

# Cooperação internacional para o desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis – um exemplo brasileiro-alemão<sup>1</sup>

MARTIN OBERMAIER  
CAREY KING  
MARCELO MOREIRA

## I. INTRODUÇÃO

■ A necessidade de reduzir a emissão de gases antropogênicos do efeito estufa (GHG) para reverter o atual aquecimento global está recebendo um novo suporte científico durante os últimos anos (IPCC, 2007; Smith et al., 2009). Particularmente importante no que diz respeito à mitigação das mudanças climáticas e da adaptação é o desenvolvimento do setor de transportes, que é um dos setores que mais emite no mundo (Ribeiro et al. 2007), e onde a grande preocupação é “*the yet perceived lack of*” substitutos competitivos aos combustíveis a base de petróleo (The Royal Society, 2008). Uma potencial alternativa que surgiu durante as últimas duas décadas são os chamados biocombustíveis líquidos, combustíveis que são baseados em recursos de biomassa renovável e podem ser prontamente usados nos motores de combustão interna sem grandes adaptações ao motor.

De fato, muitos especialistas argumentam que biocombustíveis líquidos podem se tornar uma significativa fonte de energia nas próximas décadas, em países industrializados como nos países em desenvolvimento (Berndes, Hoogwijk, e van den Broek, 2003; IEA Bioenergy, 2007). O primeiros passos comerciais ocorre-

---

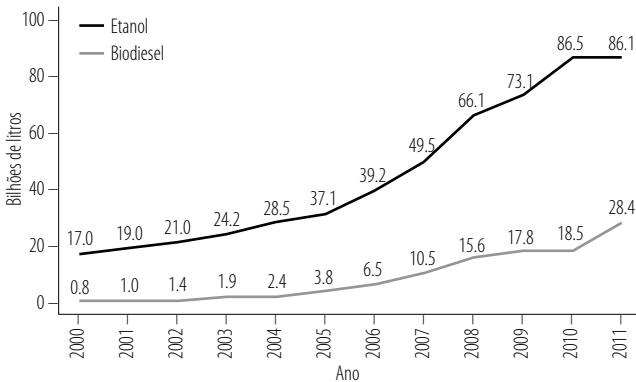
1 Com colaboração de Amaro Pereira Jr., André Nassar, Bridget Scanlon, Emilio Lèbre La Rovere, Leila Harfuch, William Wills.

Agradecimentos: Este artigo é parte da *International Climate Initiative*. O Ministério Federal Ministério de Meio Ambiente, Conservação e Segurança Nuclear da Alemanha (BMU) apoia esta iniciativa com base em uma decisão aprovada pelo Bundestag alemão. Os autores gostariam de agradecer Paula Nacif de Moura pela revisão do texto.

ram em grande parte no setor de etanol (Walter et al., 2008), que é derivado da cana-de-açúcar via fermentação e processos de deslitação; podendo ser misturado com gasolina convencional ou utilizado na sua forma pura. No entanto, outras opções tecnológicas (particularmente o biodiesel), matéria-prima (milho, soja, óleo de palma, colza, etc) ou rotas tecnológicas (primeira ou segunda geração) têm diversificado o campo de ação para os biocombustíveis nas últimas décadas.

Hoje, cerca de 45% da produção de biocombustíveis origina-se de países em desenvolvimento (REN21, 2010). A figura 1 mostra o desenvolvimento da produção de etanol e biodiesel desde o ano de 2000. Como se pode perceber, o rescaldo da crise financeira de 2008 afetou fortemente o desenvolvimento do setor: o crescimento médio anual de etanol foi de -0,5% em 2011 e o do biodiesel foi de 16%, implicando uma forte diminuição em comparação com a média de taxas de crescimento de cinco anos para ambos os setores (17% para o etanol e 27% para o biodiesel) (REN21, 2012).

**Figura 1.** *Produção mundial de biodiesel e etanol, 2000-2011*



Fonte: REN21 (2012).

Mesmo assim, o setor de biocombustíveis continua a ter forte influência nos debates internacionais. A mudança climática e as preocupações ambientais não são os únicos responsáveis pelo aumento da produção de biocombustíveis. Um segundo argumento aborda a segurança energética: os preços do petróleo subiram fortemente nos últimos anos, e também se tornaram cada vez mais voláteis. Essa tendência “parece destinada a continuar” (Hazell e Pachauri, 2006), de modo que países com interesse em diversificar seu fornecimento de energia nacional devem produzir biocombustíveis líquidos como parte de estratégia

para se tornarem mais independentes no setor energético (Hazell e Pachauri 2006; Ragauskas et al. 2006). O terceiro grande argumento frequentemente usado em defesa dos biocombustíveis líquidos é promover o desenvolvimento rural. *Commodities* agrícolas sofreram durante décadas pela superoferta excessiva crônica, implicando que a procura crescente de biocombustíveis efetivamente poderia reverter essa tendência preenchendo as capacidades de produção existentes, provocando assim um aumento na renda e empregos nas zonas rurais em todo o mundo (Ugarte, 2006).

