., 1993. “O clima, a água e a seca no Nordeste brasileiro”. Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC. Brasília, DF.
- NOBRE, C. A. P., SHUKLA, J., 1996. “Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. In: *Journal of Climate*, no. 9, pp. 2464-2479.
- NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.S.; MARENGO, J.A ; SALATI E., 2004: Impacts of climate change scenarios for 2091-2100 on the biomes of South America. First CLIVAR International Conference, Baltimore, USA, 21-25
- NOBRE, C.; 2005. “Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança Global do Clima”. In: *Mudança Global do Clima, vol. 1, Cadernos NAE nº 3, Núcleo de Assuntos Estratégicos*, Secretaria de Comunicação e Assuntos Estratégicos da Presidência da República.
- NOBRE C. A.; LAPOLA D.; SAMPAIO G.; SALAZAR L. F.; CARDOSO M.; OYAMA M., 2007. “Mudanças Climáticas e Possíveis Alterações nos Biomas da América do Sul”. In: *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade Sub-projeto: “Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI”*. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio.CPTEC/INPE, IAE/CTA, São Paulo, Brasil
- ODUM, E.P., 1986. *Ecologia*. Ed. Guanabara. Rio de Janeiro, RJ. 434 p.
- OIL WORLD, 2006. Disponível em: [www.oilworld.biz/app.php](http://www.oilworld.biz/app.php) Acesso em dezembro de 2006.
- OLIVEIRA, G. S. de, 2001. *O El Niño e Você - O Fenômeno Climático*, 112p., Ed. Transtec - São José dos Campos, SP.
- OLIVEIRA, L. B., 2001. “Biodiesel - Combustível Limpo para o Transporte Sustentável”. In *Ribeiro, S.K (coord). Transporte Sustentável: alternativas para ônibus urbanos*. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.RJ

- OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. da, 2002. “Biodiesel: uma Experiência de Desenvolvimento Sustentável”. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia*, v. IV. p. 1772-1779. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.
- OLIVEIRA, L. B., 2004, *Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil*. Tese Doutorado (COPPE/UFRJ, Programa de Planejamento Energético), 237p.
- OLIVÉRIO, J. L., 2006 . O programa brasileiro de biodiesel na visão da indústria de equipamentos. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel. Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, nº 14, pp. 105-126*, STI/MDIC/CNI/IEL, Brasília, DF.
- ORLOVE, B., 2005. “Human Adaptation to Climate Change: a Review of Three Historical Cases and Some General Perspectives” In: *Environmental Science & Policy* 8, pp. 589-600.
- PADILHA, J. A., 1994. *Programa Base Zero, Caderno Um*. Secretaria de Planejamento, 1994, João Pessoa, PB.
- PAES, J. M. V., 2005. “Utilização do Girassol em Sistema de Cultivo”. In: *Informe Agropecuário*, v. 26 n. 229 p 34-41, Belo Horizonte, MG.
- PALMEIRA, H. S., 2006. *Relatório técnico sobre produção e comercialização da oiticica*, 29 p. CETENE, Banco do Nordeste.
- PARENTE, E. J. de S., 2003. *Biodiesel: uma Aventura Tecnológica num País Engraçado*, 66 p. Fortaleza, CE.
- PARENTE, E. J. de S., 2006. Biodiesel no plural. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel. Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – 14, pp. 91-104*, STI/MDIC/CNI/IEL, Brasília, DF.
- PEIXOTO, A.R. 1973. *Plantas Oleaginosas Arbóreas*. São Paulo: Nobel. 282p.
- PERES J. R. R.; BELTRÃO N. E. de M., 2006. “Oleaginosas para Biodiesel: Situação Atual e Potencial”. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel. Coletânea de Artigos*.

- Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, nº 14. p. 67-82.*  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brasília, DF
- PETROBIO- Ind. e Com. de Equipamentos e Processos para Biodiesel Ltda., 2005.  
Biodiesel: Viabilidade econômica. São Paulo, Outubro, 24 p.
- PETROBIO- Ind. e Com. de Equipamentos e Processos para Biodiesel Ltda., 2006.  
Biodiesel: Aspectos Atuais e Viabilidade de Aplicação, 40 p.
- PIMENTEL, D., PATZEK, T. W., 2005. “Ethanol Production using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production using Soybean and Sunflower”. In: *Natural Resources Research*, v.14, n.1.
- PINTO, H.S., ASSAD, E.D., ZULLO JR., J., BRUNINI, O., EVANGELISTA, B.A., 2001. “Impacto do Aumento da Temperatura no Zoneamento Climático do Café nos Estados de São Paulo e Goiás”. In: *Avaliação dos cenários do IPCC, XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*; pp. 605-606. Fortaleza, CE.
- PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA. 2006. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 2. ed. rev. Brasília, DF. 110 p.
- PNPB-Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Disponível em [www.biodiesel.gov.br](http://www.biodiesel.gov.br). Acesso em 10/06/2007
- PNUD-Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, 2002. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (IDH-M)*, 1991-2000. Disponível em: [www.pnud.org.br/atlas/oque/index.php](http://www.pnud.org.br/atlas/oque/index.php)
- PROBIODIESEL-Programa Brasileiro de Biocombustíveis, 2006. *Capacidade Autorizada de Plantas de Produção de Biodiesel*. Disponível em: [www.anp.gov.br/petro/capacidade\\_plantas.asp](http://www.anp.gov.br/petro/capacidade_plantas.asp). Acesso em: 28 de março de 2006.
- RODRIGUES, R. A., 2006, “Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade”. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel*, pp.15-26.

*Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, nº 14.* Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior-MDIC/Instituto Euvaldo Lodi-IEL/Núcleo Central.

- ROSCOE, R. 2003. “Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono.” *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 209-223.
- SACHS, I. 2007. “Integração dos Agricultores Familiares e dos Empreendedores de Pequeno Porte na Produção dos Biocombustíveis”. In: *Workshop da Fundação Brasileira do Desenvolvimento Sustentável, 26 e 27 março*, Rio de Janeiro, RJ.
- SALATI, E.; NOBRE, C. A., 1991. “Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation”. *Climatic Change*, v. 19, pp.177-96.
- SALATI, E.; VILLA NOVA, N. A.; SALATI E. 2005. “Impactos e Oportunidades das Mudanças Climáticas Globais para Florestas (naturais e plantadas) e a Produção Agro-Pecuária”. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável-FBDS. Relatório interno. 47p.
- SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N., 2007, “Tendências de Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos”. In: *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Sub-projeto: “Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI”*. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio.
- SANTOS, H. M. V; SANTOS, V. de J., 2002. “Estudo etnobotânico do *licuri Syagrus coronata*(Martius) Beccari em Senhor do Bonfim, Bahia”. Disponível em: [www.projetolicuri.ubbihp.com.br/pages/resultados2.htm](http://www.projetolicuri.ubbihp.com.br/pages/resultados2.htm).
- SANTOS C. E. R. E S.; STAMFORD N. P.; FREITAS A. D. S.; VIEIRA I. M. DE M. B.; SOUTO S. M.; NEVES M. C. P.; RUMJANEK N. G., 2005. “Efetividade de rizóbios isolados de solos da região Nordeste do Brasil na Fixação do N<sub>2</sub> em Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)”, *Acta Sci. Agron.* v. 27, n. 2, p. 301-307, Maringá, PR.

