

# Insegurança Energética

## A Falsa Promessa dos Biocombustíveis Líquidos

Capitão T. A. “Ike” Kiefer, *USN*\*



Certos argumentos importantes aparecem quase que diariamente na mídia, declarando que os biocombustíveis aumentarão o suprimento doméstico destinado ao transporte, cessarão a dependência em petróleo estrangeiro, reduzirão a vulnerabilidade militar em campos de batalha e, em geral, promoverão a segurança nacional. Proclama-se, além do mais, que esse tipo de combustível reduzirá a volatilidade de preço; a poluição causada pelas emissões; e os gases de efeito estufa [*Greenhouse Gases – GHG*]. Dizem que até mesmo estimulará a economia. Contudo, essas alegações não sobrevivem ao escrutínio. É aquele tipo de bênção e maldição que nos coloca entre a espada e a parede.

O potencial produtivo de biocombustíveis não cultivados é demasiado pequeno, difuso e infrequente para preencher qualquer fração significativa da demanda de energia básica dos Estados Unidos. O aumento em rendimento via cultivo, consome mais energia do que

produz. Além do mais, a colheita da biomassa requer grande quantidade de energia para convertê-la em hidrocarboneto líquido, compacto, rico em energia e compatível com as infraestruturas de uso de combustível, de transporte e de emprego militar. Dentre essas a que predomina, sem dúvida, é a militar.

O conteúdo energético do produto final, comparado à energia requerida para produzi-lo resulta em péssimo investimento, especialmente quando levamos em consideração as alternativas.

Em muitos casos ocorre a perda, não da energia bruta, mas sim da líquida.

Quando consideramos o equilíbrio entre o insumo e o consumo da energia através de todo o ciclo de vida: da produção de combustível à combustão, nota-se que os biocombustíveis líquidos cultivados nada mais são do que uma tentativa moderna para alcançarmos o movimento perpétuo, algo fadado ao fracasso, devido as leis de termodinâmica e à fatal dependência em energia fóssil.

Os Estados Unidos não alcançarão segurança energética através de biocombustíveis. Ironicamente, até mesmo a tentativa resulta contrária às metas ambientais de energia “limpa” e “verde”, além de ameaçar a segurança global, de forma dinâmica.

O enfoque deste artigo é a biomassa cultivada e sua conversão em combustível líquido destinado ao transporte. A abordagem geral é a análise de alternativas, comparando três metodologias distintas com o combustível convencional à base de petróleo, a fim de avaliar os custos e benefícios relativos. Analisa o que significa a segurança energética em termos de qualidade e suprimento de combustível. Passa então a erigir uma estrutura analítica de parâmetros essenciais, avaliando como cada metodologia deixa de preencher as expectativas. A seguir, comprova que a tentativa para encontrar biocombustíveis viáveis causa dano irreversível ao ambiente, aumenta emissões de *gás estufa*, solapa a segurança alimentícia e promove o abuso de direitos humanos. Conclui com recomendações específicas para ações legítimas referentes às diretrizes.

## **Segurança Energética**

A questão fundamental é verificar se os biocombustíveis podem definitivamente substituir os combustíveis à base de petróleo. O Congresso definiu a *segurança energética* no Código dos Estados Unidos, Título 10 [*Title 10 of the US Code*]: “acesso à fontes confiáveis de energia e a habilidade de proteger e produzir energia suficiente para fazer face aos requisitos da missão essencial”.<sup>1</sup> Em 2011, os Estados Unidos importavam 45 por cento do petróleo utilizado. A dependência em outras nações é um problema, devido a imprevisibilidade do mercado mundial e a volatilidade de preço.<sup>2</sup> Se existe maneira de fazer com que fontes domésticas confiáveis suplantem essa dependência, a preços razoáveis e estáveis, isso sem dúvida, aumentaria a segurança energética.

## **A Ciência Acima da Política**

Esta pesquisa está baseada em amplo estudo da literatura disponível em fontes recentes e legítimas, destacando dados de agências norteamericanas publicados em relatórios oficiais e estudos universitários, difundidos em jornais científicos e avaliados por profissionais especializados.

Desde 2008, uma nova geração de estudos mais rigorosos colocou em dúvida, de forma dramática, a suposição ingênua de que os biocombustíveis são inerentemente limpos e verdes, neutros em carbono e a solução mundial à dependência em petróleo.

Infelizmente, esses documentos científicos notáveis, até agora, produziram pouco impacto em diretrizes energéticas do Governo ou das Forças Armadas.

A Marinha dos Estados Unidos simplesmente rejeitou o estudo da *RAND*, que, sem rodeios, chegou à conclusão de que os biocombustíveis “não oferecem benefícios às Forças Armadas”. Esse estudo foi levado a efeito sob a direção do Congresso e entregue ao Secretário de Defesa em janeiro de 2011.<sup>3</sup> Estudo subsequente, também da *RAND* e relatório da *US National Academy of Sciences*, rigorosamente colocaram em dúvida a sabedoria e eficácia das diretrizes norteamericanas atuais, referentes

a biocombustíveis. Tampouco resultaram em modificações dos programas pertinentes.<sup>4</sup>

Em agosto de 2012, a Academia Nacional de Ciências da Alemanha [*Deutsche Akademie der Naturforscher*], órgão de país bastante agressivo em busca de energia alternativa, emitiu o relatório de estudo que levou três anos no qual concluiu que os biocombustíveis oferecem pouco ou nenhum benefício em redução de emissões *GHG* e que “o uso de maior escala de biomassa como fonte de energia não é opção viável para países como a Alemanha”. Os cientistas alemães chegaram ao ponto de categoricamente recomendar que toda a Europa colocasse de lado o encargo obrigatório para a produção de biocombustíveis.<sup>5</sup>

Em outubro de 2012, o Conselho de Pesquisa Nacional [*National Research Council*] publicou um relatório que, de maneira crítica, coloca em dúvida a viabilidade da produção sustentável de biocombustíveis à base de alga, destacando cinco pontos principais contra todo tipo de biocombustível cultivado, e que corresponde e apoia os argumentos apresentados neste artigo.<sup>6</sup>

Esses são alguns dos estudos que indicam defeitos fatais na perseguição desses combustíveis para substituir o petróleo. Existem vários parâmetros essenciais que, quando entendidos, servem para avaliar a utilidade de combustíveis, bem como os custos e consequências de sua produção e uso.

### **A Ciência Pertinente**

Os portadores de energia em combustíveis fósseis e biocombustíveis são átomos de hidrogênio e carbono. O hidrogênio, presente em grande quantidade, reage bem com outros átomos em aceite e liberação de energia em cadeias químicas. É o elemento mais leve, o que lhe confere alta densidade em energia gravimétrica, i.e., o hidrogênio puro movimentava tudo, de microorganismos a turbinas.<sup>7</sup>

O carbono é outro elemento comum, leve e de alta energia. Rapidamente forma longas cadeias moleculares e serve de apoio para encadear muitos outros átomos em agrupamentos densos e bem organizados. Combinado ao hidrogênio, em partes iguais, produz

combustíveis líquidos altamente versáteis e energéticos. O carbono transforma o hidrogênio – de gás difuso e explosivo a líquido, com ponto de liquefação a 423° F à temperatura ambiente; facilmente manejável; com número de átomos de hidrogênio por galão 63 por cento maior do que o hidrogênio líquido puro; 3,5 vezes mais *joules* por galão (densidade de energia volumétrica [*volumetric energy density*]; e possui as características ideais de combustão.<sup>8</sup> Se o carbono não existisse seríamos obrigados a inventá-lo, como elemento ideal para lidar com o hidrogênio.

Fritz Haber descobriu a fórmula para converter o gás natural em amoníaco em 1909, (i.e., a conversão de combustível fóssil em combustível vegetal). O amoníaco (NH<sub>3</sub>) é potente combustível orgânico para a maior parte das bactérias e plantas que possuem a habilidade de metabolizar a energia produzida pelo hidrogênio.<sup>9</sup> A adição de amoníaco ao solo para fomentar o crescimento das plantas denomina-se “fixação de nitrogênio.”<sup>10</sup> Ocorre natural e vagorosamente, via bactéria, em raízes e solo simbióticos, utilizando a fotossíntese obtida da planta. Também é produzido artificial e rapidamente por seres humanos que fabricam e agregam o produto ao solo.<sup>11</sup> Nos EUA a fabricação de amoníaco só é ultrapassada pela de plásticos em termos de consumo de energia industrial. 80% do amoníaco é utilizado na manufatura de fertilizantes.<sup>12</sup> Atualmente, os agricultores no Estado de Iowa injetam amoníaco puro no solo por intermédio de bombas, à razão de 68–90 kg/4.046.9 m<sup>2</sup> [150-200 lbs/acre]<sup>13</sup> para colher de 160-180 *bushels* de milho por 4.046.9 ha [*bushel* é uma medida de capacidade para cereais, frutas, líquidos, etc. [Um *bushel* equivale a 35.238 litros nos Estados Unidos e a 36.367 litros na Grã-Bretanha] – um rendimento seis vezes maior do que antes.<sup>14</sup> Foi somente devido à conversão global da energia de combustível fóssil em produtos alimentícios que o mundo evitou que a profecia de Robert Malthus, feita em 1798, se tornasse realidade: inanição global, devido a explosão demográfica, ao ponto de ultrapassar a produção de víveres.<sup>15</sup>

Sem a adição de fertilizantes artificiais as plantas são obrigadas a obter energia de luz solar. A fotossíntese é demasiada lenta em captação de energia solar e sua eficiência é mínima. O que surpreende é que a planta terrestre típica transforma somente 0.1 por cento de luz solar em biomassa,<sup>16</sup> o que resulta em uma densidade de potência

anêmica, de somente 0.3 *watts* por metro quadrado ( $W/m^2$ ).<sup>17</sup> Esse é o fator proibitivo dos biocombustíveis. É 20 vezes pior do que os 6.0  $W/m^2$  que os painéis solares atuais distribuídos em grandes fazendas conseguem captar da mesma luz solar e de área similar.<sup>18</sup> Os seres humanos devem providenciar o insumo da energia de combustível fóssil, sob a forma de fertilizantes à base de amoníaco, para superar esta limitação de luz solar na produção de biomassas. Embora seja opção justificável em produção de produtos alimentícios, não tem sentido a adição de energia a algo que se supõe ser *fonte de energia*, tais como safras para biocombustíveis.

É um absurdo adicionar energia de combustível fóssil, quando o objetivo é *substituí-la*.

Um combustível perfeito possui as características desejáveis de fácil armazenagem e transporte, inércia e baixa toxicidade para manuseio seguro, volatilidade consistente e adaptável para pronta mescla com o ar, estabilidade através de ampla gama de temperatura e pressão ambientais, bem como alta densidade energética. Devido a vantagens abrangentes que permeiam esses parâmetros, os hidrocarbonetos líquidos acabaram dominando a economia global. Nenhum outro material, fora de substâncias muito exóticas e tóxicas, como o boro-hidreto de lítio [*lithium borohydride* ( $LiBH_4$ ) ou metais raros e caros, como o berílio, ultrapassam a densidade energética do *diesel* e do combustível para jatos. O *biodiesel* e o etanol possuem densidade mais baixa. As células de combustível de hidrogênio, baterias elétricas e capacitores contam com margem ainda mais baixa. Alternativas, tais como a energia solar, eólica, geotérmica ou dispositivos de resíduo-à-energia, conseguem ativar certos computadores portáteis e iluminar algumas dependências fixas, mas simplesmente não conseguem aproveitar energia suficiente para impulsionar tanques, jatos, helicópteros e caminhões que, de longe, são os consumidores principais em campos de batalha. Oferecem somente redução secundária aos requisitos gerais para as forças mecanizadas e somente em circunstâncias de baixa hostilidade, onde podem ser salvaguardados, devido ao posicionamento fixo.

Além de química orgânica e inorgânica, um analista especializado em energia deve estar bem familiarizado com aquelas duas leis

universais invioláveis: a primeira Lei de Termodinâmica (Conservação) declara que a energia não é criada ou destruída, mas simplesmente muda de forma. A segunda Lei (Entropia) distingue entre energia útil que produz trabalho, e a inútil. Assume que certa fração de energia útil, irreversivelmente, torna-se inútil toda vez que a energia passa de uma a outra forma. Em outras palavras, qualquer processo de conversão consome parte da energia útil e resta menor quantidade do produto. Em combinação, essas duas leis declaram que a quantidade de energia útil obtida de um sistema é sempre menor do que a energia absorvida pelo mesmo. Toda transação, processo ou conversão paga uma taxa energética.

Por conseguinte, é impossível construirmos uma máquina de movimento perpétuo. A proporção de insumo-consumo de energia é um parâmetro crítico na avaliação de fontes de energia.

### **O Retorno Energético Sobre o Investimento**

Para chegarmos à boas soluções, primeiro devemos fazer as perguntas corretas. Ao optarmos por fonte primária de energia e combustível dela derivado, é essencial assegurar-nos de que o combustível fará face às demandas de consumo—não só em termos de quantidade, mas fundamentalmente, em termos de qualidade. Uma das avaliações principais de qualidade é a quantidade de energia útil obtível, dividida pela quantidade de energia requerida para extrair a fonte de energia primária do ambiente, e sua conversão em produto final. Esta equação é denominada Retorno Energético sobre o Investimento [*Energy Return on Investment – EROI*].<sup>19</sup>

$$EROI = \frac{\text{Energia disponível no novo combustível produzido}}{\text{Energia consumida na produção do novo combustível}}$$

As fontes de energia primária bruta requerem certo consumo de energia em processos para chegar ao produto final. Um *EROI* de 1:1 significa que a energia útil da nova quantidade de energia produzida é exatamente igual à energia consumida em sua produção. Pode parecer que qualquer *EROI* acima de 1 resultaria em benefício líquido à civilização. Mas esse não é o caso. Uma civilização moderna requer

retorno bem maior sobre o investimento feito, porque a sobrevivência e o padrão de vida dependem dessa margem.

### **A Civilização é um Organismo Vivo**

A teoria do Orçamento de Energia Dinâmica [*Dynamic Energy Budget – DEB*] é uma abordagem sofisticada que nos permite perceber objetos vivos em termos de energia.<sup>20</sup> Uma análise termodinâmica revela que qualquer organismo só pode se permitir o gasto de pequena fração de seus depósitos atuais de energia para encontrar e processar novas fontes de energia básica para obter combustível (*assimilação*) porque existem muitas outras tarefas essenciais em consumo de energia (*dissipação*) que devem desempenhar para sobreviver: sustentabilidade; renovação; proteção; maturidade; aumento em complexidade; e reprodução. Somente após satisfazer completamente todas essas demandas o organismo aumentará sua massa (*crescimento*), se restar energia. Para energizar essas atividades, é necessário nutrição, não só fracionalmente positiva em energia líquida, mas com um *EROI* muitíssimo acima de 1. Uma civilização é, em si, um organismo biológico e físico de elevada ordem que possui tremendos custos fixos e pode gastar somente uma fração de sua energia para assimilar outra.

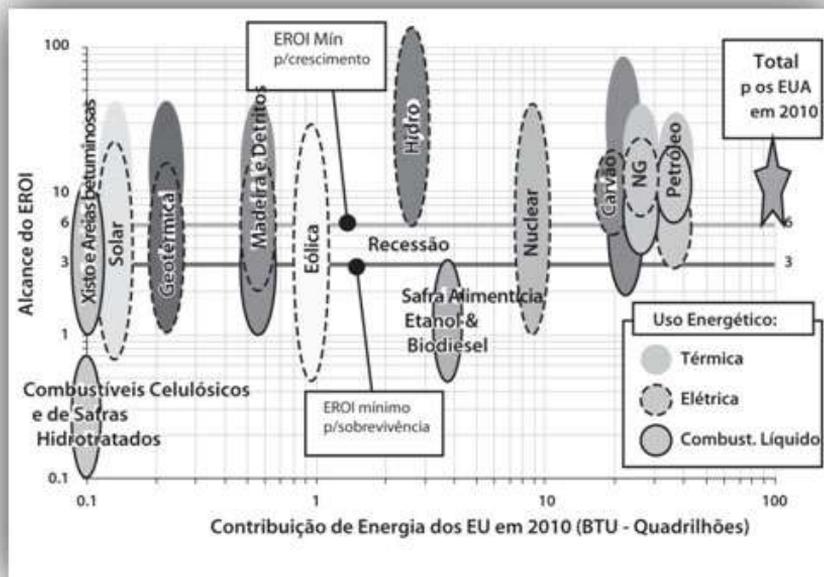
### **Um *EROI* Mínimo para a Civilização Moderna**

Um estudo de desempenho econômico norteamericano durante o último século determinou que as recessões econômicas estão vinculadas ao fato de que os *EROIs* de energia básica declinaram abaixo de seu nível crítico, ou seja, 6:1.<sup>21</sup> Esse valor representa a qualidade mínima de energia que uma civilização industrial deve possuir para sustentar uma qualidade de vida moderna e intensa em energia. Outra macro-análise chegou à conclusão de que um *EROI* de 3:1 é a qualidade mínima absoluta que a matéria-prima de energia bruta deve possuir para superar todos os custos de produção e perdas de conversão e, ainda assim, produzir a energia líquida positiva à civilização moderna.<sup>22</sup> Assim, um *EROI* de 3:1 é o ponto crítico entre equilíbrio-desequilíbrio.