Pesquisadores tem questionado uma interpretação abertamente positiva dos biocombustíveis como uma panaceia para o desenvolvimento sustentável. Recentes evidências científicas relacionam a produção de biocombustíveis com a perda de biodiversidade, esgotamento dos recursos hídricos, insegurança alimentar e, ao contrário de estudos anteriores, um aumento das emissões de GEEs devido ao desmatamento indireto e a forte aplicação de fertilizantes à base de petróleo (Fargione et al., 2008; Gibbs et al., 2008; Searchinger et al., 2008). Além disso, violações dos direitos dos trabalhadores em plantações de matéria-prima de biocombustíveis e a expulsão de agricultores familiares de suas terras devido à expansão dos biocombustíveis (Hall, Matos, e Langford, 2008; Butler e Laurance, 2008) levantaram novas dúvidas sobre a adequação dos biocombustíveis para um desenvolvimento mais sustentável; todos problemas que inclusive se refletem hoje fortemente nas discussões públicas na Alemanha. Diferentemente ao Brasil, a opinião pública na Alemanha em relação aos impactos socioambientais dos biocombustíveis tem sido majoritariamente cético, se não abertamente crítico nos últimos anos. A influencial ONG Greenpeace Alemanha chamou em 2012 para um moratório imediato do E10 para diminuir as pressões no mercado de cereais, e reduzir problemas de segurança alimentar, uma posição que contou com o apoio de uma coalizão pouco provável incluindo organizações de assistência humana como a Miserior ou Brot für die Welt (“Pão para o Mundo”) até o atual Ministro do Desenvolvimento, Dirk Niebel do governo conservador-liberal, entre outros (Zeit, 18 agosto 2012). Em outras palavras, a discussão sobre biocombustíveis virou uma questão ética – enquanto problemas de fome e segurança alimentar, não necessariamente na Alemanha, mas particularmente em países subdesenvolvidos, não são resolvidos, a criação de novas pressões sobre os mercados internacionais de alimentos não é moralmente defensível. Isso inclusive porque a Alemanha, diferente do Brasil, não é autossuficiente em toda sua produção de matérias-primas para a produção de biocombustíveis. Embora a posição atual do Governo da Alemanha continue ser a favor da produção de biocombustíveis, fica óbvio que num

contexto onde um grande número de países – incluindo também o Brasil – continua a focar no desenvolvimento de biocombustíveis através da implementação de misturas obrigatórias (ver Tabela 1), os impactos globais sobre a sustentabilidade podem ser potencialmente consideráveis.

**Tabela 1.** *Misturas obrigatórias para biocombustíveis no mundo*

<b>País</b>	<b>Mandatos</b>
Alemanha	B5,2 e E10
Argentina	E5 e B7
Austrália	New South Wales: E6 e B2; Queensland: E5
Bélgica	E4 e B4
Brasil	E18–25 e B5
Canadá	Nacional: E5 e B2. Provincial: E5 e B3–5 em British Columbia; E5 e B2 em Alberta; E7.5 e B2 em Saskatchewan; E8.5 e B2 em Manitoba; E5 em Ontario
China	E10 em nove províncias
Colômbia	E8 e B7; B20 até 2012
Coreia do Norte	B2,5
Espanha	Mandato para mistura de biocombustível: 6,2% atualmente, de 6,5% para 2012 e 2013; B6 e B7 atualmente para 2012
Estados Unidos	Nacional: Os Combustíveis Renováveis Padrão 2 (RFS2) requerem 36 bilhões de galões de combustível renovável para ser misturado com o combustível de transporte anualmente até 2022. Nível do Estado: E10 no Missouri e Montana; E9-10 na Flórida; E2 e B2 em Louisiana; B2, em 2010, até 2011 B3, B4 B5 em 2012, até 2013 (todos até 1 de julho do ano dado), em Massachusetts, E10 e B10 B5, em 2012, B20 até 2015, em Minnesota; B5 após 1 de Julho de 2012 no Novo México; E10 e B5 em Oregon; B2 após um ano no estado produção de biodiesel chega a 40 milhões de litros, B5, um ano após 100 milhões de galões B10, um ano depois de 200 milhões de litros, e um ano depois B20 400 milhões de litros na Pensilvânia; E2, B2, B5 aumentando para 180 dias, após um estado de matéria-prima e óleo de semente de capacidade de moagem pode cumprir a exigência de 3% no Estado de Washington.
Etiópia	E10
Filipinas	E10 e B2
Guatemala	E5
Índia	B2,5 e E3
Jamaica	E10 e B5
Malásia	B5
Malawi	E20
Paraguai	E24 e B5
Peru	B5 e E7.8
Reino Unido	B4
Tailândia	E5 and B5
Uruguai	B2; B5 até 2012; E5 até 2012
Zâmbia	E10 e B5

Fonte: REN21 (2012).

Nesse contexto, o Brasil, um dos maiores produtores mundiais de biocombustíveis continua a ser considerado em grande parte um caso de sucesso, dadas as baixas emissões de gases de efeito estufa, pouco desmatamento induzido devido à alta disponibilidade de terras para culturas energéticas, e metas de inclusão social de agricultores familiares (Goldemberg, Coelho, e Guardabassi, 2008; Schaffel et al., 2012). Um exemplo é o caso da União Europeia que, devido ao aumento da pressão por parte da sociedade civil crítica em relação ao desenvolvimento de um mercado de biocombustíveis com produção interna, discute a promoção de um acordo bilateral com o Brasil para fornecer grandes quantidades de etanol sustentável. O Brasil seria, assim, visto como um caso de teste, com critérios rígidos tanto na área social como ambiental (EurActiv, 2008).

De fato, a Alemanha por sua vez atualmente já é um grande importador de etanol brasileiro para cumprir o seu mandato atual de mistura E10 (DBFZ, 2012), mas se poderia tornar no futuro, em princípio, também para o biodiesel brasileiro, que se destina, ainda, apenas ao mercado interno. Desde 2007, quando a Alemanha atingiu uma capacidade de produção de 5 milhões t por ano de biodiesel, houve uma relativa estagnação no setor, com menos impacto no caso do etanol, onde a produção atingiu 1 milhão t por ano, mas onde houve ainda maiores taxas de crescimento. Importante ainda é de constatar que houve uma mudança no mercado alemão de biocombustíveis no sentido de sair de uma situação de dominação quase total de óleos vegetais puros e biodiesel puro para um mercado de misturas ou *blend*, com forte atuação da indústria de petróleo (DBFZ, 2012): para reduzir seus custos operacionais, vários multinacionais como a Shell ou BP tem investido fortemente no mercado brasileiro, para atingir as misturas obrigatórias particularmente na UE (Oberling et al., 2012).