- SANTOS, N. A., 2005. Estudo Termoanalítico de Biodiesel Derivado do Óleo de Babaçu, Relatório Técnico-Científico Final PIBIC/CNPq/UFPB. Disponível em: [www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/estabilidade.htm](http://www.biodieselbr.com/biodiesel/especificacoes/estabilidade.htm)
- SANTOS, R. C. 1999. “Utilização de recursos genéticos e melhoramento de *Arachis hypogaea* L. no Nordeste brasileiro”. In: QUEIROZ, M.A; GOEDERT, C.O; RAMOS, S.R.R., (Org.). *Recursos Genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro*. EMBRAPA Algodão. PETROLINA, PE
- SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P., 2005. “Cultura do pinhão-manso (*Jatrofa curcas* L.)”. In: *Informe agropecuário*. v. 26, n. 229, p. 44-78, Belo Horizonte, MG.
- SAVY FILHO, A., 2005. *Mamona - Tecnologia Agrícola*. EMOPI, Campinas, 2005, 105 p.
- SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; MACHADO, M.; MARIANO, J.; SALA, J.; TAVARES, M.; MAGRINI, A., 2004. *Evolução do Mercado Brasileiro de Derivados de Petróleo e Perspectivas de Expansão do Parque de Refino Nacional até 2015*. Projeto de pesquisa executado para o IBP. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- SCHNEIDER, S., 2006. “Agricultura Familiar e Emprego no Meio Rural Brasileiro: Análise Comparativa das Regiões Sul e Nordeste”. Análise sobre a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD 2004). In: *Parcerias Estratégicas*, n° 22, pp. 217-244, junho, edição especial
- SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. DE M.; CARDOSO G. D.; FARIAS, V. DE A.; LIMA C. L. D. DE., 2004. “Estudo da Fenologia do Gergelim (*Sesamum indicum* L.) Cultivar CNPA G4”. In: *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 54 EMBRAPA Algodão, 15 p., Campina Grande, PB.
- SEVERINO L. S.; MORAES, C. R. DE A.; GONDIM, T. M. DE S.; CARDOSO G. D.; SANTOS JOSÉ, W. DOS., 2005. “Crescimento e Produtividade da Mamoneira sob Fertilização Química em Região Semi-Árida”. In: *Boletim de*

*Pesquisa e Desenvolvimento*, 56, 12p. EMBRAPA Algodão, Campina Grande. PB.

SHEEHAN, J.; CAMOBRESCO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. 1998. "Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles". In: *Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*, National Renewable Energy Laboratory, [S.l.]: U.S. Department of Energy, 314p.

SILVA, F. B. R., 2000. "Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais do Nordeste Semi-Árido" In: Seminário Regional: *Meio Ambiente e Mercado: desafios e perspectivas para o Nordeste*. ANAIS - Fundação Konrad Adenauer KAS Associação de Apoio às Comunidades do Campo - AACC; Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Série Contribuições Ano IV VOL.X.

SILVA, N. de L., 2005. "Transesterificação do Óleo de Mamona". In: *II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel*. Realização: Universidade Federal de Lavras e Prefeitura Municipal de Varginha

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M. A., 1994. "Potential Effects of Global Climate Change for Brazilian Agriculture: Applied Simulation Studies for Wheat, Maize and Soybeans". In: *Revista Brasileira de Agroclimatologia*, v. 2, pp. 115-129, Santa Maria, RS.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D., 2006. "Potencialidades agrônômica, econômica e social das principais oleaginosas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar". In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia. UFRJ*, v. II. p. 899-912, Rio de Janeiro, RJ.

SOLDI, R. A.; OLIVEIRA, A. R. S.; RAMOS, L. P.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F. 2006. Alcoólise de Óleos Vegetais e Gordura Animal Utilizando Catalisadores Heterogêneos Ácidos. In: *I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel*, v. 2. Co-produtos, produção e outros temas. Brasília, DF. Disponível em: [www.abipti.org.br/congressobiodiesel2006/](http://www.abipti.org.br/congressobiodiesel2006/)