A fim de colocar essa situação em termos biológicos, as civilizações industriais modernas estão super-famintas pela energia. Se forem mal nutridas, com uma dieta pobre em *EROIs* abaixo de 6:1, tornam-se catabólicas, consumindo a *gordura* economizada e o *tecido [músculo]* de sua própria infraestrutura, a fim de repor as calorias que faltam. Se o *EROI* permanecer abaixo de 6:1, as civilizações industriais estarão confinadas a um declínio em espiral crítico, onde uma fração cada vez maior de seu rendimento econômico (PIB) será gasta em energia, causando erosão fatal em padrões de vida.<sup>23</sup> Com *EROIs* abaixo de 3:1, os alimentos são tão pobres que a digestão para conseguir a nutrição, consome mais energia do que produz. Isso causa a inanição, ou seja, morte gradativa.

A única solução para que possamos nos manter fora dessa armadilha é encontrar uma fonte energética com *EROI* mais elevado ou reverter a uma civilização pré-industrial com necessidades energéticas bem mais baixas.

O resultado final é que uma economia moderna salutar deve ser alimentada por fontes robustas de energia básica com um *EROI* coletivo acima de 6:1. A substituição propositada de fontes de energia de *EROI* elevado com outra, cujo retorno é inferior a 6:1, não é aconselhável. O cálculo de estimativas de *EROI* para combustíveis, comparado a sua contribuição energética atual à economia norte-americana oferece perspectiva benéfica acerca de sua relativa utilidade (fig. 1).<sup>24</sup>



**Figura 1. O Retorno Sobre o Investimento Energético (EROI) dos combustíveis norte-americanos**

### **Avaliação de Biocombustíveis**

#### **Etanol**

Durante os últimos 70 anos, os Estados Unidos quase que aperfeiçoaram o milho como alimento de alto rendimento e matéria-prima de amido industrial. Infelizmente, as leis da Física exigem taxas elevadas em energia para processos que requerem muitas conversões, tais como a produção de combustíveis líquidos de biomassa sólida. Após décadas de estudos e experimentos e produção comercial continuamente refinada, o consenso científico para o etanol de milho é o baixo valor de 1.25:1.<sup>25</sup> Pior ainda, não se obtém ganho líquido e energia de combustível em forma líquida—o etanol produzido contém energia que mal chega a igualar o insumo de energia de combustível fóssil necessário para produzi-lo. O pequeno lucro em energia está contido em produtos derivados, especialmente em sobras de alto teor protéico de biorefinarias, denominadas grãos secos de destilaria e

produtos solúveis [*distillers' dry grains and solubles – DDGS*] que podem ser utilizados em ração de gado. Mais de \$6 bilhões de dólares ao ano em subsídios federais diretos aos agricultores dedicados ao cultivo de milho e às refinarias de etanol, desde 2005 serviram somente para reduzir uma dependência estrangeira, não existente, em suplementos protéicos para ração.

Deve-se notar que os *EROIs* de etanol de milho publicados e mencionados acima não se referem a ciclo de vida de etanol de milho puro, mas sim a ciclo de vida híbrido que tem a ver com combustível fóssil e etanol de milho, onde o combustível fóssil oferece a maior parte da energia de insumo. Um *EROI* de etanol de milho apropriado seria calculado utilizando etanol de milho, como fonte de energia, para fabricar mais etanol de milho, o que não existe hoje em dia. Isso, em si, é notável.

Abaixo, *demonstraremos via* análise de ciclo de vida, que a fabricação de etanol de milho é um processo negativo de equilíbrio de energia que consome mais de cinco-sextos da energia investida. O rendimento seria seis vezes maior do que o combustível fóssil desviado para fabricar o etanol de milho, se tivesse sido utilizado diretamente como combustível.<sup>26</sup>

O intenso cultivo do milho contemporâneo, com seu enorme apetite pelo amoníaco e agroquímicos à base de combustível fóssil causa impacto negativo ao orçamento energético da nação e faz com que a demanda pelo petróleo aumente e não decresça.

A utilização da biomassa para substituir combustíveis fósseis é fútil, quando grande parte da energia investida em sua produção *provém de* combustível fóssil. A aplicação de fertilizante à base de amoníaco a qualquer cultivo destinado a biocombustível é inescusável desperdício de energia.

## **Etanol Celulósico**

Os fatos são ainda piores no caso de combustíveis em forma líquida, derivados de materiais celulósicos, tais como madeira, gramínea de rápido crescimento [*Panicum virgatum*] e sobras de colheitas, que não contêm açúcar simples ou amino. A celulose pode ser decomposta em açúcares fermentáveis, mas primeiro deve ser separada da lignina.

Os fabricantes de papel empregam um tratamento de ácido concentrado e vapor explosivo denominado “processo *Kraft*”. Contudo, só este passo consome toda a quantidade de energia existente no etanol resultante. Aqueles que desejarem produzir energia de lignocelulose devem utilizar enzimas mais vagarosas e caras ou processos micróbicos. Após o que, o produto ainda deve passar pela fermentação, destilação e desidratação. Rigorosas análises termodinâmicas concluíram que o etanol celulósico é três vezes mais difícil de produzir do que o etanol de safra alimentícia, com um *EROI* bem abaixo de 1:1.<sup>27</sup>

Um estudo altamente difundido do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos [*United States Department of Agriculture – USDA*] que não levou em consideração muitas das dificuldades e custos conhecidos, a fim de predizer um *EROI* extravagante para a *Panicum virgatum* de 5.4:1 (quatro vezes melhor do que o etanol de milho) foi utilizado para justificar o gasto de bilhões de dólares em fundos federais e privados em uma série de contratemplos empresariais de alto perfil.<sup>28</sup> Sem embargo, a prova encontra-se no desempenho.

Apesar de todos os subsídios, benefícios fiscais e encargos governamentais para a mescla de combustíveis, desde 2005, não existe uma só dependência comercialmente viável de etanol celulósico nos Estados Unidos.<sup>29</sup>

Pelo contrário, o panorama geral foi abalado por uma série de fraudes e fracassos, amplamente difundidos, tais como o *Cello and Range Fuels*.<sup>30</sup> Em lugar de 1.892.705.892 galões de etanol celulósico por ano até 2012, como prometido, em retorno pelos enormes gastos federais feitos para financiar o início de produção e biorefinarias<sup>31</sup> a Agência de Proteção ao Ambiente [*Environmental Protection Agency – EPA*] oficialmente registrou somente uma transação comercial de 75.708,23568 galões a comprador não especificado.<sup>32</sup>

Contudo, a *EPA* continua a multar refinarias de petróleo nos Estados Unidos porque deixam de mesclar o etanol celulósico, não existente, em sua gasolina.<sup>33</sup> Algumas empresas que batalham com o problema do etanol celulósico por maior período de tempo—tais como a *Gevo*, *Amyris* e *Cellana*—mudaram para o etanol de milho, químicos industriais e ração para peixe.<sup>34</sup> A *British Petroleum* e outras suspenderam a construção de enormes biorefinarias nos Estados Unidos.<sup>35</sup> Empresas, como a *Coskata* e a *Primus Green Energy*, sem fazer alarde, iniciaram migração em massa, distanciando-se de qualquer pretensão de combustíveis renováveis para embarcar, ousadamente, em fabricação de combustíveis líquidos sintéticos, derivados de gás natural.<sup>36</sup> O ex-Diretor Executivo da *Codexis*, que presidiu o gasto de mais de \$400 milhões de dólares na fabricação de etanol celulósico, publicamente confessou, que o uso de carboidratos na manufatura de hidrocarbonetos *é o fim da picada*. Está agora na *Calysta* trabalhando em combustível líquido derivado de gás natural.<sup>37</sup>

### **Biodiesel**

As espécies de plantas que rendem certo tipo de biomassa, como lipídios, incluem a soja, camelina, colza, óleo de palma, pinhão manso, amendoim, girassol, semente de algodão, falso açafrão (açafrão) e microalgas. Há séculos, todas essas culturas, inclusive a variedade mexicana de pinhão manso não tóxico, são fontes alimentícias para seres humanos e animais. A extração dos lipídios naturais existentes nessas plantas é feita com a adição de metanol. O resultado é o éster metílico de ácidos graxos [*fatty-acid methyl esters – FAME*], comumente denominado *biodiesel*.

Contrário à crença popular, o *biodiesel* é um coquetel químico que difere muito do *diesel* convencional e possui densidade energética e propriedades físicas inferiores. A fim de superar suas deficiências e as de outros biocombustíveis líquidos devem ser convertidos em verdadeiros hidrocarbonetos adicionáveis [*drop-in*], via uma série de processos denominada “hidrotratamento”, o que aumenta a taxa de hidrogênio em proporção à do carbono, remove todo o oxigênio e altera a estrutura e mescla das moléculas constituintes.<sup>38</sup> Tudo isso para

maior compatibilidade com a infraestrutura e motores de alto desempenho.

O hidrotreatamento aumenta muito o custo e reduz a natureza renovável do combustível, porque o hidrogênio adicionado provém do gás natural, um combustível fóssil. O processo libera 11 toneladas de CO<sub>2</sub> para cada tonelada de hidrogênio adicionado.

Os estrategistas dedicados à segurança nacional devem compreender tais detalhes técnicos e também estarem cientes de que todas as aeronaves militares e veículos de combate, bem como as frotas de linhas aéreas civis devem empregar o biocombustível hidrotreatado. Mesmo antes de passarem pelo hidrotreatamento, os *EROIs* de biocombustíveis, calculados via estudos de ciclo de vida rigorosos, em escala comercial completa, atravessam a gama de 1.9:1 para a soja<sup>39</sup> e bem abaixo de 1:1 para a microalga.<sup>40</sup>

A alga é a única cultura com potencial de rendimento suficientemente elevado para substituir o petróleo, sem consumir todo o território do país. Por esse motivo deve ser levada em consideração. Certas análises otimistas projetaram o alcance de *EROIs* mais elevados para esse tipo de biocombustível, mas é algo que a análise minuciosa dessas suposições não consegue corroborar. A alga depende de grande variedade de circunstâncias fora da real: suprimentos enormes de água e nutrientes; livre acesso, i.e., a possibilidade de completamente ignorar as restrições em vasto impacto ao ambiente e às Leis Econômicas que milagrosamente transformam as enormes acumulações de produtos derivados de biomassa saturada em produto primário com um valor por tonelada mais baixo do que o custo de transporte. Análise da literatura de *EROIs* de alga, levada a efeito pelo *National Research Council* encontrou resultados de 0.13:1 a 7:1, mas em casos mais elevados, os créditos energéticos de produtos derivados são insignificantes em comparação com a energia disponível ao consumidor em forma de combustível líquido—o *biodiesel*, na verdade, é o produto derivado e a biomassa sólida é o produto em si.<sup>41</sup> A alga é muito mais eficiente para a produção de *soylent green* [assistir ao filme do mesmo nome do gênero ficção científica para compreender seu significado] do que na produção de combustível verde. Seus adeptos declaram muitas vezes que a alga somente necessita de luz solar e de CO<sub>2</sub> para crescer. Em

prática, contudo, a necessidade de alto rendimento obriga o uso de fertilizantes à base de combustível fóssil, tipicamente sob a forma de uréia.<sup>42</sup> *Solazyme Inc.*, a seleção da Marinha dos Estados Unidos para o combustível à base de alga, atualmente cultiva seu produto em bioreatores escuros, empregando carbono e energia do hidrogênio sob a forma de açúcar. Isso faz com que seja singular na produção de biocombustível que depende 100 por cento de cultivo alimentício, obtendo 0 por cento de sua energia de luz solar, via fotossíntese direta—a pior das hipóteses.<sup>43</sup>

A Matemática pura e simples, porém decisiva, é que até mesmo em escala comercial, com previsões generosas de taxa de reprodução celular, fração lípida e extração de óleo, ignorando o custo de dependências e água, o *Argonne National Laboratory* calculou que leva 12 vezes mais energia e 2,6 vezes mais combustível fóssil para colocar um galão de *biodiesel* de alga em bomba de gasolina, comparado a um galão de *diesel* de petróleo—e isso antes do hidrotreamento.<sup>44</sup> A comparação direta de alternativas é sólida técnica de avaliação e a introdução de importante conceito econômico do custo da vantagem.

### **Os Ciclos de Vida do Combustível e o Custo da Vantagem**

Os novos combustíveis devem possuir um *EROI* acima de 6:1 e ir além das alternativas disponíveis para o mesmo propósito. Se o *EROI* for mais baixo e se o governo obrigar seu uso, a produção debilitará a energia de combustíveis de *EROIs* mais elevados e causará um déficit em energia para o setor econômico que servem.<sup>45</sup>

Comprova-se o fato quando comparamos os combustíveis de petróleo ao etanol de milho. Calculam-se os *EROIs* atuais de produção de gasolina e de *diesel* (petróleo) entre 10:1 e 20:1. Para uma abordagem conservadora, menos favorável ao petróleo, deve-se assumir um *EROI* de 8:1 que é o valor mais baixo calculado desde 1920.<sup>46</sup> Isso significa que o insumo de um barril de energia de combustível líquido consegue manter a exploração, perfuração, extração e refinação de petróleo para produzir outros oito barris de energia de combustível líquido<sup>47</sup>—o que, no caso do petróleo, resulta em bônus de um barril de

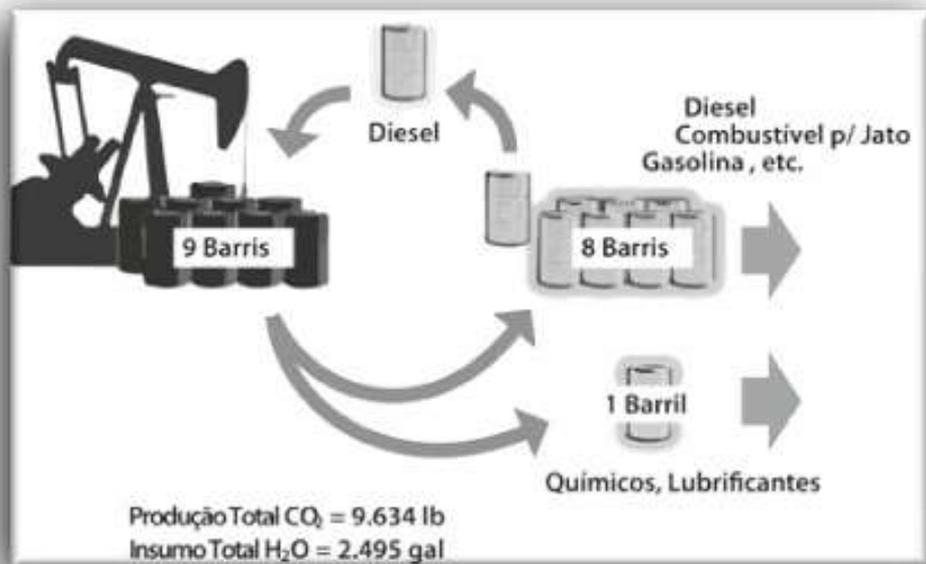
matéria-prima química para plásticos, lubrificantes, compostos orgânicos, químicos industriais e asfalto (ver fig. 2).<sup>48</sup>

Um *EROI* muito mais baixo, de 1.25:1 *EROI* (etanol de milho) significa que para obtermos o mesmo resultado líquido de oito barris de energia necessitamos *não de um, mas sim de 32 barris* em insumo energético.

Para o etanol, o resultado do rendimento lucrativo energético não é o combustível líquido, mas 5,5 toneladas de produto derivado para ração de gado.

Os 52 barris de densidade mais baixa de energia, menor compatibilidade e etanol mais corrosivo produzido como o produto primário contêm energia suficiente apenas para compensar pelos 32 barris de energia de combustível fóssil utilizados em sua produção. O ganho energético é zero.

Esse quadro é completamente diferente daquele pintado pela literatura que defende os biocombustíveis, porque demonstra o verdadeiro ciclo de vida e quanto custa essa “vantagem”, e não apenas a comparação enganosa entre a combustão de um barril de óleo e um barril de etanol.