Um breve histórico dos biocombustíveis brasileiros, e a necessidade de estudar as partes interdependentes do que constitui uma sustentabilidade de biocombustíveis, são discutidos a seguir, a fim de promover uma maior conscientização e cooperação entre o Brasil e a Alemanha nestas questões. Neste contexto, o artigo apresenta os primeiros passos de um projeto internacional de pesquisa chamado *Integrated Modeling of the Land Use, Water and Energy Nexus of Brazilian Biofuels Expansion under Climate Change*, apoiado pelo Ministério de Meio Ambiente, Conservação e Segurança Nuclear da Alemanha (BMU) sob sua International Climate Initiative (ICI).

## 2. UMA BREVE HISTÓRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

■ O Brasil é um dos principais atores na produção de biocombustíveis desde a década de 1970, quando o país começou a implementar o programa Proálcool, o primeiro programa governamental do mundo em larga escala voltado para o uso de etanol no setor de transportes. O programa foi adotado após o primeiro choque do petróleo, visando não só proteger o país dos altos preços do petróleo, mas também ajudar a indústria de açúcar do país, que estava numa considerável crise neste momento (Jull et al., 2007; Nitsch e Giersdorf, 2005; Oliveira, 2002). Assim, o Proálcool iria aumentar a independência energética, e melhorar os termos de intercâmbio e receitas (Jull et al., 2007).

No início do programa, o etanol foi misturado com gasolina (também chamada de etanol anidro) para uso em veículos leves convencionais, mas a segunda crise do petróleo em 1978–1979 estimulou o uso de etanol “puro” (ou hidratado) como substituto da gasolina, exigindo mudanças técnicas mais abrangentes nos carros para continuar a operar com segurança. Uma variedade de diferentes medidas foi adotada no Proalcóol para promover a sua aplicação. Por exemplo, a companhia nacional de petróleo Petrobras garantiu a compra de volumes fixos de etanol, enquanto o governo subscreveu o preço do etanol, incentivou investimentos em novas unidades de produção através de taxas de juros preferenciais, e subsidiou a compra de veículos que rodavam com etanol puro (His, 2004). O Proalcóol foi, de forma geral, bem aceito, de forma que na década de 1980 a frota nacional de veículos a etanol subiu para mais de 90% em alguns anos (Walter et al., 2008). O total de investimentos foi substancial e alcançou 11 bilhões de dólares, eventualmente levando a uma produção anual de 16 bilhões de litros (Walter et al., 2008).

O colapso dos preços de petróleo em 1986 e o fato de que a Petrobras ter sido bem sucedida na descoberta de campos de petróleo mudou a economia do Proalcóol no Brasil consideravelmente. A preocupação de se tornar menos dependente da importação de petróleo caiu, e o suporte de preço para o etanol tornou-se cada vez mais inviável, já que os preços da gasolina caíram fortemente (His, 2004). Além disso, o apoio financeiro através do Proalcóol, que tinha também beneficiado produtores ineficientes, gerou fortes críticas (Walter et al., 2008) num momento em que o governo sofreu dificuldades financeiras severas, cada vez mais afetando a solvência do país. Adicionando a estas pressões, uma evolução favorável do preço do açúcar no mercado internacional desviou a produção de matéria-prima para o setor de alimentos, levando-o à escassez de etanol e, com

isso, a problemas de credibilidade sérios com os consumidores. Como consequência deste desenvolvimento, o etanol teve de ser importado durante a crise de abastecimento de 1990 a 1991 e vários anos mais tarde, entre 1993 e 1997, quando os preços do açúcar novamente foram favoráveis para a exportação da matéria-prima (Junginger et al., 2008).

Devido a estes problemas, o Proalcóol passou por uma reformulação profunda durante a década de 1990. Subsídios públicos para a compra de veículos leves que rodavam com etanol puro foram eliminados, os preços dos combustíveis foram liberalizados, e todos os subsídios para a indústria de etanol e cana-de-açúcar foram removidos (Walter et al., 2008), incluindo qualquer garantia de preço (His, 2004). O uso do etanol hidratado diminuiu drasticamente – apenas cerca de 1.000 carros movidos a etanol puro foram vendidos em 1997–1998 (Walter et al., 2008). Ao contrário deste desenvolvimento, o uso de álcool anidro tornou-se cada vez mais importante: em 1993, o governo estabeleceu que 22% de etanol anidro teria que ser adicionado à gasolina de forma obrigatória.

Neste momento, os custos de produção de álcool ainda superavam os de gasolina derivada de importações de petróleo, mesmo em destilarias mais eficientes. No entanto, as vendas de veículos movidos a etanol começaram a crescer novamente em 2001 devido a uma maior diferença de preço entre etanol e gasolina, causada pela combinação do aumento dos preços do petróleo e os custos do etanol. Igualmente importante, o lançamento de veículos leves de combustível flexível, os chamados carros *flex-fuel* (FFV), ou seja, carros que funcionam alternativamente com etanol puro ou em qualquer mistura, virou um sucesso com os consumidores. Em 2006 já 85% das vendas de veículos novos foram do tipo FFV o que, conseqüentemente, aumentou novamente a demanda por etanol.

Devido a este desenvolvimento, cientistas preveem um crescente mercado doméstico de etanol para o futuro próximo (Walter et al., 2008). Aqui a atual política brasileira sobre biocombustíveis limita a intervenção do estado para o desenvolvimento do etanol para três áreas distintas: misturas obrigatórias de etanol-gasolina, menores taxas de impostos para os combustíveis misturados e incentivos fiscais para encorajar o uso de veículos movidos a etanol (Jull et al., 2007). As políticas nacionais em relação ao etanol ainda são bastante flexíveis: o governo brasileiro aumentou a mistura obrigatória de etanol de 22% para 25% a fim de reduzir as reservas de álcool no final da década passada. Mais recentemente, reduziu esta mistura para 18% a 20% devido à oferta doméstica restrita induzida pelo aumento da demanda de álcool e redução da produção de cana-de-açúcar devido

a secas em algumas regiões produtoras, mas novamente aumentou o percentual para 25% em maio de 2013 para apoiar a indústria do etanol e contribuir para a redução de importações de gasolina (REN21, 2012).

