

# O desafio das novas tecnologias de mitigação da mudança do clima no contexto do desenvolvimento sustentável

José Domingos Gonzalez Miguez, Adriano Santhiago de Oliveira, Thiago de Araujo Mendes

---

## 1. Introdução

Como elementos introdutórios para a reflexão sobre o papel das tecnologias no âmbito da mitigação da mudança do clima, propõe-se considerar o que está contido no Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês)<sup>1</sup>.

Há o reconhecimento geral na literatura científica de que é altamente improvável que apenas um tipo de tecnologia possa resolver o problema da mudança do clima. Portanto, é necessário considerar um *portfolio* de tecnologias, tanto para a mitigação da mudança do clima como para a adaptação aos seus efeitos.

A tecnologia, compreendida como produto histórico das interações dos sistemas humanos e físicos, é uma das principais determinantes do desenvolvimento econômico e está entre os vetores de emissão de gases de efeito estufa. Ao mesmo tempo, tecnologia e mudança tecnológica

---

<sup>1</sup> Fisher, B.S., N. Nakicenovic, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.-Ch. Hourcade, K. Jiang, M. Kainuma, E. La Rovere, A. Matysek, A. Rana, K. Riahi, R. Richels, S. Rose, D. van Vuuren, R. Warren, 2007: *Issues related to mitigation in the long term context*, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.  
Halsnæs, K., P. Shukla, D. Ahuja, G. Akumu, R. Beale, J. Edmonds, C. Gollier, A. Grübler, M. Ha Duong, A. Markandya, M. McFarland, E. Nikitina, T. Sugiyama, A. Villavicencio, J. Zou, 2007: *Framing issues*. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

oferecem as principais possibilidades para reduzir emissões e atingir a estabilização das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa.

Há diversos paradigmas usados para separar o processo de mudança tecnológica em fases distintas. Uma abordagem é considerá-la aproximadamente como um processo em duas partes, mas que estão intrinsecamente ligadas:

1. O processo de concepção, criação e desenvolvimento de novas tecnologias ou fortalecimento de tecnologias existentes – o processo de avançar “fronteiras tecnológicas”;
2. O processo de difusão ou disseminação dessas tecnologias.

O cenário de tecnologias disponíveis define o que pode ser incrementado, e o uso da tecnologia proporciona aprendizado que pode guiar programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou diretamente aperfeiçoar a tecnologia por meio de *learning by doing* (aprendizado na prática ou aprender fazendo). Os dois processos são ligados também em termos de tempo.

Novas tecnologias surgem de uma gama de vetores interativos. A literatura divide esses vetores em três categorias amplas e integradas: P&D, *learning by doing* e *spillovers*.

**P&D:** compreende um amplo conjunto de atividades por meio das quais empresas, governos ou outras entidades empregam recursos especificamente para aperfeiçoar tecnologias ou obter novo conhecimento. Ao mesmo tempo em que P&D cobre uma série contínua ampla, pode ser simplificada em duas categorias – P&D aplicada e pesquisa básica – e compreende tanto ciência como engenharia. P&D aplicada tem o foco em aperfeiçoar tecnologias específicas bem definidas (exemplo: células a combustível). Pesquisa básica foca em áreas de espectro mais amplo e fundamental do conhecimento, podendo ser orientada ou com foco na criação de novo conhecimento sem consideração explícita de uso. Mas ambas são interativas: pesquisa básica em um conjunto de disciplinas ou áreas de pesquisa (de materiais a computadores de alta velocidade) pode criar um *pool* de conhecimento e ideias que deve ser desenvolvido por meio de P&D aplicada. Por sua vez, obstáculos em P&D aplicada também podem remeter a prioridades de pesquisa de volta à ciência básica. Como regra prática, o setor privado tem um papel cada vez mais proeminente quanto mais o processo se volta para a aplicação comercial. Termos similares encontrados na literatura incluem Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração (PD&D), bem como Pesquisa, Desenvolvimento, Demonstração e Disseminação (PDD&D ou PD). Esses conceitos enfatizam a importância de promover a interação entre as pesquisas básica e aplicada voltadas para aplicações iniciais de novas tecnologias que são relevantes *feedbacks* e mecanismos de aprendizado para P&D propriamente dita.