**Figura 2. Ciclo de vida de motor a petróleo com um *EROI* de 8.0:1**

Os biocombustíveis só poderão substituir os combustíveis de petróleo, de verdade, quando os *EROIs* de ambos convergirem, o que não ocorre se o primeiro for um parasita energético do outro. Esse tipo de dependência proíbe qualquer possibilidade de redução do uso de petróleo estrangeiro, suprimento doméstico, ou preços estabilizadores.

O preço do biocombustível líquido já é tão volátil como o do petróleo e sobe e desce de acordo com o mercado petrolífero internacional.<sup>49</sup> A obtenção de combustível da indústria agrícola aumenta ainda mais a volatilidade do preço, adicionando outro vínculo aos mercados de comodidades agrícolas globais.

A segurança energética decresce com a seleção de combustível sujeito à inundações, geadas e secas. Além do mais, deve principiar do zero todo ano, sem reservas comprovadas.

Para sumarizar, o ciclo de vida do etanol de milho demonstrado na figura 3 é a transformação de 4,7 toneladas (180 *gigajoules*) de combustível fóssil de alta qualidade e 11.000 toneladas de água fresca em 7,2 toneladas de aditivo de combustível etanol de baixa qualidade (180 *gigajoules*) e 18,5 toneladas de equivalente ao CO<sub>2</sub>. Tudo isso para a produção líquida de 5,5 toneladas de suplemento protéico.<sup>50</sup> Do ponto de vista de custo da vantagem, um barril de energia de combustível fóssil consegue produzir 340 libras de *DDGS* ou seja, 2.200 libras (336 galões, 1 tonelada métrica) de combustível de petróleo.

O meio econômico mais eficiente de gerarmos suprimento para ração pecuária selecionada pelos agricultores norteamericanos na ausência de subsídios de etanol é cultivar a soja, que fixa seu próprio nitrogênio e possui um teor de proteína 49 por cento maior, comparado aos 27 por cento do *DDGS*.<sup>51</sup>

Quando comparamos o ciclo de vida do combustível de petróleo (fig. 2), o ciclo de vida do etanol de milho (fig. 3) consome uma quantidade 3,5 maior de combustível fóssil, mais do que triplica as emissões *GHG*, aumenta o uso da água à três ordens de grandeza, adiciona custos ambientais, devido ao escoamento agroquímico, sofrendo ao mesmo tempo, aqueles associados ao petróleo. Além do mais compete com o cultivo de produtos alimentícios em disponibilidade de terra para o plantio, bem como capital e recursos associados à produção agrícola.

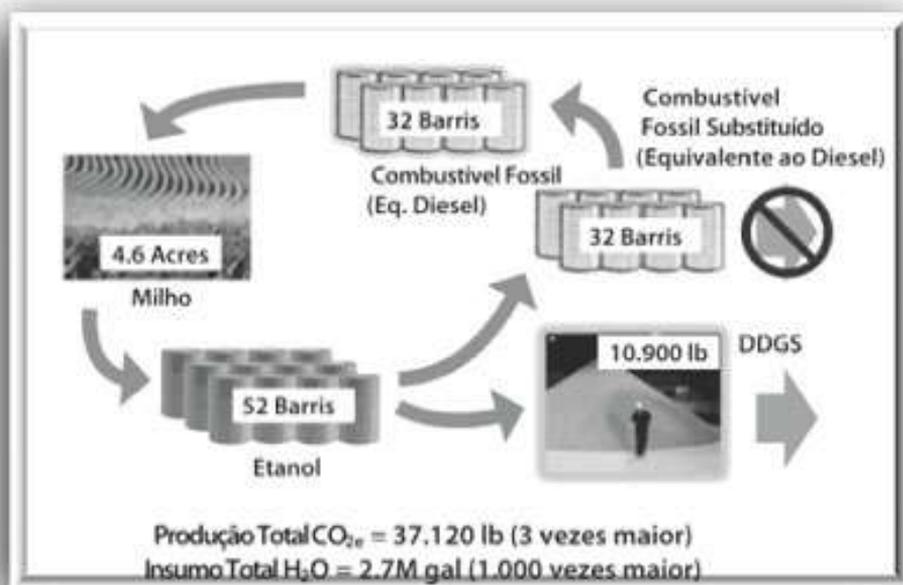
Exame mais minucioso revela como é espinhoso o problema da dependência de biocombustíveis em combustível fóssil. Esse último fornece 82 por cento de toda a energia para os Estados Unidos, inclusive a vasta maioria da energia elétrica e 94 por cento do transporte do combustível líquido.<sup>52</sup> Supre o combustível para o equipamento agrícola, calefação e eletricidade das dependências de processamento utilizadas para a manufatura de biocombustíveis.

O petróleo e o gás natural também fornecem a matéria-prima para: a gigantesca indústria organoquímica dedicada à manufatura de herbicidas e pesticidas aplicados durante o cultivo das culturas destinadas ao biocombustível; as enzimas manipuladas [*designer enzymes*] utilizadas nas abordagens de tecnologia de ponta; a energia necessária para preparar as imensas culturas de fermento e micróbios

que produzem a fermentação dos açúcares e sua transformação em álcool; o imenso calor necessário para destilar a cerveja de 4 por cento de álcool em etanol anidro 99,5 por cento puro (em grande parte suprida pelo combustível fóssil).

Sem dúvida, a energia necessária para construir as biorefinarias, antes de tudo o mais, e para transportar o produto final ao mercado também utilizam, em sua maioria, o combustível fóssil.

Certas pessoas podem alegar que tudo o que acabamos de mencionar só ocorre porque os biocombustíveis ainda não alcançaram *aquele* quinhão do mercado para poder oferecer a energia requerida. No entanto, a verdade é que os biocombustíveis já existem há um século (a primeira usina de etanol celulósico foi inaugurada em 1910)<sup>53</sup> mas deixou de alcançar seu quinhão do mercado, porque resultou em péssimo investimento energético.



**Figura 3. Ciclo de vida de motor a etanol de milho com EROI de 1.25:1**

Essa incapacitação ocorre devido a perdas em energia termodinâmica de todas as transformações necessárias durante o processo, a fim de tornar um carboidrato sólido de baixa densidade energética em hidrocarboneto líquido de alta densidade energética. Se fossem utilizados como energia para sua própria manufatura, ou se pudessem competir sem subsídios, no final o lucro seria pouco ou inexistente para justificar sua colocação no mercado.<sup>54</sup>

Todo combustível com *EROI* inferior à taxa média provoca uma queda da mesma, multiplicando, e não reduzindo, a carga colocada nos combustíveis de *EROI* mais elevado.

O único meio de deslocar o uso de petróleo importado e aumentar a segurança nacional é com a produção doméstica de combustíveis de mais alto *EROI* do que o petróleo refinado. Um combustível desse tipo, não importa o que seja, será adotado imediatamente, porque seu mais baixo preço comprovará seu *EROI* mais elevado.<sup>55</sup>

Sem petróleo ou fonte de reposição para quantidades gigantescas de hidrogênio para a manufatura de amoníaco, todos os rendimentos da biomassa, em particular alimentos, cairão rumo ao que eram antes da descoberta monumental de Haber em 1909, que resultou em consequências devastadoras para o mundo.<sup>56</sup>

O aumento do uso de petróleo na manufatura de biocombustíveis acelera sua futura falta, solapa a segurança alimentícia internacional, é contraproducente no que se refere à metas de energia “verde e não é estratégia energética salutar.

## **O Custo Real dos Biocombustíveis**

### ***O custo militar***

Um dos objetivos centrais da nova Estratégia Energética Operacional [*Operational Energy Strategy*] do DoD é reduzir o custo militar para que o departamento consiga “transferir os recursos à

outras prioridades bélicas e economizar dinheiro para os contribuintes (imposto)".<sup>57</sup>

Os líderes civis da Marinha dos Estados Unidos citam a estatística de que um aumento de \$1 dólar por barril de petróleo aumenta o custo de combustível anual a \$31 milhões de dólares.<sup>58</sup> Ainda assim, o preço mais baixo que a Marinha já desembolsou para qualquer tipo de biocombustível até agora foi de \$1.123,50 dólares por barril.<sup>59</sup>

Desde 2007, as forças armadas gastaram \$61,9 milhões de dólares para adquirir 1,28 milhões de biocombustível, com uma média de mais de \$48 dólares por galão, ou seja, \$2.000 dólares por barril, custando \$88 milhões de dólares mais do que a compra de combustível convencional (fig. 4).<sup>60</sup> Isso não inclui mais de \$30 milhões de dólares pagos para pura pesquisa de combustíveis alternativos e outros milhões outorgados recentemente à biorefinarias, autorizados de acordo com a Lei de Produção de Defesa [*Defense Production Act*] em parceria com os Departamentos de Energia e Agricultura.<sup>61</sup>

**Figura 4. Aquisições de combustível pelo DoD (comparação)**

<b>Aquisições de Biocombustíveis pelo DoD</b>						
<b>Data</b>	<b>Contrato</b>	<b>Supridor</b>	<b>Combustível</b>	<b>Galões</b>	<b>\$ Total</b>	<b>Pe</b>
31 ago 2009	SP0600-09-D-0519	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-5	40.000	2.644.000	\$
31 ago 2009	SP4701-09-C-0040	<i>Solazyme</i>	Alga F-76	20.055	8.574.022	\$
1 set 2009	SP0600-09-D-0518	<i>Solazyme</i>	Alga JP-5	1.500	223.500	\$
15 set	SP0600-09-	<i>UOP (Cargill)</i>	Sebo JP-8	100.000	6.400.000	\$

2009	R-0704					
15 set 2009	SP0600-09-D-0520	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-8	100.526	6.715.137	\$
29 jun 2010	SP0600-09-D-0519	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-5	150.000	5.167.500	\$
26 jul 2010	SP0600-10-D-0489	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-8	34.950	1.349.070	\$
4 ago 2010	SP0600-10-D-0490	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-8	19.672	759.339	\$
31 ago 2010	SP0600-09-D-0520	<i>Sustainable Oils</i>	Camelina JP-8	100.000	3.490.000	\$
31 ago 2010	SP0600-09-D-0517	<i>UOP (Cargill)</i>	Sebo JP-8	100.000	3.240.000	\$
10 set 2010	SP4701-10-C-0008	<i>Solazyme</i>	Alga F-76	75.000	5.640.000	\$
26 ago 2011	SP4701-10-C-0008	<i>Solazyme</i>	Alga F-76	75.000	4.600.000	\$
23 set 2011	SP0600-11-R-0703	<i>Gevo</i>	De Álcool a JP-8	11.000	649.000	\$
30 set 2011	SP0600-11-D-0530	<i>UOP</i>	Bio JP-8	4.500	148.500	\$
30 nov 2011	SP0600-11-R-0705	<i>Dynamic Fuels (Tyson + Syntroleum) Solazyme</i>	Sebo & Alga JP-5 Sebo & Alga F-76	100.000 350.000	12.037.500	\$
23 set 2011	<i>DTRT5711C 10058</i>	<i>UOP</i>	<i>De Gevo Isobutanol a Combustível</i>	100	1.124.899	\$1

	<i>(DoT/FAA, not DoD)</i>		<i>p/ Aviação</i>			
02 fev 2012	N68936-12-P-0209	<i>Albemarle</i>	De Cobalto n-Butanol a Combustível <i>p/ Aviação</i>	55	245.000	\$4
<b>Aquisições de Combustível Sintético pelo DoD</b>						
6 jun 2007	SP0600-07-D-0486	<i>Equilon</i>	De Gás Natural a Querosene para Aviação	315.000	1.075.694	
26 jun 2008	SP0600-08-D-0496	<i>SASOL</i>	De Carvão a Querosene para Aviação	60.000	225.000	
3 jul 2008	SP0600-08-D-0497	<i>SASOL</i>	De Carvão a Querosene para Aviação	335.000	1.306.500	
30 set 2009	SP0600-09-D-0523	<i>Grupo PM</i>	De Gás Natural a Diesel	20.000	140.000	
<b>Aquisições de Combustível Convencional a Granel pelo DoD</b>						
AF 2010	Vários		<i>JP-8 Combustível p/ Aviação</i>	2.296M	5.201M	
			<i>JP-4 / Jet A-1</i>	1.249M	2.884M	
			<i>JP-5 Combustível</i>	541.8M	1.175M	

		<i>p/ Aviação</i>			
		<i>F-76 Óleo Combustível</i>	805.7M	1.816M	
		<i>Motor a Gasolina</i>	70.7M	174.1M	
AF 2011	Vários	<i>JP-8 Combustível p/ Aviação</i>	2.079M	6.478M	
		<i>JP-4 / Jet A-1</i>	1.246M	4.032M	
		<i>JP-5 Combustível p/ Aviação</i>	529.3M	1.572M	
		<i>F-76 Óleo Diesel</i>	875.9M	2.590M	
		<i>Motor a Gasolina</i>	59.0M	186.6M	

### O Custo à Nação

O preço por galão pago pelas Forças Armadas pelos combustíveis é somente uma fração do custo total do governo dos Estados Unidos. As autoridades governamentais constatam que a preocupação é séria acerca da volatilidade dos preços de petróleo. Os analistas citam estatísticas de que um aumento de \$10 dólares por barril diminuiria o avanço da economia norteamericana em 0,2 por cento e eliminaria 120.000 cargos no mercado de trabalho.<sup>62</sup> Ainda assim, o governo

federal voluntariamente paga mais de \$10 dólares por barril em subsídios para o biocombustível (fig. 5).<sup>63</sup> O Departamento de Energia (*DoE*) injetou \$603 milhões de dólares na construção de refinarias de biocombustíveis em 2010 como parte de \$7,8 bilhões em gastos anuais para biocombustíveis.<sup>64</sup>

Apesar de milênios da produção de etanol como bebida, 190 anos da produção de etanol como combustível e 6 anos de enormes subsídios, encargos governamentais e mercados garantidos desde 2005, atualmente um *joule* de energia produzido por etanol de milho ainda é mais caro do que um *joule* de energia produzido pela gasolina.

A *American Automobile Association* cita que desde dezembro de 2012 o preço corrigido de milhas por galão de etanol *E85* na bomba é de 40 centavos por galão mais alto do que a gasolina de melhor qualidade.<sup>65</sup>

Devido a obrigação de mesclar o etanol de mais baixa energia à gasolina, os consumidores pagaram \$8,1 bilhões de dólares na bomba para a energia que não foi colocada nos tanques de seus veículos. Quando adicionados aos \$6,1 bilhões de dólares em subsídios federais outorgados pelo Tesouro norteamericano e contribuintes, sob a forma de créditos tributários (etanol), os Estados Unidos pagaram um prêmio de \$14,2 bilhões de dólares em 2010<sup>66</sup> a fim de deslocar 6,4 por cento da energia de gasolina com o etanol — e a gasolina deslocada, mais barata, foi exportada.<sup>67</sup>

### **O Ganho da Nação**

Uma verdadeira fonte primária de energia, tal como uma verdadeira fonte de alimentos, não pode ser subsidiada. Deve, por definição, render muito mais energia (e riqueza) do que consome. Caso contrário, é um poço sem fundo de consumo energético. Aqueles que criticam o petróleo, clamam com frequência que é subsidiado. No entanto, quando levamos em conta ambos os lados da folha de balanço, verificamos que o dinheiro flui a outro lado.

Todos os subsídios federais e incentivos ao contribuinte para o petróleo e o gás natural em 2010, registrados oficialmente em todas as

agências governamentais e enviados ao Congresso, totalizaram \$2,82 bilhões de dólares, equivalente a 45 centavos por barril produzido domesticamente.

Em comparação, o governo federal recebeu o insumo de \$56,1 bilhões em contribuições tributárias das empresas petrolíferas e via impostos especiais sobre a gasolina e *diesel* vendidos a varejo, equivalente a \$9,01 por barril—um retorno de 2.000 por cento.<sup>68</sup> Os governos federais e estatais também coletaram quinhões similares em impostos e taxas. Não foi por intermédio de subsídios que os combustíveis fósseis aumentaram ao ponto de produzir 82 por cento da energia norteamericana, mas através de méritos em *EROI*, densidades de energia e força em competição com as alternativas energéticas.

O petróleo e o gás natural são verdadeiras fontes primárias de energia que alimentam e não esgotam o governo e a economia do país. A energia global de petróleo e gás natural é uma indústria de \$3,8 trilhões de dólares que completamente fornece subsídios às economias de maior rendimento [rendimentos de recursos naturais abundantes, particularmente de petróleo e minérios] de 10 nações petrolíferas e parcialmente fornece subsídios à economia de mais de 70 produtores.<sup>69</sup>

Somente nos Estados Unidos, existem 536.000 poços ativos de petróleo, 504.000 poços ativos de gás natural, dezenas de oleodutos que cruzam o continente, um sistema colossal de auto-estradas interestaduais, 17 milhões de barris-por-dia de capacidade de refinação, 160.000 postos de gasolina e uma fração de mercado global de \$1,5 trilhões de dólares da indústria de petróleo e gás natural estabelecida devido às margens de *EROI* de petróleo e gás natural.