De modo geral, o Proálcool é hoje considerado uma história de sucesso já que tem mostrado a viabilidade da produção em grande escala do etanol de cana-de-açúcar e sua utilização como combustível automotivo para veículos leves (Goldemberg, Coelho, e Guardabassi, 2008; Kojima e Johnson, 2006). Também é o único caso onde se criou uma indústria de etanol comercialmente competitiva. O relatório do Banco Mundial de Kojima e Johnson (2006) nomeou cinco fatores principais para este desenvolvimento: (1) o plantio da cana-de-açúcar no Brasil ainda não depende da irrigação, mas é feita majoritariamente em sequeiro, em contraste com a produção de açúcar em outros países, como Austrália e Índia; (2) há ainda muita terra disponível para a expansão da cana-de-açúcar no país; (3) a pesquisa e desenvolvimento (P&D) e produção comercial tem estimulado uma maior produtividade há três décadas; (4) as usinas e destilarias de açúcar são frequentemente integradas e flexíveis para ajustar a relação da produção de açúcar para a produção do etanol – assim, os proprietários das plantações são capazes de tirar proveito da mudança dos preços relativos entre os dois produtos; e (5) veículos FFV reduziram o medo dos consumidores em relação a uma possível escassez de etanol, e, além disso, estimularam investimentos em complexos industriais de açúcar integrados<sup>2</sup>.

Uma outra alternativa muito importante para o desenvolvimento de biocombustíveis no Brasil tem sido a criação de um mercado de biodiesel interno pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que foi instituído em 2004. O PNPB inicialmente foi considerado como uma contraproposta ao programa Proálcool devido ao pouco desempenho do Proálcool em incluir agricultores familiares pobres nas cadeias de *commodities* do programa (Hall et al., 2009). Embora primeiros projetos-piloto no Proálcool incluíssem a produção de mandioca para etanol em nível comunitário, as esperanças de tornar viável economicamente este tipo de produção não se concretizou. De fato, os benefícios sociais diretos do etanol hoje parecem estar ligados muito mais à contratação temporária de trabalhadores rurais de baixa qualificação na época da colheita, mas não na sua integração como produtores autônomos. O PNPB, por outro lado, iria incidir especificamente sobre a inclusão social dos agricultores familia-

2 No entanto, deve ser notado que as tendências no mercado global de açúcar podem ser esperadas para ter um impacto permanente sobre o desenvolvimento do mercado de etanol (His, 2004).



res pobres em regiões menos favorecidas do país, particularmente no semiárido nordestino (o *Sertão*), usando como mecanismo o Selo Combustível Social (SCS) para estabelecer acordos contratuais entre agricultores familiares e produtores de biodiesel. Estes acordos – ativos ainda hoje – incluem, entre outros, preços garantidos para os agricultores familiares, assim como a prestação de assistência técnica e o fornecimento de sementes de qualidade. Como resultado, a participação de agricultores familiares no programa é hoje muito mais articulada do que no Proálcool, embora o PNPB não tenha conseguido a integrar os agricultores da região pobre do Nordeste do Brasil de acordo com suas metas ambiciosas iniciais (Schaffel et al., 2012).

A soja do agronegócio é hoje a matéria-prima mais relevante dentro do PNPB, fornecendo cerca de 80% da matéria-prima para a atual mistura obrigatória de 5% (B5), enquanto a matéria-prima escolhida para a agricultura familiar do Nordeste, a mamona, está basicamente ausente da produção. Este desenvolvimento causou e continua causando impactos socioambientais muito diferenciados. No caso da soja, o desenvolvimento de novas variedades aptas para o cultivo em latitudes mais baixas, a disponibilidade de terras baratas assim como fortes reduções no custo de transporte começando com os anos 90 gradualmente propulsou a dispersão da produção para as áreas na fronteira agrícola do Cerrado central (Jank et al., 1999; Smaling et al., 2008; Hall et al. 2009). Essa região hoje concentra em torno de 60% da produção nacional, com domínio de grandes terras proprietários, plantio de monocultura e altos graus de mecanização, frequentemente organizado por grandes grupos privados (Smaling et al., 2008). Além disso, o desenvolvimento da soja hoje está sendo criticada por promover o desmatamento induzido na fronteira agrícola do país, com potenciais impactos devastadores para a biodiversidade nessa região (Lapola et al., 2010).

Por final, o óleo do dendê é outra matéria-prima que pode ser destacado no contexto do PNPB, embora sua produção nacional ainda seja incipiente. Enquanto que há a opinião de que o plantio do dendê poderia promover a recuperação de áreas degradadas principalmente no estado do Pará, há também vozes que advertem que um crescimento rápido da produção pode levar a um novo desmatamento na região Amazônica, com fortes impactos sobre a biodiversidade e as emissões de GEE.

Dessa forma, torna-se necessário estudar cuidadosamente os impactos socioambientais e econômicos da expansão da cana-de-açúcar e de matérias-primas do biodiesel, para entender como elas podem ajudar no desenvolvimento de um mer-

cado sustentável de biocombustíveis, no nível nacional e internacional, no curto assim como longo prazo. Nesse contexto, o próximo tópico apresenta uma revisão bibliográfica dos estudos mais importantes a este respeito, mostrando também as lacunas existentes em termos de conhecimento e formulação de políticas públicas à base de evidências, o chamado “*evidence-based policymaking*” em inglês.