P&D associada ao espectro econômico é relevante para o tema da mudança do clima: quando voltada para o setor energético, básica ou aplicada, bem como P & D em outros setores importantes (exemplo, agricultura), pode diretamente influenciar emissões de gases de efeito estufa associadas com esses setores (ex:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ). Ao mesmo tempo, P & D em setores aparentemente não diretamente relacionados pode também resultar em benefícios para setores relevantes associados à mudança do clima. Por exemplo, avanços computacionais das últimas décadas têm melhorado o desempenho da produção de energia e do uso das tecnologias.

**Aprender fazendo:** refere-se aos benefícios que resultam do uso prático de determinada tecnologia, isto é, desdobramento de mercado. Quanto mais um indivíduo ou organização repete uma tarefa, mais habilitada ou eficiente aquela organização ou indivíduo se torna em relação àquela tarefa. Em descrições mais antigas, *aprender fazendo* se referia a aperfeiçoamentos na produtividade da mão de obra de um simples produto ou da linha de produção. Com o passar do tempo, a aplicação do conceito se expandiu para uma maior escala, como uma firma na sua totalidade produzindo um produto particular. Melhorias na coordenação, cronograma, *design*, materiais e tecnologias de manufatura podem aumentar a produtividade da mão de obra, e essa definição mais ampla de *aprender fazendo* refletirá na aquisição de experiências em todos os níveis organizacionais, incluindo engenharia, gerenciamento, vendas e *marketing*.

Há interações claras e relevantes entre o *aprender fazendo* e a P&D. A produção e o uso das tecnologias proveem importantes *feedbacks* para o processo de P&D, identificando áreas chave para aperfeiçoamento ou obstáculos importantes.

**Spillovers:** referem-se à transferência de conhecimento ou a outros benefícios, inclusive econômicos, da inovação de um indivíduo, firma, indústria ou outra entidade para outrem. A turbina a gás na produção de eletricidade, sísmica 3-D na exploração de petróleo, tecnologias de plataformas de petróleo e computadores são *spillovers* em um conjunto de tecnologias de energia.

A habilidade de identificar e explorar avanços em campos não necessariamente relacionados é um dos primeiros vetores da inovação e do aperfeiçoamento. Tais avanços são obtidos de um ambiente gerador de educação, pesquisa e capacidade industrial.

Desenvolvimento e difusão, bem como comercialização de novas tecnologias, são em geral um esforço do setor privado dirigido por incentivos de mercado. O setor público pode desempenhar um papel relevante na coordenação e cofinanciamento dessas atividades e, por meio de políticas, na estruturação desses incentivos de mercado. Firms escolhem desenvolver e empregar novas tecnologias para obter vantagens de mercado que resultem em aumento de lucros. Mudança de padrão tecnológico compreende uma ampla gama de atividades que incluem P&D, inovação, projetos demonstrativos, desdobramento comercial e uso difundido, e envolve um

amplo leque de atores desde cientistas da academia e engenheiros até laboratórios de pesquisa industrial, consultores, firmas, reguladores, fornecedores e consumidores. Durante a criação e disseminação de tecnologias revolucionárias (atualmente não existentes), o processo de desenvolvimento deve apresentar uma sequência em várias fases, mas para tecnologias existentes, interações podem ocorrer entre todas as fases. Por exemplo, estudos sobre limitações em tecnologias correntemente aplicadas podem atuar como iniciadores de inovação em pesquisas acadêmicas básicas.