**Figura 5. Os subsídios do governo federal norteamericano em 2010**

<b>Fonte de Energia</b>	<b>Subsídios Federais (milhões de dólares)</b>	<b>Produção Doméstica (equivalente a 1 milhão de barris de petróleo)</b>	<b>Subsídio por barril de energia produzida</b>
Carvão	\$1.358	3.793	\$0,36

Petróleo e Gás	\$2.820	6.229	\$0,45
Hidro	\$216	437	\$0,49
Nuclear	\$2.499	1.451	\$1,72
Geotérmica	\$273	36	\$7,63
Biomassa/ Combustível	\$7.761	747	\$10,39
Eólica	\$4.986	159	\$31,39
Solar	\$1.134	22	\$52,30
<b>Total</b>	<b>\$21.047</b>	<b>13.921</b>	<b>Média = \$1,</b>

### Densidade de Força e Utilização do Solo

Se o *EROI* e o preço não fossem suficientemente fatais, em si, as questões de utilização do solo e máxima capacidade também merecem consideração. O solo é um recurso nacional finito que se presta a muitos usos em constante competição.

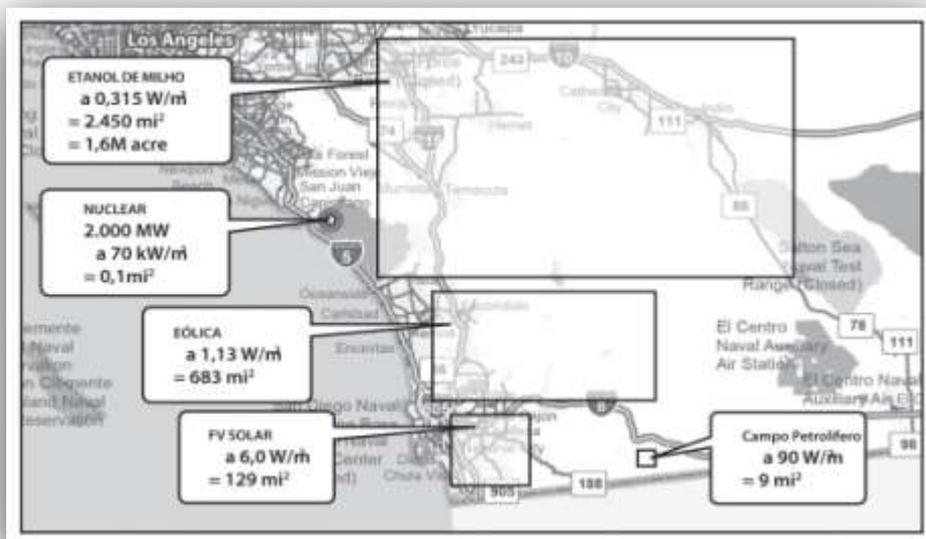
A produção de biocombustível é uma utilização incrivelmente ineficiente. A *densidade de potência*, cálculo essencial para a comparação de fontes de energia, oferece melhor ilustração. Os 70 galões de *biodiesel* por acre de soja e 500 galões de etanol por acre de milho é algo extraordinário, no entanto sombrio, em termos de densidade de potência, resultando em apenas 0,069 e 0,315 W/m<sup>2</sup> respectivamente.

Embora o milho seja 4,5 vezes melhor que a soja, está abaixo da energia eólica (1.13 W/m<sup>2</sup>), é 19 vezes pior do que a fotovoltaica [*Photovoltaic – PV*] solar (6.0 W/m<sup>2</sup>) e 300 vezes pior do que os 90 W/m<sup>2</sup> obtidos dos poços de petróleo tipo “cavalo de balanço” em terrenos de dois acres, o normal para os Estados Unidos.<sup>70</sup>

Trinta metros quadrados de painéis solares *PV*, dos mais baratos, captam a mesma quantidade de energia por ano que o etanol produzido em 10.000 metros quadrados (2,5 acres) de capim de rápido crescimento [*Panicum virgatum*].<sup>71</sup> Por coincidência, aproximadamente a mesma superfície que cada família americana típica necessitará para o cultivo de biomassa para cada um de seus carros. Por outro lado, aquela mesma superfície de terra, de maneira sustentável, serve para cultivar safras destinadas a alimentar 20 veganos, ou safras e indústria pecuária para alimentar aqueles 2,5 seres humanos que também consomem produtos pecuários.<sup>72</sup>

A fim de repor os 28 EJ [*exajoules*] de energia que os Estados Unidos utilizam anualmente só para automóveis, caminhões e aviões, necessitaríamos de 700+ milhões de acres de milho, ou seja: 37 por cento da área total do continente norteamericano; todos os 585+ milhões de acres de floresta; e o triplo+ da atual quantidade de solo para as safras cultivadas. O *biodiesel* de soja necessitaria de 3,2 bilhões de acres—um bilhão+ do que todo o território dos Estados Unidos, incluindo o Alasca. Os rendimentos de *biodiesel* de óleo de palma, de acordo com os relatos, alcançarão 640 gal/acre (6.000 L/ha), o que é, exatamente, o dobro da densidade de potência do etanol de milho. Ainda assim, está abaixo das energias eólica e solar. Como aludido anteriormente, o *biodiesel* da alga possui a densidade de potência mais elevada de qualquer outro biocombustível. No entanto, na melhor das hipóteses, de acordo com os limites das leis da Física e condições perfeitas de laboratório, é 6,42 W/m<sup>2</sup>—equivalente ao produzido atualmente pela fazenda solar da Base Aérea Nellis.<sup>73</sup>

A Figura 6 coloca em perspectiva a área terrestre do campo de petróleo, campo solar, campo eólico e plantio de milho necessários para suprir os 2.000 MW de energia produzidos pela Estação de Geração Nuclear de San Onofre [*Nuclear Generating Station*] em Oceanside, Califórnia.



**Figura 6. Densidade de potência “expansão energética”**

Os altos preços e a proteção ambiental em países desenvolvidos tornam proibitivo a possibilidade de milhões de acres dedicados a biocombustíveis, apesar de análises governamentais otimistas que pressupõem transformar a maior parte de florestas e terra arável em zonas agro-mercantis para biocombustíveis.<sup>74</sup> A realidade econômica força os fazendeiros energéticos a buscar terra para safras e direitos à água em países menos desenvolvidos. Os Estados Unidos e as nações europeias, em especial, indiretamente buscam terra estrangeira, através do consórcio *Blue Sugars* com a Petrobrás, onde o bagaço da cana de açúcar brasileira foi enviado aos Estados Unidos para ser processado.<sup>75</sup>

Uma análise do Banco Mundial em 2010 revelou que outros países ricos, inclusive a Arábia Saudita, a Coreia do Sul e a China estão tentando uma estratégia mais direta. Já adquiriram ou arrendaram mais de 140 milhões de acres de terra estrangeira e direitos hídricos para o cultivo remoto—88 milhões de acres para safras industriais e biocombustíveis. As apropriações principais de terra ocorreram no

Sudão e Etiópia, onde milhões vivem em condições precárias, recebendo víveres do programa Alimentos para o Mundo da ONU.<sup>76</sup>

Mesmo com a produção atual de baixa escala, o enorme apetite dos biocombustíveis pelo solo coloca-os em direta competição com o cultivo de produtos alimentícios. Não existe dúvida, entre o fogão e a bomba de gasolina, vence o fogão. Em última análise, não existe terra suficiente para ambos. Recente meta-estudo europeu e os outros 90 que o precederam concluíram que provavelmente apenas um-quinco da demanda energética mundial seria suprida pelos biocombustíveis, sem a necessidade de eliminar a carne da dieta humana e sem provocar mudanças enormes em utilização do solo, além dos 296 milhões de acres que já devem ser colocados em uso para alimentar a população em 2050.<sup>77</sup>

### **Combustível ou Alimento**

As safras cultivadas ao redor do mundo (milho, cana de açúcar, soja, palma e várias sementes oleaginosas) são responsáveis por toda a produção de biocombustíveis líquidos, estatisticamente significantes.<sup>78</sup> Os preços de mercado de cereais triplicaram em 2008 em todo o globo, refletindo o aumento repentino dos preços de petróleo, comprovando o vínculo entre as calorias alimentícias e as calorias energéticas do mundo moderno. O preço de cereais para os consumidores mais pobres aumentou em até 50 por cento, forçando mais de 8 por cento da população da África à inanição, resultando em aproximadamente 850 milhões de habitantes subnutridos no planeta.<sup>79</sup> Atualmente, os preços de mercado continuam sendo o dobro do que eram em 2007. Vários estudos relativos ao grande aumento do preço de alimentos em 2008 chegaram à conclusão de que até 70 por cento em aumento de preço do milho e 100 por cento em aumento de preço do açúcar foram devido ao desvio para seu uso em biocombustíveis.<sup>80</sup>

Um sindicato das agências mundiais de alimentos e assistência financeira mais importantes, inclusive o Programa Alimentos para o Mundo e a Agricultura e Alimentação [*World Food Program e Food and Agriculture Organization*] das Nações Unidas, formalmente preconizam que todas as nações do G20 devem eliminar subsídios e encargos

referentes aos biocombustíveis, devido ao impacto em preço de víveres.<sup>81</sup>

O fato é que toda safra cultivada – alimentícia ou não – compete com todas as outras safras cultivadas pelos recursos finitos: água, solo, agro-químicos, equipamento agrícola, transporte e financiamento. A maior demanda aumenta o preço para todos. Os biocombustíveis passam a ser enorme ameaça à segurança alimentícia e, por conseguinte, à estabilidade mundial – um fato que deve afetar as estratégias energéticas militares e políticas.

Atualmente, muitos analistas estudam o fenômeno da “Primavera Árabe” e reconhecem que o vínculo comum que permeou as verdadeiras aspirações políticas dos movimentos, tais como a revolução na Tunísia foi, sem dúvida, indignação em vista dos altíssimos preços dos produtos alimentícios. Tudo começou com “os distúrbios do pão” no Egito, devido ao término dos subsídios governamentais dedicados às safras de cereais. Tudo acabou em revolta e golpe de estado.

A população mundial acelera o passo para chegar aos nove bilhões em 2050, o que resulta em outras 140.000 bocas que devem ser alimentadas. O consumo de cereais cresce à razão de 40 milhões de toneladas ao ano.<sup>82</sup>

Ainda assim, devido aos enormes subsídios que corrompem o mercado, os Estados Unidos hoje produzem mais milho para o etanol do que para o consumo humano ou indústria pecuária.<sup>83</sup> Durante décadas, contava com super-abundância de produtos alimentícios empregados para resgatar outras nações em épocas de crise. A Administração do Pres. Lyndon Johnson em 1965 enviou um quinto da colheita de trigo à Índia, durante uma seca devastadora. Com terra inativa agora devorada pela produção de biocombustíveis, uma seca como aquela que destruiu 40 por cento da colheita de cereais na Rússia em 2010 seria catastrófica para a segurança nacional—em particular porque, tanto os alimentos, como o combustível, seriam afetados ao mesmo tempo. O governo norteamericano compreende o impacto negativo de biocombustíveis na produção de safras alimentícias. Um painel de cientistas nomeados pelo antigo *DoE* rejeitou o gasool por esse e outros ótimos motivos em 1980.<sup>84</sup>

Vinte-e-cinco anos após, os políticos subjugaram a ciência com a imposição de decretos, obrigando a mescla do etanol à gasolina, sem falar nos subsídios para o etanol de milho. Se nosso interesse principal for, na verdade, a paz global e a segurança, os fazendeiros norte-americanos devem deixar o combustível de lado e aumentar a produção de alimentos para o mercado crescente de exportações diretas às nações assoladas pela inanição.

### **Biocombustíveis ou o Ambiente**

Apesar das declarações de baixo *GHG* e emissões benéficas associadas aos biocombustíveis, o que ocorre é exatamente o contrário. Os biocombustíveis possuem, aproximadamente, as mesmas emissões de canos de escape e chaminés que os combustíveis convencionais. No entanto, recém e automaticamente foram proclamados “verdes” e “baixa emissão”, através de artifícios simplistas de contabilidade que calculavam que todo seu carbono era reciclado da atmosfera. Em sua maioria ignoraram os poluentes.<sup>85</sup> Estudos recentes e mais detalhados que consideram os ciclos de vida completos, da produção à combustão (figs. 2 e 3 acima) demonstram agora que os biocombustíveis líquidos cultivados causam maior dano ao ambiente, liberando maior quantidade de CO<sub>2</sub> e outros tipos de gás e poluentes por unidade de energia produzida do que os combustíveis fósseis.<sup>86</sup>

Até mesmo o impacto ambiental geral que advém da adição do etanol à gasolina, como composto oxigenado, resultou negativo—nada faz para melhorar as emissões dos carros manufaturados após 1993, reduzindo a economia em combustível de todos os veículos que o utilizam, aumentando as emissões de certos precursores da mescla fumaça/neblina (*smog*), bem como os riscos ambientais que ocorrem devido a vazamentos, em virtude de sua maior miscibilidade com a água.<sup>87</sup> O teor mais importante em novos estudos é a computação de alterações em uso do solo, impulsionadas pelo cultivo de biocombustíveis, tais como a queima de florestas para obter terra para safras. Essa prática, super disseminada, ocorre cada vez mais em toda parte, devido a biocombustíveis e libera, na atmosfera, séculos de carbono que havia sido sequestrado na biomassa florestal. Essas “queimadas” desferem duplo golpe, porque também destroem denso e

vivo bioma com seu enorme e perpétuo apetite pelo CO<sub>2</sub>. Os cálculos indicam que a conversão de solo virgem em grande escala para a produção de biocombustíveis já liberou e continua a liberar tamanha quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera que levará séculos para que possamos compensar esse surto com o carbono reciclado pelos biocombustíveis se, de fato, isso ocorrer. A queima contínua de milhões de acres de floresta e turfa para dar lugar à palma de óleo outorgou à Indonésia o terceiro lugar em produção mundial de CO<sub>2</sub>. Os Estados Unidos e a China continuam a manter o primeiro e segundo lugares nessa carreira destrutiva.<sup>88</sup>

### Água

O último ponto negativo dos biocombustíveis é sua demanda pela água. O impacto hídrico [*water footprint*] tem a ver com a quantidade de água doce consumida ou que resulta inútil para dado consumo. Isso ocorre via evaporação, remoção de porções inacessíveis do ecossistema ou contaminação química, tais como emissões industriais ou vazamento de fertilizante. O uso da água também entra em competição direta com a agricultura dedicada à produção de alimentos. No entanto, é ainda mais urgente e fundamental em si. Enquanto “o pico da produção de petróleo” continua a ser algo que continuará no futuro (a produção global de petróleo e reservas comprovadas alcançaram novos picos em 2011),<sup>89</sup> “a maior parte do mundo já alcançou seu pico hídrico”. Hoje, um terço de todos os países compõe a lista daqueles “carentes em água”. Duas em cada cinco pessoas não possuem água suficiente para saneamento básico. Quase uma em cinco não possui suficiente água potável.<sup>90</sup> Muitos cientistas e economistas notam a redução em nível de lençóis freáticos e aquíferos em fase de esgotamento, devido a bombeamento em excesso (inclusive os aquíferos enormes do *Central Valley* e *High Plains* nos Estados Unidos) e predizem que a tendência continuará a expandir, alcançando crise global antes de 2030.<sup>91</sup> A maior parte do Oriente Médio e número cada vez maior de nações, inclusive a China, Japão, Austrália e a Espanha dependem agora da dessalinização da água do mar para grande parte de água doce.<sup>92</sup>

A fim de colocar essa dependência em perspectiva, considerem o fato de que um portaviões nuclear norteamericano dessaliniza 400.000 galões de água por dia.<sup>93</sup> A demanda em dessalinização do mundo atual excede 78 milhões de metros cúbicos por dia, acarretando um crescimento anual de 11 por cento.<sup>94</sup> Isso equivale à capacidade de dessalinização de 51.500 portaviões e de outros 5.600 construídos a cada ano.

A Arábia Saudita atualmente está disposta a gastar um litro de energia em petróleo, equivalente ao etanol, para dessalinizar 200–300 litros de água.<sup>95</sup> Como é que esse tipo de sistema econômico se encaixa aos biocombustíveis?