### 3. CENÁRIOS PARA BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS NO BRASIL E LACUNAS EM PESQUISA E FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

■ Modelos que analisam os impactos da expansão de biocombustíveis no Brasil têm avançado consideravelmente nos últimos anos. Isso inclui estudos sobre a expansão da cana e soja (Margulis, Dubeux, e Marcovitch, 2011; Lapola et al., 2010) bem como avaliações de riscos agroecológicos de produção de matérias-primas sob crescente impactos de mudança de clima (Pinto e Assad, 2008; Lobell et al., 2008). Consequências socioambientais dessas tendências são também cada vez mais estudadas. Por exemplo, La Rovere al. (2011) usam uma análise multicritério para estudar assuntos como a segurança alimentar e pressões sobre recursos hídricos devido à expansão da cana.

Os estudos publicados em Margulis, Dubeux, e Marcovitch (2011) e outros (Lapola et al., 2010) indicam que a soja e cana-de-açúcar irão expandir na região Centro-Oeste do Brasil, mas não são conclusivos sobre os impactos sobre o desmatamento indireto ou direto e segurança alimentar. O estudo realizado por Pinto e Assad (2008) descobre que safras de cana são susceptíveis de se beneficiar de mudança climática enquanto outras culturas podem sofrer quedas consideráveis de produtividade. No entanto, essa informação ainda não está integrada em modelos de uso da terra. La Rovere et al. (2010) identificam altas pressões sobre recursos hídricos para várias regiões do estado de São Paulo, mas pouco impactos na segurança alimentar. No entanto, conclusões deste estudo são limitadas devido à falta de dados confiáveis. Estudos semelhantes nos Estados Unidos sobre a demanda de água para produção de biocombustíveis (C. W. King, M. E. Webber, e Duncan, 2009; Carey W. King e Webber, 2008) indicam que há fortes ligações entre as políticas públicas federais e impactos regionais até locais sobre a disponibilidade de recursos hídricos. Enquanto o ciclo de vida dos biocombustíveis consome claramente mais água do que os combustíveis fósseis (Carey W. King e Webber 2008), estas análises não abordam como a mudança do uso da terra e o desenvolvimento de biocombustíveis pode afetar a sustentabilidade de recursos

hídricos locais. Scanlon et al. (2007) indicam que as mudanças no uso da terra de sistemas naturais para sistemas agrícolas pode alterar significativamente a distribuição de água entre a água verde (humidade do solo) e azul (córregos e aquíferos). Outros impactos potenciais da mudança no uso da terra devido à expansão dos biocombustíveis que foram encontradas em muitos estudos fora do Brasil incluem a segurança alimentar, biodiversidade e liberações líquidas de emissões de GEE (Gibbs et al, 2008; Searchinger et al, 2008; Rosegrant, 2008; Butler e Laurance, 2008; Braun, 2008).

Dessa forma, apesar dos recentes avanços em pesquisa sobre biocombustíveis e modelagem, as inter-relações entre a expansão dos biocombustíveis, a disponibilidade de recursos hídricos, e diferentes impactos de uso da terra são ainda pouco compreendidas no Brasil, causando sérios problemas para a formulação de políticas públicas no país. Sumarizamos estas lacunas nos próximos parágrafos.

**Em primeiro lugar**, os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade de culturas agrícolas e recursos hídricos ainda não estão integrados nos estudos citados. Isso é relevante porque a disponibilidade de água e produtividade agrícola tendem a diminuir significativamente (aumento no caso da cana-de-açúcar) já no curto a médio prazo (2020–2030), o que pode causar conflitos novos ou aumentar os já existentes entre diferentes setores e usos dessas matérias-primas. Além disso, essas tendências podem resultar em alocações de recursos abaixo do ideal, políticas contra-produtivas, e levar ao desenvolvimento insustentável a longo prazo. Em casos extremos, os locais ideais para a produção de matérias-primas de biocombustíveis pode empurrar outras culturas ou usos da terra para regiões de *hotspots* de biodiversidade, onde mesmo cenários ainda mais sustentáveis poderiam envolver *trade-offs* entre a colocação de biocombustíveis e a produção de alimentos. Isto também tem consequências para a concepção de estratégias apropriadas de adaptação às mudanças climáticas no país.

**Em segundo lugar**, como a agricultura brasileira, incluindo o plantio de matéria-prima para produção de biocombustíveis, é predominantemente feita em sequeiro, existe ainda uma carência de estudos sobre os impactos da irrigação sobre os recursos hídricos locais e regionais. Aqui, a irrigação deve ser estudada ao mesmo tempo como uma opção para (1) melhorar a produtividade agrícola e (2) como parte de uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas, dadas as crescentes temperaturas de superfície e, potencialmente, maiores necessidades de recursos hídricos para as plantas em todo o Brasil.

**Em terceiro lugar**, os estudos existentes não analisam recursos hídricos, uso da terra e questões energéticas em uma abordagem integrada, mas aplicam abordagens tematicamente restritas a questões específicas como, por exemplo, os impactos da expansão sobre a segurança alimentar ou as mudanças de uso da terra causadas pela expansão da cana ou a soja. Isto implica que os potenciais efeitos retroalimentais (*feedback*) de diferentes usos da terra não são devidamente contabilizados, e que as recomendações políticas tiradas desses estudos são menos robustas, dado os focos limitados (ou seja, tematicamente restritos) desses estudos.

**Em quarto lugar**, cenários de produção e uso de biocombustíveis são majoritariamente de curto prazo (até 2020) que tem limitado valor para o planejamento estratégico do setor no Brasil, já que os processos de mudança de uso da terra, os impactos da mudança climática e políticas de biocombustíveis são particularmente relevantes num prazo maior (2030 e além).

**Quinto e último**, a expansão de biodiesel de óleo de palma, que está a ocorrer em terras degradadas na região amazônica, ainda não foi estudada por meio de qualquer modelo de aplicação. Portanto, é necessário compreender se, e se sim, como, o biodiesel de óleo de palma pode repetir experiências de sucesso feitas com etanol de cana na região Sudeste do país.