Vários fatores devem ser considerados com respeito ao processo de desenvolvimento e comercialização de tecnologias. Uma revisão detalhada desses fatores está contida no Relatório Especial do IPCC sobre Transferência de Tecnologia (*IPCC Special Report on Technology Transfer – SRTT*). Fatores a serem considerados no desenvolvimento e comercialização de novas tecnologias incluem:

- A extensão da escala de tempo para o emprego das tecnologias avançadas;
- O conjunto de barreiras que as tecnologias inovadoras devem ultrapassar para entrarem em uso comercial largamente disseminado;
- O papel dos governos em criar estrutura para fortalecer a disseminação da tecnologia comercial inovadora criada por companhias privadas;
- Capacidade de absorção da tecnologia e capacidades tecnológicas como um todo são também importantes determinantes da inovação e da difusão.

Novas tecnologias devem ultrapassar barreiras técnicas e de mercado para entrarem em uso comercial disseminado. Fatores relevantes incluem:

- *Performance*;
- Custos;
- Aceitação por parte do consumidor;
- Segurança;
- Riscos financeiros e instrumentos financeiros disponíveis;
- Infraestrutura;
- Conformidade regulatória;
- Impactos ambientais.

O potencial de difusão para uma nova tecnologia depende de todos os fatores acima. Se a tecnologia falha quanto a uma dessas dimensões, não atingirá uma penetração global significativa.

Portanto, a redução de emissões de gases de efeito estufa deve ser um importante objetivo da pesquisa tecnológica, mas não o único fator. Outro fator é que a extensão da escala de tempo para o emprego prático da tecnologia apresenta um impacto substantivo no comportamento do setor privado. Mesmo com o sucesso da inovação da tecnologia, o tempo necessário para a nova tecnologia promover um impacto global significativo nas emissões pode ser considerável.

As formas como a tecnologia reduz emissões futuras de gases de efeito estufa em cenários de emissão de longo prazo incluem:

- Melhoria na eficiência tecnológica e redução de emissões por unidade de produto ou serviço. Essas medidas são fortalecidas quando complementadas por conservação de energia e uso racional de energia (considerando esse setor, por exemplo);
- Substituição de recursos carbono-intensivos de energia por outros menos intensivos. Essas medidas podem também ser complementadas por melhorias de eficiência;
- Introdução de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> (CCS, na abreviação em inglês) para abater emissões não controladas. Essa opção poderia ser aplicada no futuro, em conjunto com tecnologias de geração elétrica, outras tecnologias de conversão energética e processos energo-intensivos que utilizem combustíveis fósseis bem como biomassa (em cada caso há remoção líquida de carbono da atmosfera);
- Introdução de recursos energéticos renováveis tais como hidrelétricos e eólicos, plantas solar-térmicas e energia fotovoltaica, biomassa moderna (que pode ser carbono-neutra, resultando em emissões líquidas iguais a zero) e outras tecnologias avançadas com base em recursos renováveis;
- Fortalecimento do papel da energia nuclear, dependendo do desenvolvimento de ciclos de combustíveis e reatores seguros, resolução de assuntos técnicos associados ao armazenamento dos materiais radioativos e aperfeiçoamento dos acordos nacionais e internacionais de não proliferação de armamentos nucleares;
- Novas configurações tecnológicas tais como células a combustível e novas tecnologias de armazenamento;
- Redução de emissões de gases de efeito estufa resultantes da agricultura e uso da terra depende da difusão de novas tecnologias e práticas que podem incluir ações tais como produção menos intensiva de fertilizantes e aperfeiçoamento de manejo animal.

Tabela 1. <sup>2</sup> Tecnologias e práticas chave de mitigação por setor<sup>3</sup>