A gasolina convencional possui um impacto hídrico de 2.3–4.4 litros de água por litro de energia equivalente ao etanol (L/L), inclusive água injetada no solo para aumentar o recobro de petróleo e a quantidade de água utilizada em refinarias.<sup>96</sup> Em contraste, as médias globais de biocombustíveis vão de (1.388 L/L) etanol de beterraba a etanol de milho (2.570 L/L) a *biodiesel* de soja (13.676 L/L) a *biodiesel* de colza (14.201 L/L) a *biodiesel* de pinhão manso (*jatropha curcas*) (19.924 L/L).<sup>97</sup>

A tecnologia de ponta atual para usinas de dessalinização de água salgada vão de 126 a 970 litros de água por litro de energia equivalente ao etanol.<sup>98</sup> Assim, de acordo com as melhores hipóteses possíveis, a matéria-prima de beterraba não pode produzir etanol suficiente para dessalinizar água necessária para cultivar safras substitutas, e menos ainda para fornecer o etanol restante para combustível. A enorme dependência de biocombustíveis em água significa que, na verdade, não são combustíveis sustentáveis em regiões onde a água esteja sendo esgotada.

*Nenhum dos cultivos de biocombustíveis é renovável em água dessalinizada.* De acordo com a atualização recém publicada da Ordem Executiva 13603 [*Executive Order 13603*] assinada pelo Presidente, que especifica as responsabilidades contidas na Lei de Produção de Defesa [*Defense Production Act*], o Secretário de Defesa é agora responsável pelo suprimento de água nos Estados Unidos.<sup>99</sup>

A difusão de biocombustíveis pelo *DoD* dá pausa para reflexão. Quando a Arábia Saudita e um terço do mundo estão dispostos a gastar um litro de combustível para conseguir menos de 1.000 litros de água, por quanto tempo conseguirão as outras nações gastar 10.000 litros de água para obter um litro de biocombustível?

### **Conclusões e Recomendações**

Em última instância, os biocombustíveis são limitados pela incidência de luz solar. Caso decidam basear-se exclusivamente em energia solar para cultivar a biomassa, sem adicionar energia de combustível fóssil, o *EROI* seria suficientemente elevado, mas a densidade de potência demasiadamente baixa, mesmo com o máximo desempenho de fotossíntese teórica. Se a produção for estimulada com hidrogênio ou carbono de combustível fóssil, a utilização deste último aumenta, o *EROI* do biocombustível cai vertiginosamente e arrasta consigo o resultado do *EROI* total, a densidade de potência continua sendo baixa demais e a civilização acaba ainda mais faminta pela energia. Para escapar ao dilema é necessário um suprimento de hidrogênio abundante de fonte não-fóssil. No entanto, a única possibilidade é remover o hidrogênio da água por intermédio de eletrólise, via energia nuclear. Se tal excesso de energia nuclear e hidrogênio estivesse disponível, seria utilizado diretamente para força e não para conversão de biomassa ineficiente. Esse é o dilema inescapável dos biocombustíveis.

A conversão de hidrocarbonetos de gás natural a fertilizante à base de amoníaco e depois a carboidratos de biomassa vegetal é uma sequência de transformações que irreversivelmente consome parte da energia disponível em cada passo. Pode-se justificar essa perda de energia se a safra cultivada for destinada à produção de víveres, sendo sua necessidade maior do que a energia utilizada para cultivá-la. No entanto, completar o ciclo, convertendo a biomassa de carboidrato vegetal uma vez mais em hidrocarbonetos para combustível faz de todo o processo uma analogia fútil da máquina de movimento perpétuo. As melhorias em tecnologia podem reduzir a quantidade de energia perdida em cada conversão mas não podem eliminá-la por completo. Qualquer tipo de madeira, capim, turfa, bagaço, carvão, gás natural ou

óleo traria maior benefício à civilização se usado direta e eficientemente como combustível pelo consumidor, cujas necessidades são compatíveis com suas limitações, em lugar de empregar sua energia para a manufatura de biocombustíveis.

Enquanto a preponderância de amoníaco e hidrogênio livre e compostos orgânicos utilizados na agricultura forem derivados de petróleo e gás natural, o cultivo de biocombustíveis desafia qualquer tipo de lógica. Os biocombustíveis nunca custarão menos ou tomarão o lugar de combustíveis fósseis enquanto os combustíveis fósseis forem utilizados como a energia principal empregada em sua produção.

Vamos imaginar um cenário onde as forças armadas dos EUA desenvolvem uma arma que ameaça milhões ao redor do mundo com: falta de alimentos; aquecimento global acelerado; incitação à instabilidade e revolução generalizadas e providenciasse aos nossos rivais e inimigos energia barata, reduzindo a economia norteamericana a permanente estado de recessão.

Que sentido teria e que senso de moral justificaria seu emprego?

Pois, o processo de sua manufatura já está em andamento—é nada mais nada menos do que o programa de biocombustíveis.

Para o bem de nossa estratégia energética nacional e segurança global devemos encarar o fato e rejeitar os biocombustíveis e, ao mesmo tempo, patrocinar uma estratégia energética nacional abrangente, compatível com as leis de Química, Física, Biologia e Economia. Essa estratégia revisada deve reconhecer vários aspectos principais:

Os hidrocarbonetos líquidos são ímpares como combustível para o transporte. Sua utilização para processar a biomassa que resulta em combustível para o transporte será prejudicial ao equilíbrio energético da civilização e deve ser evitada.

- Os combustíveis renováveis devem ser de fato renováveis em todos os seus ingredientes. Os biocombustíveis atualmente sob consideração deixam de satisfazer uma ou mais categorias de impacto hídrico, desgaste de nutrientes do solo, eutroficação, ciclo de vida do *GHG*, poluição atmosférica e equilíbrio energético abrangente.

- Nem mesmo os melhores biocombustíveis líquidos atuais possuem quaisquer possibilidades de simultaneamente alcançar o patamar *EROI* de 6:1 necessário para manter uma civilização moderna salutar e, ao mesmo tempo, conseguir os rendimentos em massa por acre necessários para suplantiar qualquer fração significativa do suprimento de energia nacional. O aumento dos rendimentos com o emprego de combustíveis de petróleo para: fertilizantes à base de amoníaco; matéria prima para pesticidas e herbicidas; combustível para o equipamento agrícola; transporte; energia para a usina de processamento; energia para o processo de destilação; matéria prima para enzimas; e hidrotratamento para o hidrogênio reduzem o *EROI* e cancelam todos os objetivos de energia limpa e verde.
- As diretrizes energéticas governamentais que restringem o desenvolvimento doméstico de fontes de energia e combustíveis de mais alto *EROI* de dada nação—tais como energia hidrelétrica, carvão, gás natural e petróleo—equivalem à obstruções em eficiência termodinâmica, bem-estar econômico e rivalidade internacionais. Por outro lado, as nações que perseguem as diretrizes de *EROIs* mais elevados contarão com maior probabilidade de incrementar suas economias e desfrutarão de todas as vantagens sobre os países limitados à fontes de mais baixo *EROI*.
- O governo norteamericano deve por um fim aos subsídios e diretrizes que prejudicam o mercado e que incentivam fontes de energia de baixo *EROI* acima de fontes de energia de *EROI* elevado.
- O petróleo e o gás natural são fontes primárias de energia verdadeira que impulsionam a agricultura moderna. Para conservar o petróleo como recurso limitado, é melhor utilizá-lo diretamente como combustível. Pode ser que o uso de energia de combustível fóssil para acelerar o crescimento de safras seja justificado, mas seu uso para acelerar o crescimento de cultivos para fins energéticos é um absurdo, pois o resultado é a redução de eficiência geral e maior consumo de petróleo puro. As diretrizes governamentais devem restringir o uso de fertilizantes à base de amoníaco artificial para o cultivo de safras dedicadas ao suprimento alimentar.
- O preço do petróleo, como o de qualquer outra matéria-prima do mercado livre mundial é volátil e sujeito à guerras, política e

conjecturas. No entanto, os biocombustíveis são sujeitos, tanto ao petróleo, como às forças do mercado agrícola e também estão à mercê do clima. O preço dos biocombustíveis comprovaram ser tão voláteis como o preço do petróleo e provavelmente aumentarão no momento em que terminarem os subsídios. Além do mais, é logicamente indefensável a compra de combustível a \$30,00 por galão, quando justaposta às preocupações acerca da volatilidade de preço de combustível a \$3,00 por galão.

- A tecnologia que mais necessita a mesma atenção dedicada ao Projeto Manhattan [*Manhattan Project*] pelos estrategistas especializados em estratégia global e laboratórios científicos nacionais é a produção de água, bem como a agricultura dedicada à alimentação para apoiar os nove bilhões de pessoas que habitarão o planeta em 2050. O governo deve cessar o financiamento para a construção de refinarias de biocombustíveis e em seu lugar oferecer incentivos para o aperfeiçoamento em produção de alimentos e maior eficiência em dessalinização de água.
- O melhor uso do solo e água agrícolas é produzir quantidade suficiente de alimentos e água para os Estados Unidos e reservar o excedente para o resto do mundo. Isso já foi e pode uma vez mais ser a maior contribuição à segurança e estabilidade mundiais.
- A biomassa é um intermediário ineficiente entre a energia solar e o combustível. Uma melhor abordagem seria ultrapassar por completo a criação de biomassa e diretamente sintetizar o combustível líquido de luz solar. O governo deveria deixar de financiar a pesquisa em biocombustível e, em seu lugar, oferecer incentivos fiscais para descobertas em fotossíntese direta de combustível, que é uma linha de pesquisa muito mais digna de nota.<sup>100</sup>
- O único uso sensível da biomassa como combustível é colher a biomassa não fertilizada de terreno não cultivado e consumi-la em sua presente condição, por exemplo, lenha para fogo, sem tentativas irracionais para transformá-la em combustível líquido.
- A melhor densidade de potência prevista para qualquer biocombustível já foi obtida com os painéis solares PV atuais. O

governo deve cessar os subsídios de biocombustíveis e em seu lugar recompensar o melhor desempenho de painéis solares *PV*.

- A autorização do uso de combustíveis fósseis de mais alto teor [*EROI*] para produzir biocombustíveis de menor teor [*EROI*] requer o consumo generalizado de maior quantidade de energia para produzir o mesmo rendimento em energia útil. A diretriz norte-americana atual referente a biocombustíveis está acelerando e não reduzindo o uso de combustíveis fósseis e também aumentando o ciclo de vida do dano ecológico e emissões *GHG*, devido a mudança em utilização destrutiva do solo ao redor do mundo, causando efeitos colaterais daninhos que resultam do uso de agro-químicos perigosos. Isso está em exata justaposição à máxima “limpa e verde”. O governo deve demarcar diretrizes que favoreçam e aperfeiçoem o uso de hidrocarbonetos para combustível e carboidratos para alimentos e não confundir ou solapar a eficiência de um ou de outro com sua mescla. Tal diretriz deve incluir a proibição do uso de fertilizantes e agro-químicos derivados de combustível fóssil para as safras de culturas destinadas à energia.
- O  $\text{CO}_2$  não é o único *GHG* existente. A agricultura é o líder em produção de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e um dos maiores produtores de metano ( $\text{CH}_4$ ). Combinados, constituem mais de 26 por cento dos efeitos atmosféricos atuais causados por *GHC*.<sup>101</sup> O governo deve estabelecer limites e cobrar impostos equitativos referentes a todos os gases estufa, proporcionais ao seu potencial em aquecimento global. Qualquer multa imposta por tonelada, relativa ao  $\text{CO}_2$ , deve ser cobrada contra  $\text{CH}_4$  a uma razão de 69 vezes sua proporção, e contra o  $\text{N}_2\text{O}$ , a 298 vezes sua proporção para refletir os potenciais relativos de aquecimento global por tonelada.<sup>102</sup>
- O governo federal e as forças armadas norte-americanas devem racional e juridicamente definir *renovável*, *sustentável* e *verde* e fazer cumprir com os padrões empíricos para satisfazer esses critérios baseados em análises rigorosas de ciclos de vida. A seção 526 da Lei de Independência e Segurança Energética [*Section 526 of the Energy Independence and Security Act*] de 2007 especifica que o ciclo de vida das emissões *GHG* de qualquer combustível alternativo ou sintético adquirido pelo governo norte-americano deve ser menor ou

igual a tais emissões de combustível convencional equivalente, proveniente de fontes de petróleo convencionais.<sup>103</sup> Em vista de pesquisa recente e para satisfazer o interesse em limitação de aquecimento global, o governo deve reexaminar todas as certificações da Lei §526 emitidas até agora para biocombustíveis e mesclas. Todas aquelas que deixam de considerar o ciclo de vida completo do biocombustível, compreendendo mudança do uso de solo para a produção de combustível, bem como combustão, ou que negligenciam emissões de N<sub>2</sub>O devem ser invalidadas.

- O ar global, o transporte à grandes distâncias e a agricultura dependem muito em energia de combustível fóssil. É improvável que combustíveis ou fertilizantes superiores sejam descobertos. Quando (se) o mundo esgotar o suprimento de combustíveis fósseis sem fonte alternativa de quantidades maciças de hidrogênio e carbono energéticos, a civilização imediatamente também ficaria sem combustível para o transporte. Uma vez que o cálculo comprova que os combustíveis fósseis estão chegando ao fim, o governo deve assegurar que existe capacidade elétrica excedente em usinas de energia não-fóssil para eletrolisar quantidades suficientes de hidrogênio da água para combustível, transporte e fins agrícolas.

O importante é saber que a estratégia energética nacional é nada menos do que um preparativo para a sobrevivência nacional. Os encarregados dessa estratégia ou que prestam assessoria às autoridades competentes devem ser bem versados em Química, Termodinâmica, Biologia e Economia, para que possam discernir a diferença entre avenidas promissoras de pesquisa e artificios fraudulentos de movimento perpétuo que desafiam as leis da Física, perdem tempo e esgotam o Tesouro nacional.

O principal é fazer com que os líderes e formuladores de diretrizes caminhem de mãos dadas com a ciência, adaptando as estratégias de segurança e energia, a fim de satisfazer os fatos objetivos. Uma estratégia energética eficaz para o país deve ser bem informada pela História e Ciência e deve explorar, e não desafiar, as leis naturais, a fim de aumentar a interdependência energética e a estabilidade globais.

## Notas

1. 10 USC §2924—“Definitions” contém definições de *segurança energética, energia operacional e fontes sustentáveis de energia*, entre outras, de acordo com especificações contidas na Lei de Autorização de Defesa Nacional [*National Defense Authorization Act*] de 2012, [http://www.law.cornell.edu/uscode/text/10/2924?quicktabs\\_8=1#quicktabs-8](http://www.law.cornell.edu/uscode/text/10/2924?quicktabs_8=1#quicktabs-8).

2. “How Much Petroleum Does the United States Import and from Where?” *Energy Information Administration*, 16 July 2012, <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=727&t=6>.

3. Ver James T. Bartis e Lawrence Van Bibber, *Alternative Fuels for Military Applications* (Santa Monica, CA: RAND, 2011), <http://www.rand.org/pubs/monographs/MG969.html>; e Dina Fine Maron, “Biofuels of No Benefit to Military—RAND,” *New York Times*, 25 January 2011.

4. Ver James T. Bartis, *Promoting International Energy Security* (Santa Monica: RAND, 2012), [http://www.rand.org/pubs/technical\\_reports/TR1144z1.html](http://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR1144z1.html); and National Research Council (NRC), *Renewable Fuel Standard: Potential Economic and Environmental Effects of U.S. Biofuel Policy* (Washington: National Academies Press, 2011).

5. *Bioenergy—Chances and Limits* (Halle, GE: Nationale Akademie der Wissenschaften—Leopoldina, 2012), [http://www.leopoldina.org/en/publications/detailview/?publication\[publication\]=433](http://www.leopoldina.org/en/publications/detailview/?publication[publication]=433).

6. NRC Committee on the Sustainable Development of Algal Biofuels, *Sustainable Development of Algal Biofuels in the United States* (Washington: National Academies Press, 2012).

7. Os organismos que possuem a toma da enzima hidrogenase [*hydrogenase uptake enzyme – HUP+*], tais como a bactéria do solo e da raiz de legumes, conseguem captar e oxidar o H<sub>2</sub> para transformá-lo

em  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$  e diretamente coletar aquela energia. Ver Z. Dong e *Energy Insecurity* e D. B. Layzell, “H<sub>2</sub> Oxidation, O<sub>2</sub> Uptake and CO<sub>2</sub> Fixation in Hydrogen Treated Soils,” *Plant and Soil* 229, no. 1 (2001): 1–12,

<http://www.springerlink.com/content/qp73k5770103075r/abstract/>.