- SOUZA, J. G.; BARREIRO NETO, M; SILVA, J. B. V.; GILES, J. A. Velocidade de crescimento da raiz como parâmetro de resistência à seca no algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, n.2, 169-172, 1983.
- STERN, N., 2006. “The Stern Review: The Economics of Climate Change”. Cambridge University Press. London. 712 p.
- SUASSUNA, J., 1994. “A Pequena Irrigação no Nordeste: Algumas Preocupações”. *Revista Ciência Hoje*, vol. 18, nº 104, Outubro.
- SUASSUNA, J. 2005. Como morrer de sede com água no joelho. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: [www.abas.gov.br](http://www.abas.gov.br). Acesso maio de 2007
- SUASSUNA, T.M.F.; SUASSUNA, N.D.; SANTOS, R.C.; GONDIM, T.M.S.; MODESTA, R.C., 2006. “Produtividade, adaptação e qualidade tecnológica: desenvolvimento de cultivares para a produção de amendoim de alta qualidade no Nordeste do Brasil”. In: *Seminário Brasileiro de Produção Integrada de Frutas*, 8, Vitória, ES. Anais... p. 266.
- SUDENE, 1999. *A seca Nordestina de 1998-1999: da Crise Econômica à Calamidade Social*. Coleção SUDENE 40 anos. (Convênio SUDENE/UFPE/FUNDAJ), Recife, PE.
- TAVARES, M. E. E., 2005. “Análise do Refino no Brasil: Estado e Perspectivas - Uma Análise Cross-Section" Tese Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ, 384 p.
- THOMAS, D. S. G., TWYMAN, C., 2005. “Equity and Justice in Climate Change Adaptation amongst Natural-Resource-Dependent Societies”. In: *Global Environmental Change 15*, pp.562–571.
- THORNTHWAITE, C. W. 1941. “The Climates of North American according to a new classification”. *Geographical Review*, 21: 613-3.
- TOL, R. S. J., 2005. “Adaptation and Mitigation: Trade-offs in Substance and Methods”. *Environmental Science & Policy* 8, pp.572-578.

- TOMPKINS, E.; ADGER, W.N., 2005. “Defining Response Capacity to Enhance Climate Change Policy”, *Environmental Science & Policy* 8, 562–571.
- UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change. 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Climate Change Secretariat, Bonn.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change 2004. “Application of methods and tools for assessing impacts and vulnerability, and developing adaptation responses.” *Background paper to the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*, 6-14. Buenos Aires, December, FCCC/SBSTA/2004/INF.13.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BOODEY, R.M., 2005. “Produção de Biocombustíveis, a Questão do Balanço Energético”. *Revista de Política Agrícola*, v.14, n.5, p.42-46.
- UVO, C. R. B., NOBRE, C. A., 1989, “A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial”. In: *Climanalise*, vol. 4, n. 07, 34-40.
- VEIGA, J. E., 1996. “Política Agrícola Diferenciada. In: *Teixeira, E. C., Vieira, W. da C. (ed) Reforma da Política Agrícola e Abertura Econômica. Viçosa-MG, UFV, 210p.*
- VERGOLINO, J. R., 2001. Estimativa dos PIB municipais do Nordeste. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, CE.
- VIANNA J. N., 2006. Biodiesel: Impactos no Desempenho de Motores Automotivos UnB-CDS-LEA/Centro de Desenvolvimento Sustentável-Laboratório de Energia e Ambiente. Disponível em [www.unbcds.pro.br/jnildo](http://www.unbcds.pro.br/jnildo)
- VIEIRA, J. N. de S., 2006. “A Agroenergia e os Novos Desafios para a Política Agrícola no Brasil”. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior*, n. 14, pp. 37-48. Ministério do

Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior-MDIC/Instituto Euvaldo Lodi-  
IEL/Núcleo Central.

WEISS, E. A., 1983. "Sesame". In: *Oil seed crops*. London: Longman, p.282-340.

WIGLEY, T. M. L., SCHIMEL, D. S., 2000. "CO<sub>2</sub> and the Carbon Cycle". In: *The Carbon Cycle, National Center for Atmospheric Research, ed. Cambridge University Press*

WIKIPEDIA, 2007. Disponível em: [www.wikipedia.org/wiki/biodiesel](http://www.wikipedia.org/wiki/biodiesel)

WILBANKS, T. J., 2005. "Issues in Developing a Capacity for Integrated Analysis of Mitigation and Adaptation". *Environmental Science & Policy*, v, 8:541-547

YEO, A., 1999. "Predicting the Interaction Between the Effects of Salinity and Climate Change on Crop Plants". *Sci. Hort.* 78, 159-174.