| Setor                  | Tecnologias e práticas chave de mitigação disponíveis comercialmente                                                                                                                                                                                                                                                          | Tecnologias e práticas chave de mitigação com projeção de comercialização antes de 2030                                                                                                                                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energia                | Melhorias de eficiência na geração e distribuição; substituição de combustíveis; energia nuclear; energia renovável térmica e elétrica (hídrica, solar, eólica, geotérmica e bioenergia); cogeração; aplicações iniciais de CCS (ex.: armazenamento de CO <sub>2</sub> removido de gás natural).                              | CCS na geração de eletricidade por meio de plantas a gás, biomassa ou carvão; energia nuclear avançada; energia renovável avançada, incluindo energia das ondas oceânicas, energia solar concentrada e fotovoltaica.                                    |
| Transporte             | Veículos movidos com combustíveis mais eficientes; uso de diesel "mais limpo"; biocombustíveis; mudanças de modais com foco em ferrovias e sistemas públicos de transporte; transporte não motorizado; planejamento do uso da terra e transporte.                                                                             | Segunda geração de biocombustíveis; aviação mais eficiente; veículos elétricos e híbridos avançados com baterias e fontes energéticas mais confiáveis.                                                                                                  |
| Construção             | Iluminação eficiente; equipamentos elétricos e de aquecimento/resfriamento mais eficientes; fogões eficientes; fluidos refrigerantes alternativos; recuperação e reciclagem de gases fluorados.                                                                                                                               | Design integrado de prédios comerciais, incluindo tecnologias como medidores inteligentes para controle e feedback; energia solar integrada nos edifícios.                                                                                              |
| Indústria              | Equipamentos mais eficientes no uso final de eletricidade; recuperação de energia térmica e elétrica; reciclagem e substituição de materiais; controle de emissões;                                                                                                                                                           | Eficiência energética avançada; CCS para a produção de cimento, amônia e metais; eletrodos inertes para a fabricação de alumínio.                                                                                                                       |
| Agricultura            | Aperfeiçoamento de manejo agrícola; recuperação de terras degradadas; técnicas melhoradas de cultivo de arroz; técnicas melhoradas de manejo animal e de resíduos; técnicas melhoradas de aplicação de fertilizantes; lavouras energéticas dedicadas para substituir combustíveis fósseis; melhorias de eficiência energética | Aumento da produtividade de colheita.                                                                                                                                                                                                                   |
| Florestas              | Florestamento/Reflorestamento; manejo florestal; redução de desmatamento; manejo de produtos madeireiros; uso de madeira para bioenergia.                                                                                                                                                                                     | Melhorias de espécies arbóreas para aumentar produtividade de biomassa e remoção de carbono; Melhorias em tecnologias de sensoriamento remoto para análise de vegetação/ carbono do solo, potencial de remoção e mapeamento da mudança no uso da terra. |
| Tratamento de resíduos | Recuperação de metano em aterros; incineração de resíduos com recuperação energética; compostagem; tratamento de esgoto; reciclagem e minimização de geração de lixo.                                                                                                                                                         | Biocoberturas e filtros biológicos para otimizar oxidação de CH <sub>4</sub> .                                                                                                                                                                          |

2 IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (Tradução Nossa).

3 Setores e tecnologias são listados em ordem aleatória, não representando prioridade. Práticas não tecnológicas, como mudança no padrão de consumo, não foram incluídas

## 2. Objetivo

O objetivo principal deste documento é contribuir para a discussão da Sessão Temática sobre Mudança do Clima no âmbito da IV Conferência Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento sustentável. Contemplar todas as tecnologias listadas na Tabela 1 foge do escopo desse trabalho e, portanto, a proposta é provocar o debate sobre o desafio tecnológico no contexto da mudança do clima, tendo como base alguns exemplos extraídos da referida tabela. Para tanto, e considerando que se trata de uma Conferência de Ciência, Tecnologia e Inovação, propõe-se a breve consideração de algumas tecnologias com potencial de comercialização até 2030. Sugere-se que durante a leitura sobre essas tecnologias inovadoras se tenha a introdução acima, extraída do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, como pano de fundo.

## 3. Captura e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> (CCS)

A captura e o armazenamento de CO<sub>2</sub> (CCS, na abreviação do inglês) envolvem o uso de tecnologia avançada para coletar e concentrar o CO<sub>2</sub> produzido em plantas industriais ou de geração de energia, para transportá-lo ao local adequado e para armazená-lo e isolá-lo da atmosfera por período longo de tempo. O CCS pode constituir um meio de utilização de combustíveis fósseis com uma emissão menos intensiva de gases de efeito estufa.