8. Um litro de gasolina contém 116 gramas de hidrogênio e o hidrogênio líquido puro contém 71 gramas/litro.

9. As safras cultivadas reagem com aumento dramático em rendimentos à energia quando supridas de hidrogênio sob a forma de puro gás H<sub>2</sub> ou sob qualquer uma das formas da molécula de amoníaco, inclusive o amoníaco anidroso (NH<sub>3</sub>), o íon de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e ureia ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO). Em cada uma dessas moléculas, os átomos de hidrogênio são também os portadores de energia e são muito maiores em número do que o nitrogênio. Os estudos demonstram que fertilizar com puro gás de hidrogênio (H<sub>2</sub>) sem adicionar o nitrogênio aumenta muito a atividade da bateria no solo e a síntese da biomassa. Ver Dong e Layzell, “H<sub>2</sub> Oxidation, O<sub>2</sub> Uptake and CO<sub>2</sub> Fixation in Hydrogen Treated Soils”; e Dong et al., “Hydrogen Fertilization of Soils—Is This a Benefit of Legumes in Rotation?” *Plant, Cell and Environment* 26, no. 11 (November 2003): 1875–79.

<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-3040.2003.01103.x>. O emprego de fertilizante de amoníaco à safras que possuem grande quantidade de fixadores de nitrogênio, tais como a soja resulta, ainda assim, em ganhos consideráveis. Ver Richard B. Ferguson et al., “Fertilizer Recommendations for Soybean,” University of Nebraska Institute of Agriculture and Natural Resources, August 2006, <http://www.ianrpubs.unl.edu/live/g859/build/g859.pdf>. Para maiores detalhes em como o gás de hidrogênio e compostos de amoníaco servem de nutrientes para plantas e bactéria, ver Susanne Stein et al., “Microbial Activity and Bacterial Composition of H<sub>2</sub>-treated Soils with Net CO<sub>2</sub> Fixation,” *Soil Biology and Biochemistry* 37, no. 10 (October 2005): 1938–45; D. C. Ducat et al., “Rewiring Hydrogenase-Dependent Redox Circuits in Cyanobacteria,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no. 10 (8 March 2011): 3941–46, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3053959/>; e F. B. Simpson e R. H. Burris, “A Nitrogen Pressure of 50 Atmospheres Does Not Prevent Evolution of Hydrogen by Nitrogenase,” *Science* 224, no.

4653 (8 June 1984): 1095–97,  
<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.6585956>. Uma vez que o amoníaco fica disponível no solo ou nas raízes de plantas, quer seja fixado por bactéria ou pelo homem, reage com a água e o oxigênio e decompondo-se em íons de hidrogênio, gás de hidrogênio e íons de nitrato em processo denominado “nitrificação.” Esses subcomponentes servem de insumo de amálgamas de energia e elementos constituintes que apoiam uma miríade de outras reações e processos de biosíntese. A oxidação parcial do amoníaco produz o óxido nitroso, (GHG) e o gás de hidrogênio:  $2\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2$ . A completa decomposição do amoníaco e solução aquosa com o oxigênio produz íon de hidrogênio e de nitrato e completa a nitrificação:  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$ .

10. O fertilizante de nitrato de sódio, livre de hidrogênio ( $\text{NaNO}_3$ ) resultou em somente 0.046 por cento do emprego de fertilizantes de nitrogênio comercial em 2010. Virtualmente 100 por cento das 20 milhões de toneladas de fertilizante de “nitrogênio” usado anualmente nos Estados Unidos é à base de amoníaco e manufaturado com hidrogênio proveniente de gás natural. Ver “Fertilizer Use and Price,” USDA Economic Research Service, 4 May 2012, <http://www.ers.usda.gov/data-products/fertilizer-use-and-price.aspx>.

11. A bactéria simbiótica rizóbio de raízes obtém o açúcar da planta âncora e utiliza parte daquela energia e hidrogênio para emitir  $\text{NH}_3$  e gás  $\text{H}_2$ , transmitindo-os à planta e ao solo. A bactéria do solo metaboliza o amoníaco do solo e o  $\text{H}_2$  e utiliza essa energia para dissolver os minerais e materiais do solo, tais como a quitina e lignina contida no húmus, transformando-os em carbono reduzido e nutrientes minerais utilizáveis pela planta. Para verificar os vários aspectos do relacionamento da energia entre plantas, bactéria e amoníaco ver P. Mylona, K. Pawlowski e T. Bisseling, “Symbiotic Nitrogen Fixation,” *Plant Cell*, no. 7 (July 1995): 869–85, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC160880/>; Rifat Hayat et al., “Soil Beneficial Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion: a Review,” *Annals of Microbiology* 60, no. 4 (28 August 2010): 579–98, <http://rd.springer.com/article/10.1007/s13213-010-0117-1>; Guido Sanguinetti et al., “MMG: a Probabilistic Tool to Identify

Submodules of Metabolic Pathways,” *Bioinformatics* 24, no. 8 (21 February 2008): 1078–84, <http://bioinformatics.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/bioinformatics/btn066>; and V. N. Matiru, e F. D. Dakora, “Potential Use of Rhizobial Bacteria as Promoters of Plant Growth for Increased Yield in Landraces of African Cereal Crops,” *African Journal of Biotechnology* 3, no. 1 (2004): 1–7, <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/14908>.

12. Ernst Worrell et al., *Energy Use and Energy Intensity of the US Chemical Industry*, Lawrence Berkeley National Laboratory, April 2000.

13. A. M. Blackmer et al., “Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn in Iowa,” Iowa Cooperative Extension Service, May 1997, <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1714.pdf>.

14. Lance Gibson e Garren Benson, “Origin, History and Uses of Corn,” Iowa State University Department of Agronomy, revisado em janeiro de 2002, [http://www.agron.iastate.edu/courses/agron212/readings/corn\\_history.htm](http://www.agron.iastate.edu/courses/agron212/readings/corn_history.htm).

15. W. M. Stewart et al., “The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production,” *Agronomy Journal* 97, no. 1 (2005): 1, <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/97/1/0001>.

16. A proporção da *eficiência da acumulação de biomassa* amplamente reconhecida que é a fração da incidência total da energia solar convertida em biomassa, através da fotossíntese, é de 0,1 por cento para a maior parte das plantas terrestres. As plantas utilizam uma fração muito mais alta da energia solar, mas a maior parte destina-se à manutenção, tais como para evaporar a água das folhas, a fim de desempenhar as funções de absorção dos nutrientes do solo, indo, é claro, contra a força da gravidade. Conforme relatos, observou-se eficiência de 4 por cento (nível elevado) sob circunstâncias especiais. Seria possível incrementá-la a 8 por cento com a reestruturação humana e mecânica de enzimas. No entanto, obtém-se a mais alta eficiência durante fluxos de bem baixa luminosidade. A capacidade da

fotossíntese é saturada entre 20 e 50 por cento de máxima irradiação solar. As plantas sofrem dano radioativo sob esses níveis elevados. Ganhos em acúmulo líquido de biomassa continuam sendo inatingíveis. Ver X. G. Zhu, S. P. Long e D. R. Ort, “What Is the Maximum Efficiency with which Photosynthesis Can Convert Solar Energy into Biomass?” *Current Opinion in Biotechnology* 19, no. 2 (April 2008): 153–59, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958166908000165>; Robert E. Blankenship et al., “Comparing Photosynthetic and Photovoltaic Efficiencies and Recognizing the Potential for Improvement,” *Science* 332, no. 6031 (12 May 2011): 805–9; Harmut Michel, “The Nonsense of Biofuels,” *Angewandte Chemie International Edition* 51, no. 11 (12 March 2012): 2516–18, <http://doi.wiley.com/10.1002/anie.201200218>; and Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production*, chap. 1: “Biological Energy Production,” September 2012, <http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1>. Para a fotossíntese aquática, ver Kristina Weyer et al., “Theoretical Maximum Algal Oil Production,” *Bioenergy Research* 3, no. 2 (8 October 2009): 204–13, <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s12155-009-9046-x>.

17. O Laboratório Nacional de Energia Renovável [*National Renewable Energy Laboratory – NREL*] relata que a radiação solar através do espectro fornece energia ao deserto desnublado do sudoeste dos Estados Unidos a uma razão de 7.25 kWh/m<sup>2</sup>-dia = 302 W/m<sup>2</sup>. A uma eficiência de 0,1 por cento de acumulação de biomassa observada, equivale a 0.3 W/m<sup>2</sup> fornecido à biomassa vegetal, da qual somente uma fração pode ser eventualmente recuperada sob forma de combustível líquido. Ver “Concentrating Solar Resource: Direct Normal,” NREL, February 2009, [http://www.nrel.gov/gis/images/map\\_csp\\_us\\_10km\\_annual\\_feb2009.jpg](http://www.nrel.gov/gis/images/map_csp_us_10km_annual_feb2009.jpg).

18. Densidade de potência fotovoltaica solar (PV) AC de 6.0 W/m<sup>2</sup> é o mundo real, melhor hipótese, valor anualizado para grandes locais de fazendas solares nas latitudes sul dos Estados Unidos. Esse cálculo é baseado em análise empírica de quase cinco anos de desempenho real da usina de energia solar da Base Aérea Nellis (completada em

dezembro de 2007, a um custo de \$100 milhões de dólares com 72,416 painéis em 140 acres, agrupamento de rastreamento de eixo único, com capacidade declarada de 14MWpv.

19. Outras formulações de proporções de equilíbrio de energia incluem: renda energética sobre o investimento energético [*energy return on energy investment – EROEI*]; custo de energia para a produção de energia [*energy cost of energy – ECE*]; proporção de intensidade energética [*energy intensity ratio – EIR*]; e renda energética sobre o investimento [*energy return on investment – ERI*]. *EROI* [retorno energético sobre o investimento] é a terminologia mais comum utilizada em publicações, mas o debate continua acerca de que limites deve-se empregar na fórmula. O que se oferece aqui é a versão mais simples do conceito.

20. S. A. L. M. Kooijman, *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems* (Cambridge UK: Cambridge University Press, 2000).

21. Este ponto de inflexão também é correlacionado a gastos energéticos acima de 10 por cento do PIB. Ver C. W. King, “Energy Intensity Ratios as Net Energy Measures of United States Energy Production and Expenditures,” *Environmental Research Letters* 5, no. 4 (October 2010): 044006.

22. Charles A. S. Hall et al., “What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?” *Energies* 2, no. 1 (January 2009): 25–47.

23. David J. Murphy e C. A. S. Hall, “Year in Review—EROI or Energy Return on (Energy) Invested,” *Annals of the New York Academy of Sciences* 1185, no. 1 (January 2010): 102–18.

24. As contribuições de energia do eixo-X são os dados da *U.S. Energy Information Administration – EIA* para 2010 contidos no “Estimated U.S. Energy Use in 2010: ~98.0 Quads,” Lawrence Livermore National Laboratory, 2011, [https://flowcharts.llnl.gov/content/energy/energy\\_archive/energy\\_flow\\_2010/LLNLUSEnergy2010.png](https://flowcharts.llnl.gov/content/energy/energy_archive/energy_flow_2010/LLNLUSEnergy2010.png). As quantias *EROI* do eixo-Y são representadas em forma de elipses para captar a gama de quantias contidas em diferentes estudos

e para locais distintos. Essas quantias foram extraídas da síntese de estudos publicados, compilados pelo autor, incluindo os seguintes documentos: DoE, “Fact Sheet: Energy Efficiency of Strategic Unconventional Resources,” [http://fossil.energy.gov/programs/reserves/npr/Energy\\_Efficiency\\_Fact\\_Sheet.pdf](http://fossil.energy.gov/programs/reserves/npr/Energy_Efficiency_Fact_Sheet.pdf);

“EROI Update: Preliminary Results Using Toe-to-Heel Air Injection,” *Oil Drum*, <http://www.theoil Drum.com/node/5183/486247>; Megan C. Guilford et al., “A New Long Term Assessment of Energy Return on Investment (EROI) for U.S. Oil and Gas Discovery and Production,” *Sustainability* 3, no. 10 (October 2011): 1866–87, <http://www.mdpi.com//2071-1050/3/10/1866/>;

Nate Hagens, “Proper Calculation of Brazilian Sugarcane EROI,” *Oil Drum*, 24 March 2009; C. A. S. Hall, “Wave & Geothermal,” *Oil Drum*, 14 May 2008; Hall, “Why EROI Matters,” *Oil Drum*, 1 April 2008; Hall, “Provisional Results,” *Oil Drum*, 8 April 2008; Hall, “Unconventional Oil: Tar Sands and Shale Oil,” *Oil Drum*, 15 April 2008; Hall, “Nuclear Power,” *Oil Drum*, 22 April 2008; Hall, “Solar, Wind and Hydro,” *Oil Drum*, 29 April 2008; Hall et al., “What Is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?”; Hall et al. “Seeking to Understand the Reasons for Different Energy Return on Investment (EROI) Estimates for Biofuels,” *Sustainability* 3, no. 12 (13 December 2011): 2413–32; Hill et al., “Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 30 (2006): 11206; King, “Energy Intensity Ratios as Net Energy Measures of United States Energy Production and Expenditures”; King e Hall, “Relating Financial and Energy Return on Investment,” *Sustainability* 3, no. 10 (11 October 2011): 1810–32; David J. Murphy, “The Energy Return on Investment Threshold,” *Oil Drum*, 25 November 2011; Murphy et al., “New Perspectives on the Energy Return on (Energy) Investment (EROI) of Corn Ethanol,” *Environment, Development and Sustainability* 13, no. 1 (11 July 2010): 179–202; Murphy et al., “Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels,” *Sustainability* 3, no. 10 (17 October 2011): 1888–1907; Tad W. Patzek, “A First-Law Thermodynamic Analysis of the Corn-Ethanol Cycle,” *Natural Resources Research* 15, no. 4 (22 February 2007): 255–70; Bruce Pile, “The Alternative Energy No One Is Thinking About,” *Seeking Alpha*; David Pimentel e Tad Patzek, “Ethanol Production: Energy and Economic

Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane,” *Natural Resources Research* 16, no. 3 (21 August 2007): 235–42; e Hosein Shapouri et al., “Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol,” *Agricultural Economic Report* 721 (July 1995).

25. As quantias *EROI* para o etanol de milho na documentação publicada vão de 0,7–1,7:1 com uma quantia média de 1,2:1. Muitos meta-estudos compararam e contrastaram os documentos e abordagens *EROI* múltiplos. Este autor julga que o estudo individual mais completo e oficial é o de Hill et al., “Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels.” Esse estudo é um dos vários que promulgam uma quantia de 1,25:1 e que chega à conclusão de que qualquer equilíbrio de energia positiva depende inteiramente em outorgar créditos energéticos a produtos derivados. Considerou-se o meta-estudo recente mais completo e oficial (contendo o levantamento das análises individuais múltiplas de ciclos de vida do etanol de milho) o de Murphy et al., “New Perspectives on the Energy Return on (Energy) Investment (*EROI*) of Corn Ethanol.” Esse estudo é, na verdade, menos favorável e encontra um *EROI* neutro de 1:1. Dois estudos financiados pela *USDA* encontraram quantias de 1,24:1 em 1995 e 1,34:1 in 2002. Shapouri et al., “Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol”; e Shapouri et al., *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update* (Washington: *USDA*, July 2002).

26. Calcula-se o *EROI* de etanol de milho puro, dividindo-se o *EROI* de 1,25:1 do híbrido etanol de milho-petróleo pelo *EROI* de 8:1 de petróleo puro para um rendimento de 0.156:1 ~ 1:6. (analisado mais tarde sob o sub-título “O Custo da Oportunidade”)

27. Tad Patzek, “A Probabilistic Analysis of the Switchgrass Ethanol Cycle,” *Sustainability* 2, no. 10 (30 September 2010): 3158–94, <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/10/3158/>.

28. M. R. Schmer et al., “Net Energy of Cellulosic Ethanol from Switchgrass,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 2 (15 January 2008): 464–69.

29. National Academy of Sciences, *Renewable Fuel Standard*.

30. O setor de etanol celulósico ficou abalado recentemente pela eliminação de *Range Fuels*, o modelo do ávido defensor de biocombustíveis, Vinod Khosla, recebedor da primeira garantia de empréstimo de \$64 milhões de dólares para biocombustíveis da *USDA* em 2010. Esse fracasso foi ainda maior do que o escândalo da fraude e colapso da *Cello* em 2009, que foi o *Solyndra* de etanol celulósico.

31. Randy Schnepf e Brent D. Yacobucci, *Renewable Fuel Standard (RFS): Overview and Issues* (Washington: Congressional Research Service [CRS], 14 October 2010), [http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc31329/m1/1/high\\_res\\_d/R40155\\_2010Oct14.pdf](http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc31329/m1/1/high_res_d/R40155_2010Oct14.pdf).

32. Ver “2012 RFS2 Data,” Environmental Protection Agency, 19 July 2012, <http://www.epa.gov/otaq/fuels/rfsdata/2012emts.htm>; “Producing Sustainable Fuel Ethanol Today,” Blue Sugars Corporation, <http://bluesugars.com/technology-production.htm>; Meghan Sapp, “Petrobras, KL Energy Extend Cellulosic Ethanol Development Agreement,” *Biofuels Digest*, 26 June 2012, <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/06/26/petrobras-kl-energy-extend-cellulosic-ethanol-development-agreement/>; e *Federal Register* 77 no. 5 (9 January 2012), <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2012-01-09/html/2011-33451.htm>.