Juntas, estas deficiências criam incertezas consideráveis para o compromisso voluntário do Brasil de reduzir entre 36,1% e 38% as suas emissões projetadas até 2020, já que este plano está baseado na expectativa de um forte crescimento de biocombustíveis no país. Os estudos existentes não são conclusivos sobre se, quando, e em que grau as mudanças diretos ou indiretos no uso da terra podem tornar-se relevantes devido à expansão dos biocombustíveis no país, como os recursos hídricos podem ser afetados, se a segurança alimentar pode se tornar um problema, e até que ponto o desenvolvimento do setor poderia promover o desenvolvimento de uma economia verde no país como um todo. Estratégias brasileiras para exportar biocombustíveis sustentáveis, por exemplo, através de critérios robustos de certificação, assim também são limitadas por falta de evidências empíricas robustas de médio prazo.

#### 4. PRÓXIMOS PASSOS: INTEGRANDO CIÊNCIA E POLÍTICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS

■ O governo brasileiro respondeu às preocupações de sustentabilidade dos biocombustíveis de forma proativa, incluindo através de planos ministeriais ou setoriais para a expansão dos biocombustíveis e/ou outros usos da terra (inclusive os planos para o desenvolvimento da cana-de-açúcar do etanol, o PNPB, os planos de agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA), desenvolvimento de padrões de certificação (INMETRO, ISO/ABNT), inovação tecnológica (CTBE), conselhos ou comitês de bacias hidrográficas (ANA), ou através da implementação de planos de zoneamento agroecológico (para diferentes matérias-primas de biocombustíveis). No entanto, a produção sustentável de biocombustíveis no Brasil também é agora posta à prova, já que tanto a demanda nacional como a internacional para os biocombustíveis produzidos no Brasil está aumentando – provocando a produção de biocombustíveis em terras e condições microclimáticas novas. Além disso, a mudança climática está agora prevista para afetar de forma significativa a produtividade agrícola e disponibilidade de recursos hídricos no Brasil, aumentando potencialmente conflitos entre os diferentes usos da terra, incluindo os de alimentos versus combustíveis.

Neste contexto, o projeto *Integrated Modeling of the Land Use, Water and Energy Nexus of Brazilian Biofuels Expansion under Climate Change*, recentemente iniciado dentro da International Climate Initiative (ICI) do Ministério de Meio Ambiente, Conservação e Segurança Nuclear da Alemanha (BMU), tem como objetivo de **informar os tomadores de decisão e as partes interessadas sobre os potenciais cenários de expansão dos biocombustíveis no Brasil, considerando as mudanças climáticas, a fim de permitir a formulação de políticas sensíveis que consigam mitigar impactos adversos no uso da terra, recursos hídricos e segurança alimentar, promovendo simultaneamente a produção sustentável de biocombustíveis**. O trabalho será feito através de um esforço de modelagem multi-institucional que integra a avaliação de impactos sobre recursos hídricos no nível de bacias, a análise de mudança no uso da terra, e a modelagem energética e socioeconômica de impactos macroeconômicos assim como impactos sobre as emissões de GEE na economia brasileira. A análise quantitativa é suportada por um processo de consulta e disseminação estratégica de conhecimento, a fim de integrar os conhecimentos de especialistas na parte de análise e facilitar a divulgação dos resultados do projeto para dentro do planejamento estratégico de políticas públicas no setor, assim como iniciativas de sustentabilidade.

Acreditamos que os resultados deste estudo serão altamente relevantes no contexto brasileiro. Oportunidades de exportação de biocombustíveis dependem do cumprimento estrito de critérios de certificação, tais como os critérios de sustentabilidade da União Europeia. O compromisso voluntário do país de reduzir as suas emissões nacionais em até 38% até 2020 é baseado no desenvolvimento significativo de biocombustíveis, mas os benefícios climáticos dependem da capacidade de evitar, entre outros, o desmatamento induzido pela expansão dos biocombustíveis. A irrigação é uma opção tecnológica que pode aumentar fortemente a produtividade de matérias-primas, reduzindo assim potencialmente as consequências das mudanças no uso da terra, mas seus impactos sobre o abastecimento de água para o consumo humano, a segurança alimentar e outras demandas prioritárias devem ser avaliados antes que esta tecnologia seja amplamente adotada.

É neste contexto que o aumento da consciência e base de conhecimentos sobre onexo entre uso da terra, água e energia num cenário de expansão de biocombustíveis no Brasil irá beneficiar significativamente a formulação de políticas públicas e o monitoramento e avaliação dirigida a essas questões. Isso também é relevante para o caso da Alemanha: para o futuro são previstos requisitos mínimos mais severos em relação à capacidade de biocombustíveis de efetivamente mitigar emissões de GEE comparado com suas alternativas fósseis, o que deve também aumentar a demanda para biocombustíveis, e dessa forma potencialmente criar novos conflitos entre uso da terra, recursos hídricos, segurança alimentar e a produção de combustíveis líquidos renováveis. Esse ponto é ainda mais fortalecido quando levando em consideração as discussões públicas críticas na Alemanha em relação ao desenvolvimento de biocombustíveis no país.

Vale destacar ainda que os resultados previstos do projeto são de interesse da União Europeia e do Governo da Alemanha, assim como complementares às estratégias e iniciativas recentes do Governo Brasileiro. O projeto irá fornecer informações relevantes para a formulação de uma economia verde e o planejamento de desenvolvimento rural sustentável, bem como a mitigação da mudança climática e planos nacionais de adaptação (liderado pelo Ministério do Meio Ambiente, MMA, sob coordenação do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, FBMC) e outras iniciativas setoriais ou regionais (por exemplo, os planos de agricultura e pecuária ou o Plano de Agricultura de Baixo Carbono do MAPA), entre outros. O projeto também irá fornecer resultados generalizados que podem se tornar uma referência para iniciativas de sustentabilidade como ISO/ABNT, INMETRO, a Mesa-Redonda sobre Biocombustíveis Sustentáveis (RSB), Bonsucro, Certificação Internacional de Sustentabilidade e Carbono (ISCC) e outros padrões de cer-

tificação nacionais e internacionais, bem como apoiar o atual zoneamento agroecológico para matérias-primas de biocombustíveis, liderada pelo Governo do Brasil. Além disso, os resultados do projeto serão uma poderosa ferramenta para os formuladores de políticas públicas e iniciativas dedicadas a recursos hídricos e segurança alimentar, incluindo também as discussões em curso sobre REDD/REDD+. Finalmente, o projeto também irá adicionar às discussões sobre se (e se for sim, em que circunstâncias) os esforços brasileiros atuais em biocombustíveis podem ser transferidos ou replicados para outras regiões do mundo, incluindo especialmente os países em desenvolvimento. Ou seja, é um exemplo de como a cooperação internacional pode apoiar o desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis para proteção do meio ambiente, garantindo também a realização de amplos benefícios socioeconômicos.