A tecnologia empregada requer um alto montante de investimentos mesmo em nível de demonstração. Trata-se de atividade complexa, principalmente porque a captura do CO<sub>2</sub> envolve processos físico-químicos não triviais, além de requerer significativo aporte de energia para a operação. Estimativas recentes de custos têm indicado que a planta de captura contribui com a maior parte do total dos custos (incluindo a compressão) ao se considerar toda a cadeia. O principal fator para isso é o consumo de energia.

Os custos para os vários componentes do sistema variam de maneira ampla, dependendo da planta de referência, da fonte de CO<sub>2</sub>, bem como das situações de transporte e armazenamento (IPCC, 2005).

Segundo o IPCC (2005), métodos novos ou aperfeiçoados de captura de CO<sub>2</sub>, combinados com sistemas avançados de geração de energia ou de processos industriais, poderiam reduzir os custos dessa captura bem como a quantidade de energia requerida. Apesar de haver incerteza considerável sobre a magnitude e o tempo das reduções de custos, a literatura sugere que na próxima década o custo de captura poderia ser reduzido de 20% a 30% e reduções mais substanciais poderiam ser alcançadas por novas tecnologias que já estão em fases de pesquisa ou

demonstração. Reduções futuras de custos dependerão da disseminação e adoção das tecnologias comerciais que possam ser absorvidas pelo mercado assim como de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) sustentados. Os custos de transporte e armazenamento poderiam decrescer na medida em que a tecnologia se tornasse mais madura e houvesse ganho de escala.

Atualmente, tubulações operam como uma tecnologia madura e constituem o método mais comum para se transportar  $\text{CO}_2$ . A primeira tubulação de longa distância para transportar  $\text{CO}_2$  entrou em operação no início da década de 1970 (IPCC, 2005).

Em termos gerais, tubulação para  $\text{CO}_2$  é muito similar àquela utilizada para transporte de gás natural, resguardadas as devidas diferenças.

Em algumas situações ou locais, transporte de  $\text{CO}_2$  por navios pode ser economicamente mais atrativo, particularmente quando o  $\text{CO}_2$  tem que ser transportado por longas distâncias. O gás liquefeito de petróleo (GLP) é transportado em escala comercial por tanques marítimos (*marine tankers*).  $\text{CO}_2$  pode ser transportado por navio de forma similar (tipicamente a 0,7 MPa), mas isso atualmente ocorre em pequena escala em função da demanda limitada. As propriedades do  $\text{CO}_2$  liquefeito são similares àsquelas do GLP, e a tecnologia poderia ganhar escala dependendo da demanda por esse tipo de sistema (IPCC, 2005).

Os custos para os dois tipos de transporte considerados acima dependem das distâncias e da quantidade transportada. No caso das tubulações, há forte dependência de ser *onshore* ou *offshore*.

Segundo o IPCC (2005), cerca de 3-4  $\text{MtCO}_2$ /ano têm sido capturadas e armazenadas em formações geológicas em três projetos de escala industrial (Mar do Norte, Canadá e Argélia). Adicionalmente, 30  $\text{MtCO}_2$  é injetada anualmente por meio de recuperação de óleo (EOR, na abreviação do inglês), sendo a maior parte produzida com óleo, da qual é separada e reinjetada. Ao final da recuperação do óleo, o  $\text{CO}_2$  pode ser retido como medida de mitigação da mudança do clima, em vez de ser emitido para a atmosfera. O Brasil tem experiência em EOR e precisa considerá-la dentro da cadeia do CCS.

A injeção de  $\text{CO}_2$  em formações geológicas profundas envolve muitas das mesmas tecnologias que têm sido desenvolvidas na indústria de exploração e produção de petróleo e gás. Contudo, os custos variam principalmente em função de fatores como localização (*onshore* X *offshore*), profundidade do reservatório e características geológicas. Os custos de armazenamento mais baixos estão relacionados a reservatórios *onshore*, principalmente os mais rasos e com alta permeabilidade. O mesmo se aplica a poços e infraestrutura em campos de petróleo e gás existentes que possam ser reutilizados (IPCC, 2005).