33. Matthew Wald, “Companies Face Fines for Not Using Unavailable Biofuel,” *New York Times*, 9 January 2012.

34. Para *Gevo*, ver Kevin Bullis, “To Survive, Some Biofuels Companies Give Up on Biofuels,” *MIT Technology Review*, 21 December 2011, <http://www.technologyreview.com/energy/39371/>. Para *Amyris*, ver Sophie Vorrath, “Biofuels: Have the Republicans Guttled Green Fuel?” *Renew Economy*, 17 May 2012, <http://reneweconomy.com.au/2012/biofuels-have-the-republicans-guttled-green-fuel-62642>. Para *Cellana*, ver Jim Lane, “Shell Exits Algae as It Commences a ‘Year of Choices,’” *Renewable Energy World*, 31 January 2011, <http://www.renewableenergyworld.com>

/rea/news/article/2011/01/shell-exits-algae-as-it-commences-year-of-choices.

35. Jim Lane, “The October Surprise: BP Cancels Plans for US Cellulosic Ethanol Plant,” *Renewable Energy World*, 26 October 2012, <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/10/the-october-surprise-bp-cancels-plans-for-us-cellulosic-ethanol-plant>. Quando da redação deste artigo, a *ZeaChem Inc.*, fundada em 2002 e recebedora de \$297.5 milhões de dólares em subvenções e garantias de empréstimo do *DoE* e do *USDA* operava sua biorefinaria de 250.000 gal/ano em Oregon como dependências de demonstração, o que significa que o produto não é competitivo no mercado. A *Logen* do Canadá ainda opera suas dependências de etanol celulósico de 1.200 gal/dia em modo de demonstração com um total de produção desde 2004 alcançando uma média de menos de 200 gal/dia. A *KiOR* inicia sua nova biorefinaria de 10 milhões de gal/ano em Mississippi. Os investidores e a *EPA* receberam a promessa de que irá gerar vendas e lucros competitivos de gasolina e *diesel* de madeira. A *INEOS Bio* está em processo de receber autorização para usina de etanol celulósico de 8 milhões de gal/ano na Flórida. As expectativas para esses investimentos maciços de capital já estão em fase de debilitação com o emprego de terminologia tais como planta de “demonstração comercial” ou “demonstração de segunda geração” e as datas de metas para o alcance de lucros estão em constante mudança, projetadas para anos em futuro incerto. Se essas dependências enormes continuarem a ser “usinas de demonstração” significa que, uma vez mais, as promessas não foram cumpridas. Mesmo se de uma ou outra forma alcançarem lucros marginais sob o regime de subsídios de biocombustíveis e ordens para mesclar os produtos e taxas de carbono, ainda assim serão obrigadas a encarar um problema insolúvel de capacidade, devido a densidade de potência insondável.

36. Ver Jim Lane, “Coskata Switches Focus from Biomass to Natural Gas; To Raise \$100M in Natgas-Oriented Private Placement,” *Biofuels Digest*, 20 July 2012, <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/07/20/coskata-switches-from-biomass-to-natural-gas-to-raise-100m-in-natgas>

-oriented-private-placement/; and Kevin Bullis, “Biofuels Companies Drop Biomass and Turn to Natural Gas,” *MIT Technology Review*, 30 October 2012, <http://www.technologyreview.com/news/506561/biofuels-companies-drop-biomass-and-turn-to-natural-gas/>.

37. Alan Shaw, ex-Diretor-Presidente da Codexis, declarou que “os carboidratos não substituem o petróleo. Cometi um erro. Admito. [Eles] jamais substituirão o petróleo porque a dinâmica não funciona. Não se pode tomar carboidratos e convertê-los em hidrocarbonetos de forma econômica. . . É um golpe mortal o fato de que o rendimento máximo é de aproximadamente 30 por cento.” Citado em Bullis, “Biofuels Companies Drop Biomass.”

38. O *Hidrotratamento* é um termo coletivo frequentemente utilizado para uma série de processos necessários para refinar ou aperfeiçoar os biocombustíveis em verdadeiros hidrocarbonetos que são substitutos compatíveis ao *drop-in* para empregos de hidrocarbonetos convencionais. Esses passos incluem: hidrogenização, desoxigenação, *fissuramento*, isomerização, fracionamento, utilizando aditivos, à medida que se tornam necessários para ajustar a densidade energética, cetano, octano, volatilidade, propriedades de fluxo frio e lubricidade. Ver Carlo Muñoz, Jon Van Gerpen e Brian He, *Production of Renewable Diesel Fuel*, National Institute for Advanced Transportation Technology, University of Idaho, June 2012, [http://ntl.bts.gov/lib/46000/46200/46277/KLK766\\_N12-08.pdf](http://ntl.bts.gov/lib/46000/46200/46277/KLK766_N12-08.pdf).

39. Hill et al., “Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels.”

40. Registrou-se um *EROI* de 1:1 (300 GJ de insumo vs. 317 GJ de rendimento) quando biomassa de alga seca ao sol era queimada inteira, em fornalha, extraíndo uma quantidade termodinâmica 100 por cento perfeita de *HHV* sem tentar convertê-la em combustível líquido. Ver Andres F. Clarens et al., “Environmental Life Cycle Comparison of Algae to Other Bioenergy Feedstocks,” *Environmental Science & Technology* 44, no. 5 (March 2010): 1813–19. Um estudo que levou em consideração o passo dispendioso da conversão de biomassa-a-combustível líquido chegou à conclusão de que a energia de insumo

requerida, só para a circulação de água nos tanques de cultivo, excedia o rendimento de energia do *biodiesel* por um fator de sete. Ver Cynthia F. Murphy e David T. Allen, “Energy-Water Nexus for Mass Cultivation of Algae,” *Environmental Science & Technology* 45, no. 13 (July 2011): 5861–68.

41. NRC, *Sustainable Development of Algal Biofuels in the United States*.

42. Estequiometria fotossintética para a microalga típica:  $99.5 \text{ CO}_2 + 75.5 \text{ H}_2\text{O} + 7.5 \text{ CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{P}_2\text{O}_5 (+ \text{luz solar}) \rightarrow [\text{C}_{107} \text{H}_{181} \text{O}_{45} \text{N}_{15} \text{P}] + 119.75 \text{ O}_2$  [bióxido de carbono + água + ureia + fosfato (+ luz solar)  $\rightarrow$  microalga + oxigênio]. Nesse caso, um-sexto do hidrogênio (30 de 181 átomos) na microalga provém da ureia e não de água. A maioria das algas são cultivadas heterotroficamente com certa energia de hidrogênio e carbono providenciada sob a forma de amoníaco ou sacarina. O crescimento autotrófico da alga requer somente  $\text{CO}_2$ , água, fosfato, micronutrientes e luz solar, mas seu rendimento é reduzido. Ver E. D. Frank et al., *Life-Cycle Analysis of Algal Lipid Fuels with the GREET Model* (Oak Ridge, TN: DoE, August 2011), [http://greet.es.anl.gov/publication-algal\\_lipid\\_fuels](http://greet.es.anl.gov/publication-algal_lipid_fuels).

43. Robert Rapier, “Visit and Conversation with Executives at Solazyme,” *Consumer Energy Report*, 23 October 2011, <http://www.consumerenergyreport.com/2011/10/23/visit-and-conversation-with-executives-at-solazyme/>.

44. Frank et al., *Life-Cycle Analysis*. Energia total para produzir uma unidade prática de *biodiesel* de alga de 2,589,441 BTU vs. 219,183 BTU para produzir um unidade prática de *diesel* convencional de baixo teor sulfúrico = proporção de 11.8:1. O custo da energia de combustível fóssil do poço-à-bomba de 548,329 BTU vs. 215,388 BTU produz um rendimento de 2.6:1 de proporção.

45. Murphy et al., “New Perspectives on the Energy Return on (Energy) Investment (EROI) of Corn Ethanol.”

46. O *EROI* de 8:1 do combustível de petróleo foi selecionado como valor conservador para flutuações de 8:1 a 24:1 registradas desde 1920, de acordo com Guilford et al., “New Long Term Assessment.”

47. O termo *barril de energia* é utilizado aqui para representar unidade genérica de energia para propósitos de comparação relativa. O termo é definido de forma mais específica como a energia em um barril de petróleo cru com o valor de 6.1306 GJ = 1.7029 MWh = 5.8106 MBTU. Um barril de petróleo cru possui, virtualmente, o mesmo conteúdo de energia de um barril de *diesel*.

48. A fração de petróleo cru que rende combustíveis comparada à matéria-prima é baseada em “What a Barrel of Crude Oil Makes,” *Texas Oil & Gas Association*, <http://www.txoga.org/articles/308/1/WHAT-A-BARREL-OF-CRUDE-OIL-MAKES>. O CO<sub>2</sub> da fabricação de combustível: 1 bbl x 42 gal/bbl of diesel @ 23.66 lb CO<sub>2</sub>/gal para a combustão *diesel* = 944 lb. O CO<sub>2</sub> da combustão de combustível (todos os produtos): 11 bbl de petróleo cru x 42 gal/bbl x 22.99 lb CO<sub>2</sub>/gal para a combustão de petróleo cru = 10,621 lb. Total CO<sub>2</sub>: 944 lb + 10,621 lb = 11,565 lb (contando todo o carbono na página = a pior hipótese). Insumo H<sub>2</sub>O = 9 bbl x 42 gal/bbl x 6.6 gal/gal = 2,495 gal. O impacto da utilização de água para o petróleo cobre todos os processos de extração e refinaria, inclusive injeção de água em poços mais antigos para recuperação secundária. O máximo valor de 6.6 galões de água por galão de gasolina é utilizado para fazer com que o cálculo seja tão conservador quanto possível e baseia-se em May Wu e Yiwen Chiu, *Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline—Atualização de 2011* (2008; Oak Ridge, TN: DoE, July 2011).

49. Ksenia Galouchko, “Ethanol Follows Gasoline Higher after Iran Blocks Base Access,” *Bloomberg*, 22 February 2012, <http://www.bloomberg.com/news/2012-02-22/ethanol-follows-gasoline-higher-after-iran-blocks-base-access.html>.

50. A Fig. 3 demonstra o mesmo rendimento de energia líquida da Fig. 2 (i.e., 8 bbl equivalentes ao *diesel*). Cada barril de insumo de energia equivalente ao *diesel* rende uma paridade energética em 1.625 bbl de etanol mais um lucro energético líquido equivalente a 0.25 bbl de *diesel* no produto *DDGS* derivado. O etanol possui 0.615 vezes a

densidade energética volumétrica do *diesel*. Assim, leva 52 bbl de etanol para igualar a energia em 32 bbl de *diesel*. As quantias de 478 gal/acre de rendimento de etanol e 5 lb/gal de etanol em rendimento de DDGS foram baseadas no levantamento de 2008 de 90 refinarias de etanol de moinho a seco, conforme relato de Steffen Mueller, “News from Corn Ethanol: Energy Use, Co-Products, and Land Use,” apresentação no Simpósio Near-Term Opportunities for Bio-refineries Symposium, Champaign, IL, 11–12 October 2010, [http://bioenergy.illinois.edu/news/biorefinery/pp\\_mueller .pdf](http://bioenergy.illinois.edu/news/biorefinery/pp_mueller.pdf). Terreno requerido para o campo de milho:  $52 \text{ bbl} \times 42 \text{ gal/bbl} = 2.184 \text{ gal} \div 478 \text{ gal/acre} = 4.57 \text{ acre}$ . Produto derivado DDGS:  $5 \text{ lb/gal} \times 2.184 \text{ gal} = 10.920 \text{ lb CO}_2$  da produção de combustível:  $32 \text{ bbl} \times 42 \text{ gal/bbl} \times 23.66 \text{ lb CO}_2/\text{gal diesel} = 31.799 \text{ lb}$ . Não se cobra  $\text{CO}_2$  para o consumo de etanol ou DDGS. Cálculos conservadores de equivalente a  $\text{CO}_2$ : Emissões  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) para os fertilizantes de milho = 2 por cento de  $150 \text{ lb/acre NH}_3 \times 4.6 \text{ acre} = 13.8 \text{ lb NH}_3 \times 82.35 \text{ por cento da fração de massa N de NH}_3 = 11.36 \text{ lb N} \div 63.64 \text{ por cento de fração de massa de N}_2\text{O} = 17.86 \text{ lb N}_2\text{O} \times 298 \text{ multiplicador para a equivalência de aquecimento potencial para o CO}_2 = 5.321 \text{ lb CO}_2\text{e}$ . Total de emissões  $\text{CO}_2$ :  $31.799 \text{ lb CO}_2 + 5.321 \text{ lb CO}_2\text{e} = 37.120 \text{ lb CO}_2\text{e}$ .  $\text{H}_2\text{O}$  para o etanol:  $52 \text{ bbl} \times 42 \text{ gal/bbl} \times 1.220 \text{ gal/gal} = 2.66\text{M gal}$ . (impacto médio da utilização da água nos EUA para o etanol de milho é  $1.220 \text{ gal/gal}$ , de acordo com Winnie Gerbens-Leenes et al., “The Water Footprint of Bioenergy,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, no. 25 [3 June 2009]: 10219–23, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812619106>).  $\text{H}_2\text{O}$  para o *diesel*:  $32 \text{ bbl} \times 42 \text{ gal/bbl} \times 6.6 \text{ gal/gal} = 8.870 \text{ gal}$ . Total  $\text{H}_2\text{O} = 2.66\text{M} + .009\text{M} = 2.67\text{M gal}$  (o impacto da utilização da água para a gasolina é de  $6.6 \text{ gal/gal}$ , de acordo com Wu e Yiwen, *Consumptive Water Use*).

51. Hall et al., “Seeking to Understand the Reasons for Different Energy Return on Investment (EROI) Estimates for Biofuels.”

52. *Annual Energy Review 2011* (Washington: Energy Information Agency, September 2012), <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf>.

53. E. C. Sherrard e F. W. Kressman, “Review of Processes in the United States Prior to World War II,” *Industrial & Engineering Chemistry*

37, no. 1 (January 1945): 5–8, <http://pubs.acs.org/toc/iechad/37/1>.

54. O ponto de partida para toda fonte de energia primária ou combustível em potencial é demonstrar a habilidade de iniciar operações em escala e produtividade energética sem assistência extraordinária e possuir um *EROI* acima de 6:1. Para competir comercialmente deve ser equivalente à, ou exceder a média nacional atual (aproximadamente 12:1 para os Estados Unidos). Um combustível para o Século XXI, de verdade, deve produzir suficiente energia lucrativa para estabelecer sua própria infraestrutura de produção e distribuição, como o carvão e o petróleo o fizeram nos dois séculos antecedentes. Tal ponto rapidamente revela que a qualidade da energia calculada em *EROI*, densidade energética, densidade de potência e capacidade de entrega (i.e., passível de controle no local de entrega da energia, bem como horário de entrega e preço) são tão importantes como o rendimento total de energia. Até alcançarmos esse nível de desempenho, o recurso energético é um experimento em pesquisa e desenvolvimento que não pode sobreviver sem subsídios. Por outro lado, todo possível combustível que recebe subsídio líquido não é, por definição, uma fonte de energia.

55. Para firme correlação entre o *EROI* e o preço, ver C. W. King e C. A. S. Hall, “Relating Financial and Energy Return on Investment,” *Sustainability* 3, no. 10 (October 2011): 1810–32; e Murphy et al., “New Perspectives on the Energy Return on (Energy) Investment (*EROI*) of Corn Ethanol.”

56. Uma fonte alternativa de hidrogênio é a eletrólise da água. Isso só pode ser feito com novas fontes maciças de energia elétrica. Se tal força estivesse disponível, empregariamos o hidrogênio resultante diretamente como combustível e não nos preocupariamos com o processo menos eficiente de cultivar biomassa para conversão em biocombustíveis.

57. *Energy for the Warfighter: Operational Energy Strategy* (Washington: DoD, May 2011), [http://energy.defense.gov/Operational\\_Energy\\_Strategy.pdf](http://energy.defense.gov/Operational_Energy_Strategy.pdf).

58. David Miller, “Biofuels Conference: Secretary of the Navy Says Military Can Lead the Way in Alternative Energy,” *Dispatch* (Starkville, MS), 7 October 2011, <http://www.cdispatch.com/news/article.asp?aid=13418>.

59. Os \$26.75 por galão para o biocombustível de Dynamic Fuels x 42 gal/bbl = \$1.123.50 por barril. O preço mais elevado foi de \$4.454.55 dólares por galão = \$187.089.00 por barril. Ver fig. 5 para maiores detalhes.