- **Martin Obermaier** · Doutor em Planejamento de Energia (UFRJ, Brasil), é um especialista em adaptação à mudança climática e energias renováveis. Economista por formação, ele tem mais de 10 anos de experiência em gestão de projetos. Recentes projetos de pesquisa incluem desenvolvimento social no sertão brasileiro, questões de governança e proteção ambiental na América Latina e África. Recentemente ele moderou uma comunidade de prática internacional sobre adaptação em regiões semiáridas e áridas com mais de 450 especialistas nacionais e internacionais. Também frequentemente presta consultoria ao Banco Mundial, OECD, IEA e BNDES. Martin é responsável pela gestão geral do projeto aqui apresentado e pela execução da sua estratégia de disseminação de conhecimento. [martin@ppe.ufrj.br](mailto:martin@ppe.ufrj.br)
- **Carey W. King** · PhD em Engenharia Mecânica (Universidade do Texas em Austin), é um pesquisador associado com o International Energy and Environmental Policy da Jackson School of Geosciences, na Universidade do Texas em Austin. Ele é especialista em modelagem de interações de sistemas de energias e tecnologias com a economia e o meio ambiente. Tem particular experiência em políticas e tecnologias na área do nexo energia-água ligada à água nos ciclos de vida de combustíveis e energia elétrica e análise de energia líquida (particularmente como métricas de energia líquida se relacionam com ambas métricas de micro- e macroeconomia). Ele tem artigos publicados em revistas multidisciplinares como Environmental Science and Technology, Sustainability, e Environmental Research Letters. [careyking@mail.utexas.edu](mailto:careyking@mail.utexas.edu)
- **Marcelo M. R. Moreira** formou-se em Economia na Universidade Pontifícia Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), possui mestrado em Economia da Universidade de São Paulo (FEA-USP) e é candidato à D.S.c em Planejamento de Energia na Universidade de Campinas (FEM-UNICAMP). Ele é especialista em bioenergia com experiência em modelagem econômica, previsões e simulações. Como pesquisador no Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE) ele desenvolveu o módulo de biocombustíveis do Brazilian Land Use Model (BLUM). Ele é agora coordenador de açúcar e biocombustíveis na Agroicone. [marcelo@agroicone.com.br](mailto:marcelo@agroicone.com.br)

REFERENCIAS

- BERNDES, Göran; HOOGWIJK, Monique e VAN DEN BROEK, Richard. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies". *Biomass and Bioenergy* 25 (1) (julho), p. 1–28, 2003. doi:10.1016/S0961-9534(02)00185-X.
- BRAUN, J. von. Food and Financial Crisis: Implications for Agriculture and the Poor. Brief prepared for the CGIAR Annual General Meeting. Maputo: IFPRI, 2008.
- BUTLER, R. A. e LAURANCE, W. F. Is oil palm the next emerging threat to the Amazon? *Tropical Conservation Science* 2, p. 1–10, 2008.
- DBFZ. Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ Report 11. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2012.
- EURACTIV. Biofuels not an obligation, say EU ministers. *EurActiv.com*. julho 2008. <http://www.euractiv.com/transport/biofuels-obligation-eu-ministers-news-220222>.
- FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S., e HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319, p. 1235–1238, 2008.
- GIBBS, H. K.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; HOLLOWAY, T.; MONFREDA, C.; RAMANKUTTY, N. e ZAKS, D. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters* 3, p. 1–10, 2008.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. e GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy* 36, p. 2086–2097, 2008.
- HALL, J.; MATOS, S. e C. LANGFORD, H. Social exclusion and transgenic technology: the case of Brazilian agriculture. *Journal of Business Ethics* 77, p. 45–63, 2008.
- HALL, J.; MATOS, S.; SEVERINO, L. e BELTRÃO, N. Brazilian biofuels and social exclusion: established and concentrated ethanol. *Journal of Cleaner Production* 17, p. 577–585, 2009.
- HAZELL, P. e R. PACHAURI, K. Overview. In *Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges*, organizado por P. Hazell e R. K. Pachauri. 2020 Focus 14. Washington, D.C.: IFPRI/Teri, 2006.
- HIS, A. Biofuels Worldwide. Panoramie 2005. Paris: IFP, 2004.
- IEA Bioenergy. Potential of Bioenergy to the World's Future Energy Demand. Exco 2007:02. Whakarewarewa: IEA, 2007.
- IPCC. *Climate Change 2007. Vol. 1: The Physical Science Basis. Vol. II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Vol. III: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- JANK, Marcos Sawaya, PAES LEME, Maristela Franco, NASSAR, André Meloni, e FAVERET FILHO, Paulo. Concentration and internationalization of Brazilian agribusiness exporters. *International Food and Agribusiness Management Review* 2, p. 359–374, 1999.
- JULL, C., P. C. REDONDO, V. MOSOTI, e J. VAPNEK. Recent Trends in the Law and Policy of Bioenergy Production, Promotion and Use. FAO Legal Papers Online 68. Roma: FAO, 2007.