A tecnologia de CCS envolve diferentes componentes e níveis de maturidade no âmbito do mercado, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Grau de maturidade dos componentes de um sistema de CCS<sup>4</sup>

| Componente              | Tecnologia                                        | Fase de pesquisa | Fase de demonstração | Economicamente viável sob condições específicas | Mercado maduro |
|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------------------------|----------------|
| Captura                 | Pós-combustão                                     |                  |                      | X                                               |                |
|                         | Pré-combustão                                     |                  |                      | X                                               |                |
|                         | Oxyfuel                                           |                  | X                    |                                                 |                |
|                         | Separação industrial                              |                  |                      |                                                 | X              |
| Transporte              | Tubulação                                         |                  |                      |                                                 | X              |
|                         | Navio                                             |                  |                      | X                                               |                |
| Armazenamento geológico | Recuperação de óleo (EOR)                         |                  |                      |                                                 | X              |
|                         | Campos de gás ou óleo                             |                  |                      | X                                               |                |
|                         | Formações salinas                                 |                  |                      | X                                               |                |
|                         | Recuperação de metano em camadas de carvão (ECBM) |                  | X                    |                                                 |                |
| Armazenamento no oceano | Injeção direta (tipo dissolução)                  | X                |                      |                                                 | X              |
|                         | Injeção direta (tipo lago)                        | X                |                      |                                                 |                |
| Carbonatação mineral    | Silicato                                          | X                |                      |                                                 |                |
|                         | Materiais residuais                               |                  | X                    |                                                 |                |
| Uso industrial do CO2   |                                                   |                  |                      |                                                 | X              |

4 IPCC Special Report, Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005: O “X” indica nível alto de maturidade. Para a maioria dos componentes, tecnologias menos maduras também existem.

A experiência com a integração sistêmica completa da captura, transporte e armazenamento de CO<sub>2</sub> é relativamente escassa. O CCS ainda não foi utilizado em plantas de larga escala. Entretanto, segundo o IPCC (2005), a integração de captura, transporte e armazenamento em projetos de larga escala é necessária para ganho de conhecimento e experiência a fim de promover uma maior disseminação de tecnologias de CCS. P&D também é necessária para aperfeiçoar o conhecimento de conceitos emergentes e geração de tecnologias para captura de CO<sub>2</sub> com potencial de reduzir significativamente os custos de captura para plantas novas e existentes.

O governo brasileiro reconhece o CCS como uma possível opção de tecnologia para a mitigação da mudança do clima entre um amplo *portfolio* de oportunidades. Portanto, deve-se apoiar a aceleração das pesquisas sobre tecnologias de CCS, bem como o desenvolvimento e difusão, incluindo a transferência daquelas tecnologias que estão pelo menos na fase de demonstração. O governo está consciente de que a aplicação do CCS nos países em desenvolvimento dependerá do grau de maturidade tecnológica, custos, difusão e transferência de tecnologia, bem como da avaliação de elementos socioambientais, reconhecendo, ao mesmo tempo, que esse processo é intensivo tanto em capital como em tecnologia.

Tendo como base os elementos tratados anteriormente, além de outros, é possível considerar os seguintes desafios tecnológicos para debate:

- Investimento em P & D, bem como em plantas de demonstração;
- Ganho de escala;
- Seleção de local adequado para armazenamento;
- Capacidade de armazenamento;
- Contaminantes;
- Redução de custos, principalmente por meio de novas tecnologias de captura;
- Monitoramento;
- Definição de condições de operação;
- Recomendação de práticas e *guidelines* a partir de P&D e pilotos;
- Identificação de vazios de conhecimento e consequente direcionamento de prioridade para P & D;
- Vazamento acidental e dispersão de CO<sub>2</sub>;
- Vazamentos de CO<sub>2</sub> no longo prazo.