60. Os dados de quantidade e preços foram obtidos de *sites* governamentais oficiais em 2012 e tabulados por número de contrato na fig. 4. As fontes incluem a página do “Federal Procurement Data System—Next Generation” da General Services Administration, [https://www.fpds.gov/fpdsng\\_cms/](https://www.fpds.gov/fpdsng_cms/); página da FedBizOpps, <https://www.fbo.gov/>; “Bulk Petroleum Contract Awards,” Defense Logistics Agency: Energy, [http://www.energy.dla.mil/bulk\\_petroleum/Pages/Contract\\_Awards.aspx](http://www.energy.dla.mil/bulk_petroleum/Pages/Contract_Awards.aspx); and Defense Logistics Agency: Energy, *Fact Book: Fiscal Year 2011*, [http://www.energy.dla.mil/energy\\_enterprise/Documents/Factpercent20Bookpercent20FY2011percent20Rev.pdf](http://www.energy.dla.mil/energy_enterprise/Documents/Factpercent20Bookpercent20FY2011percent20Rev.pdf).

61. Ray Mabus, Steven Chu e Thomas J. Vilsack, “Memorandum of Understanding between the Department of the Navy and the Department of Energy and the Department of Agriculture,” June 2011, <http://www.rurdev.usda.gov/SupportDocuments/DPASignedMOUEnergyNavyUSDA.pdf>

62. Neelesh Nerurkar, *US Oil Imports: Context and Considerations* (Washington: CRS, April 2011).

63. Ver “Direct Federal Financial Interventions and Subsidies in Energy in Fiscal Year 2010,” Energy Information Agency, July 2011, <http://www.eia.gov/analysis/requests/subsidy/>; e *Annual Energy Review 2011*. As quantias de subsidio na tabela ES2 da primeira referência foram divididas pelos dados de 2010 da produção energética norte-americana para as respectivas formas de energia na segunda referência.

64. DoE, “Energy.gov/List of Awardees,” December 2011, <http://energy.gov/sites/prod/files/recoveryactfunding.xls>.

65. “AAA’s Daily Fuel Gauge Report,” American Automobile Association, 19 July 2012, <http://fuelgaugereport.opisnet.com/index.asp>.

66. Um galão de etanol contém somente dois-terços da energia de um galão de gasolina; se o preço for estabelecido de acordo com a paridade energética, seria dois-terços do preço. O preço médio da gasolina a varejo em 2010 (menos 18.4 cent/gal devido a impostos especiais ao consumidor) =  $\$2.58/\text{gal} \times 2/3 = \$1.72/\text{gal}$  (seria o preço do etanol). O preço a varejo médio de 2010 (E85) =  $\$2.40/\text{gal}$  (o que o etanol a varejo custou na verdade, de acordo com com aproximação rigorosa de custo). Quanto foi que os consumidores pagaram em excesso na bomba =  $\$2.40/\text{gal} - \$1.72/\text{gal} = \$0.68/\text{gal} \times 12$  bilhões de galões mesclados em 2010 =  $\$8.1$  bilhões. Para os preços e créditos tributários, ver tabela 17-1 e notas de rodapé do *Budget of the U.S. Government: Analytical Perspective Fiscal Year 2012*, Office of Management and Budget, (Washington: OMB, 2011); e tabela A12 of “Annual Energy Outlook 2012,” Energy Information Agency, June 2012, [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2012\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2012).pdf).

67. Steve Hargreaves, “Gasoline: The New Big U.S. Export,” *CNN Money*, 5 December 2011, [http://money.cnn.com/2011/12/05/news/economy/gasoline\\_export/index.htm](http://money.cnn.com/2011/12/05/news/economy/gasoline_export/index.htm).

68. Os dados do imposto de 2009 foram apresentados pela EIA como se fossem os mais recentes disponíveis. Foi um ano de rendas para os Serviços de Imposto de Renda [*Internal Revenue Service-IRS*] em particular péssimo re. impostos recebidos de empresas petrolíferas, devido ao colapso econômico; os dados de 2010 com toda a probabilidade serão bem maiores. As empresas petrolíferas pagaram  $\$13.7$  bilhões em impostos empresariais. Os consumidores pagaram  $\$42.4$  bilhões em impostos especiais de consumo, para um total de  $\$56.1$  bilhões em rendas para o governo federal, de acordo com “EIA Financial Reporting System Survey, Form EIA-28 Schedule 5112,

Analysis of Income Taxes,” *Energy Information Agency*, 2009, <ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/energy.overview/frs/s5112.xls>. Quando dividimos \$56.1 bilhões de dólares pelos 6.23 bilhões de barris de petróleo e gasolina produzidos domesticamente em 2010 obtemos \$9.01 por barril. Os impostos federais especiais pagos pelos consumidores na bomba foram de 18.4 centavos por galão de gasolina e 24.4 centavos por galão de *diesel*.

69. “Market Cap Stock Rankings for Major Integrated Oil & Gas Industry,” *YCharts*, 7 January 2013, [http://ycharts.com/rankings/industries/Major%20Integrated%20Oil%20&%20Gas/market\\_cap](http://ycharts.com/rankings/industries/Major%20Integrated%20Oil%20&%20Gas/market_cap).

70. Ver nota 18 para a derivação de densidade de potência solar. A densidade de potência eólica de 1.13 W/m<sup>2</sup> baseada em dados *NREL* recentes registraram um pico de 2.9 W/m<sup>2</sup> e 39 por cento de fator de capacidade média calculada através de instalações norteamericanas em 2000–2009 com declaração de capacidade de >20MW. Ver Paul Denholm et al., *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States*, *NREL*, August 2009, [www.nrel.gov/docs/fy09osti/45834.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45834.pdf). A densidade de potência do etanol de milho de 0.315 W/m<sup>2</sup> baseada em 500 gal/acre-ano, @ 76,321 BTU/gal LHV. A densidade de potência do *biodiesel* de soja de 0.069 W/m<sup>2</sup> baseada em 70 gal/acre-ano @ 119,545 BTU/gal LHV. A média de petróleo cru nos Estados Unidos (poço) em 2011 produziu 10.6 bbl/day @ 129,667 BTU/gal em terreno de 2 acres, o que equivale a ~90 W/m<sup>2</sup>. Ver *Annual Energy Review 2011*.

71. Patzek, “Probabilistic Analysis of the Switchgrass Ethanol Cycle.”

72. John Jeavons, *How to Grow More Vegetables: And Fruits, Nuts, Berries, Grains and Other Crops Than You Ever Thought Possible on Less Land Than You Can Imagine*, 6th ed. (Berkeley, CA: Ten Speed Press, 2004).

73. A pesquisa do *NREL* do *DoE* calculou a melhor hipótese para os rendimentos de alga de pura energia solar sem combustível fóssil ou incremento de energia sucoenergética a 6.500 gal/acre-yr *biodiesel* =

17.8 gal/acre-dia = 6.42 W/m<sup>2</sup> LHV. A *Sapphire Energy* calcula que alcançará 14 gal/acre-dia de *biodiesel* de alga em 300 acres em 2014. Ver “In Race to Algae Fuel, Sapphire Scores Point for Open Ponds,” *Sapphire Energy*, 6 September 2012, <http://www.sapphireenergy.com/news-article/1135734-in-race-to-algae-fuel-sapphire>. *Algenol*, utilizando cianobactérias de alga animal em lugar de alga de plantas micrófitas, produzindo etanol e não lípidos, recentemente anunciou que havia alcançado 21.9 gal/acre-dia de etanol. Isso equivale a 5.6 W/m<sup>2</sup> e ainda assim abaixo da PV solar atual. Ver Paul Woods, “About Algenol,” *Algenol Biofuels*, 27 September 2012, <http://www.algenolbiofuels.com/>.

74. Ver Robert Perlack et al., *Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply* (Oak Ridge, TN: DoE, 2005), <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA436753>; and Perlack and B. J. Stokes (leads), *U.S. Billion-Ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry* (Oak Ridge: DoE, 2011), [http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/billion\\_ton\\_update.pdf](http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/billion_ton_update.pdf).

75. Blue Sugars Corporation, <http://bluesugars.com/index.htm>.

76. Klaus Deininger et al., *Rising Global Interest in Farmland* (Washington: World Bank, 2011).

77. Raphael Slade et al., *Energy from Biomass: The Size of the Global Resource* (London: UK Energy Research Centre, 2011).

78. 41. Govinda Timilsina et al., *The Impacts of Biofuel Targets on Land-Use Change and Food Supply*, Iowa State University working paper, December 2010, <http://www.econ.iastate.edu/sites/default/files/publications/papers/p12206-2010-12-15.pdf>.

79. 42. *The State of Food Insecurity in the World* (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011), <http://www.fao.org/docrep/014/i2330e/i2330e.pdf>

80. Timilsina et al., *Biofuels*.

81. *Price Volatility in Food and Agricultural Markets: Policy Responses* (Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011).

82. Lester R. Brown, “New Geopolitics of Food.” *Foreign Policy*, May 2011, [http://www.foreignpolicy.com/articles/2011/04/25/the\\_new\\_geopolitics\\_of\\_food](http://www.foreignpolicy.com/articles/2011/04/25/the_new_geopolitics_of_food).

83. Melissa C. Lott, “The U.S. Now Uses More Corn for Fuel than for Feed,” *Scientific American*, 7 October 2011, <http://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/2011/10/07/the-u-s-now-uses-more-corn-for-fuel-than-for-feed/>.

84. David Pimentel et al., “Report of the Gasohol Study Group,” Energy Research Advisory Board, 29 April 1980.

85. Simon Eggleston et al., eds., *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 5 vols. (Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006); e Timothy Searchinger et al., “Fixing a Critical Climate Accounting Error,” *Science* 326, no. 5952 (23 October 2009): 527–28. <http://www.sciencemag.org/content/326/5952/527>.

86. Para exemplos de resultados de estudos recentes de que os biocombustíveis aumentarão o *GHG* e emissões que danificam o ambiente, ver William K. Jaeger e Thorsten M. Egelkraut, “Biofuel Economics in a Setting of Multiple Objectives and Unintended Consequences,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, no. 9 (December 2011): 4320–33, <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/biofuel-economics-in-a-setting-of-multiple-objectives-and-unintended-8FJ7IumYTW>; Yi Yang et al., “Replacing Gasoline with Corn Ethanol Results in Significant Environmental Problem-Shifting,” *Environmental Science & Technology* 46, no. 7 (5 March 2012): 3671–78, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es203641p>; Keith Smith e Timothy Searchinger, “Crop-based Biofuels and Associated

Environmental Concerns,” *GCB Bioenergy*, 7 June 2012; Thomas Walker et al., *Biomass Sustainability and Carbon Policy Study* (Brunswick, ME: Manomet Center for Conservation Sciences, June 2010), [http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet\\_Biomass\\_Report\\_Full\\_LoRez.pdf](http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet_Biomass_Report_Full_LoRez.pdf); Jörn Scharlemann e William Laurance, "How Green Are Biofuels?" *Science* 319, no. 5859 (4 January 2008): 43–44; DoE, “Ethanol Benefits and Considerations,” *Alternative Fuels Data Center*, 28 January 2011, [http://www.afdc.energy.gov/fuels/ethanol\\_benefits.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/ethanol_benefits.html); and Hill et al., “Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels.”

87. Para os efeitos negativos do etanol em qualidade do ar, quando utilizado como aditivo à gasolina, ver artigo e referências em apoio em “Clearing the Air: Using Scientific Information to Regulate Reformulated Fuels, de Pamela Franklin et al.,” *Environmental Science & Technology* 34, no. 18 (4 August 2000): 3857–63, <http://dx.doi.org/10.1021/es0010103>. Para o perigo cada vez maior ao ambiente devido a vazamento de combustíveis com mescla de etanol, ver American Institute of Physics, “Mixing Processes Could Increase the Impact of Biofuel Spills on Aquatic Environments,” *Phys.Org*, 16 November 2012, <http://phys.org/news/2012-11-impact-biofuel-aquatic-environments.html>.

88. Jonathan Lewis, *Leaping before They Looked: Lessons from Europe’s Experience with the 2003 Biofuels Directive* (Boston: Clean Air Task Force, October 2007).

89. Novos recordes registrados em 2011 de 1.65 trilhões de barris de reservas comprovadas (aumento anual de 1.9 por cento) e 83.56 milhões de bbl/dia de produção (aumento anual de 1.3 por cento). As reservas crescem mais rápido do que o consumo, desde 1980. Ver *BP Statistical Review of World Energy June 2012*, British Petroleum, [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGIN G/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2012.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGIN G/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf).

90. Thomas Homer-Dixon, *The Upside of Down: Catastrophe, Creativity and the Renewal of Civilization* (London: Island Press, 2006).
91. Tom Gleeson et al., “Water Balance of Global Aquifers Revealed by Groundwater Footprint,” *Nature* 488, no. 7410 (9 August 2012): 197–200, [http://www.engr.scu.edu/~emaurer/classes/ceng139\\_groundwater/handouts/gleeson\\_groundwater\\_footprint\\_nature\\_2012.pdf](http://www.engr.scu.edu/~emaurer/classes/ceng139_groundwater/handouts/gleeson_groundwater_footprint_nature_2012.pdf)
92. Ver Lisa Henthorne, “The Current State of Desalination,” November 2009; e “Water and Oil and Gas,” *Desalination* 48, no. 39 (8 October 2012), <http://www.desalination.com/wdr/48/39/and-oil-and-gas>.
93. Tim Padgett, “The Postquake Water Crisis: Getting Seawater to the Haitians,” *Time*, 18 January 2010, [http://www.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,1953379\\_1953494\\_1954584,00.html](http://www.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,1953379_1953494_1954584,00.html).
94. “Desalination Industry Enjoys Growth Spurt as Water Scarcity Starts to Bite,” *AMEinfo*, 30 September 2012, <http://www.ameinfo.com/desalination-industry-enjoys-growth-spurt-water-313351>.
95. Al Shoaiba e dois-terços das usinas de dessalinização da Arábia Saudita possuem tecnologia de processo de destilação relâmpago multiestágio, requerendo cerca de 186 MJ de insumo energético por metro cúbico de água doce. Ver Neil M. Wade, “Distillation Plant Development and Cost Update,” *Desalination* 136, no. 1–3 (1 May 2001): 3–12, <http://www.desline.com/articoli/4051.pdf>.
96. Wu e Chiu, *Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline*. Quantias ajustadas por multiplicador de dois-terços para corrigir a densidade mais baixa de etanol vs. gasolina.
97. Gerbens-Leenes et al., “Water Footprint of Bioenergy.”

98. Wade, “Distillation Plant Development and Cost Update.”

99. Barrack Obama, *Executive Order 13603—National Defense Resources Preparedness*, 16 March 2012, <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/03/16/executive-order-national-defense-resources-preparedness>.

100. Para dois exemplos de pesquisa em curso para provocar a fotossíntese do combustível com a reciclagem direta do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O sem a produção de biomassa, ver Bill Scanlon, “Sun Shines on Old Idea to Make Hydrogen,” *Renewable Energy World*, 5 November 2012; e “Sunshine to Petrol,” Sandia National Labs, 9 November 2012, [http://energy.sandia.gov/?page\\_id=776](http://energy.sandia.gov/?page_id=776).

101. T. J. Blasing, “Recent Greenhouse Gas Concentrations,” Carbon Dioxide Information Analysis Center, February 2012, [http://cdiac.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html)

102. N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> possuem a mesma massa molecular de 44 Dalton, e seu impacto no aquecimento global, por tonelada, está em proporção direta de potenciais de aquecimento global de suas moléculas (i.e., 298:1). CH<sub>4</sub> possui massa molecular de 16 Dalton e assim existem 44/16 mais moléculas por tonelada, cada uma com um potencial de 25:1 de aumento em aquecimento global, para um aumento em potencial de aquecimento total, por tonelada, de 69:1.

103. O Parágrafo 526A da Lei de Segurança e Independência Energética [*Energy Independence and Security Act*] de 2007 declara: Nenhuma agência federal deve celebrar contrato para a aquisição de combustível sintético ou alternativo, inclusive combustível produzido de fontes de petróleo não convencionais, para qualquer uso relacionado à mobilidade, fora de pesquisa ou provas, a menos que tal contrato especifique que o ciclo de vida das emissões de gases de efeito estufa associados à produção e combustão do combustível suprido sob o mesmo deve, de forma contínua, ser menor do que, ou igual a, às emissões de combustível convencional produzido via fontes convencionais de petróleo. . .

Não mais tardar, a partir de 1 de outubro de 2015, toda agência federal deve reduzir seu consumo anual de petróleo a  $\geq 20$  por cento e aumentar seu consumo de combustível alternativo a 10 por cento. O Ano Fiscal Base é 2005.