- JUNGINGER, M.; BOLKESJO, T.; BRADLEY, B.; DOLZAN, P.; FAAIJ, A.; HEINIMO, J.; HEKTOR, B. et al. Developments in international bioenergy trade". *Biomass and Bioenergy* 32, p. 717–729, 2008.
- KING, C. W.; WEBBER, M.E.; e DUNCAN, I. J.. The water needs for LDV transportation in the United States. *Energy Policy* 38, p. 1157–1167, 2009.
- KING, Carey W.; e WEBBER, Michael E. Water Intensity of Transportation. *Environmental Science & Technology* 42 (21) (novembro 1), p. 7866–7872, 2008. doi:10.1021/es800367m.
- KOJIMA, M., e T. JOHNSON. Potential for biofuels for transport in developing countries. Knowledge Series 4. Washington, D.C.: ESMAP, 2006.
- LA ROVERE, Emílio Lèbre; OBERLING, D. F.; OBERMAIER, M.; SOLARI, R.; e WILLS, W. Aspectos socioambientais da expansão da cana-de-açúcar. In: MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. e MARCOVITCH, J. J. (Orgs.). *Economia da Mudança Climática no Brasil: Custos e Oportunidades*, p. 62–67. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.
- LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO J.; BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOELKING, C.; e PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, p. 3388–3393, 2010.
- LOBELL, D. B.; BURKE, M. B.; TEBALDI, C.; MASTRANDREA, M. D.; FALCON, W. P. e NAYLOR, R. L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, p. 607–610, 2008.
- MARGULIS, Sergio; SCHMIDT DUBEUX, Carolina Burle, e MARCOVITCH, Jacques. *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2011.
- NAUMANN, Karin, Katja OEHMICHEN, Martin ZEYMER, Franziska MÜLLER-LANGER, Mattes SCHEFTELOWITZ, Philipp ADLER, Kathleen MEISEL, e Michael SEIFFERT. Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ Report 11. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2011.
- NITSCH, M., e J. GIERSDORF. Biokraftstoffe in Brasilien. Volkswirtschaftliche Reihe 12/2005. Berlím: Freie Universität Berlin, 2005.
- OBERLING, Daniel Fontana; OBERMAIER, Martin; SZKLO, Alexandre e LA ROVERE, Emílio Lèbre. Investments of oil majors in liquid biofuels: The role of diversification, integration and technological lock-ins". *Biomass and Bioenergy* 46 (novembro), p. 270–281, 2012. doi:10.1016/j.biombioe.2012.08.017.
- OLIVEIRA, J. A. P. The policymaking process for creating competitive assets for the use of biomass energy: the Brazilian alcohol programme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, p. 129–140, 2002.
- PINTO, Hilton Silveira e ASSAD, Delgado Eduardo, org. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. São Paulo: Embrapa, UNICAMP, 2008.
- RAGAUSKAS, A. J.; WILLIAMS, C. K.; DAVISON, B. H.; CAIRNEY, J.; ECKERT, C. A.; FREDERICK, W. J.; HALLETT, J. P. et al. The path forward for biofuels and biomaterials. *Science* 311, p. 484–489, 2006.

- REN21. *Renewables 2010 Global Status Report*. Paris: GTZ/REN21 Secretariat, 2010.
- . *Renewables 2012 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2012.
- RIBEIRO, S. K.; KOBAYASHI, S.; BEUTHE, M.; GASCA, J.; GREENE, D.; LEE, D. S.; MUROMACHI, P. J.; NEWTON, P. J.; PLOTKIN, S. e SPERLING D. . Transport and its infrastructure. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, organizado por B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, e L. Meyer, p. 323–386. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- ROSEGRANT, M. Biofuels and grain prices: impacts and policy responses. Washington, D.C.: Testimony for the U.S. Senate Committee on Homeland Security and Government Affairs, 2008.
- SCANLON, Bridget R.; JOLLY, Marios; SOPHOCLEOUS, Ian e ZHANG, Lu. “Global Impacts of Conversions from Natural to Agricultural Ecosystems on Water Resources: Quantity Versus Quality”. *Water Resources Research* 43 (3), p. n/a–n/a, 2007. doi:10.1029/2006WR005486.
- SCHAFFEL, Silvia B.; HERRERA, Selena; OBERMAIER, Martin e LA ROVERE, Emílio L. Can family farmers benefit from biofuel sustainability standards? Evidence from the Brazilian Social Fuel Certificate. *Biofuels*, 3ª edição, 2012.
- SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R.A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D. e YU, T. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319, p. 1238–1240, 2008.
- SMALING, E. M. A.; ROSCOE, R.; LESSCHEN, J. P.; BOUWMAN, A. G. e COMUNELLO, E. From forest to waste: assessment of the Brazilian soybean chain, using nitrogen as a marker. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128, p. 186–197, 2008.
- SMITH, Joel B.; SCHNEIDER, Stephen H.; OPPENHEIMER, Michael; YOHE, Gary W.; HARE, William; MASTRANDREA, Michael D.; PATWARDHAN, Anand, et al. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ‘reasons for concern’. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009. doi:10.1073/pnas.081235106.
- THE ROYAL SOCIETY. Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges. Policy Document 01/08. London: The Royal Society, 2008.
- UGARTE, D. G. De La Torre. Developing bioenergy: economic and social issues”. In *Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges*, organizado por P. Hazell e R. K. Pachauri. 2020 Focus 14. Washington, D.C.: IFPRI/Teri, 2006.
- WALTER, Arnaldo; ROSILLO-CALLE, Frank; DOLZAN, Paulo; PIACENTE, Erik e BORGES DA CUNHA, Kamyła. Perspectives on fuel ethanol consumption and trade. *Biomass and Bioenergy* 32 (8) (agosto), p. 730–748, 2008. doi:10.1016/j.biombioe.2008.01.026.
- DIE ZEIT, 18 agosto 2012. “Biokraftstoff E10 hat nie funktioniert”. <http://www.zeit.de/wirtschaft/2012-08/biokraftstoff-e10-verbot>