Por fim, toda essa discussão deve ser posta em perspectiva a partir do perfil energético nacional. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (2009), a participação da energia de fonte renovável representou 46% do total, o que faz que a matriz energética nacional seja bastante limpa comparativamente àquelas dos demais países. No mundo, essa taxa é de 13% e, nos países membros da OCDE, é de apenas 7%. Portanto, diante desse quadro, pode-se concluir que CCS não seria uma prioridade no Brasil. Contudo, o país precisa pesar a necessidade de investimentos nesse setor quando se consideram questões de competitividade tecnológica, sem deixar de mencionar os desafios que a exploração do pré-sal trará.

#### 4. Captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> em base renovável (*Renewable CCS – RCCS*)<sup>5</sup>

O Brasil figura entre os líderes mundiais que dominam a tecnologia dos biocombustíveis, principalmente etanol. A captura e o armazenamento do CO<sub>2</sub> podem ser realizados tendo por base processos que utilizam a biomassa como recurso.

RCCS com base em biomassa apresenta a vantagem adicional de o processo resultar em balanço negativo de emissão de CO<sub>2</sub> quando aplicado em plantas produtoras de etanol. Para cada litro de combustível renovável produzido, não há apenas redução de emissões, mas há também remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera pelo processo de fotossíntese. De fato, a combinação do uso de etanol proveniente da cana-de-açúcar com RCCS seria uma das poucas possibilidades existentes de, além de reduzir emissões de gases de efeito estufa, torná-las negativas no balanço geral.

O próprio IPCC (2005) reconhece que a aplicação de CCS com base em recursos de energia da biomassa pode resultar em remoção líquida de CO<sub>2</sub> da atmosfera (referenciada como “emissões negativas”) por meio de captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> atmosférico removido pela biomassa.

Com potenciais recursos do GEF, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) vem liderando a elaboração de um projeto cujo objetivo é desenvolver uma planta demonstrativa de RCCS utilizando o CO<sub>2</sub> emitido pelo processo de fermentação em usinas produtoras de açúcar e etanol no estado de São Paulo. Durante a fermentação, o CO<sub>2</sub> é emitido praticamente livre de outros gases e impurezas, havendo apenas a exigência de secagem e compressão. Esse CO<sub>2</sub> com alto grau de pureza será armazenado em formações salinas.

<sup>5</sup> Texto adaptado do Project identification form submetido ao Global Environment Facility (GEF): RCCS - Renewable CO<sub>2</sub> Capture and Storage from Sugar Fermentation Industry in Sao Paulo State.

O objetivo é essencialmente armazenar  $\text{CO}_2$ , tendo em vista que a captura, que constitui a etapa mais difícil do CCS com base em combustíveis fósseis, não é necessária devido ao alto grau de pureza do  $\text{CO}_2$  gerado pelo processo da fermentação do açúcar. Outro fator positivo é que a temperatura em que o gás flui é praticamente a mesma da ventilação do tonel de fermentação. Outra vantagem é o potencial de replicação para outros processos baseados em diferentes recursos.

Na produção de 1 tonelada de etanol, quase 1 tonelada de  $\text{CO}_2$  pode ser capturada. Usinas de açúcar e álcool baseadas em cana e gerando eletricidade com caldeiras eficientes (100 bar ou mais) podem resultar em emissões negativas por meio da aplicação do RCCS.

A indústria de açúcar e álcool no Brasil produz aproximadamente 600 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e 30 milhões de metros cúbicos de etanol, bem como 35 milhões de toneladas de açúcar a cada ano. Considerando que 1 metro cúbico de etanol equivale a 0,79 toneladas, a produção anual de etanol em 2009 corresponde a 24 milhões de toneladas e, consequentemente, 23 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  poderiam ser armazenadas anualmente se a tecnologia fosse aplicada a todas as 420 usinas em operação no território nacional. Dado o tamanho da indústria de açúcar e álcool no país, o sucesso desse projeto demonstrativo trará significativos benefícios para o ambiente global, bem como impactará a discussão sobre a sustentabilidade dos biocombustíveis.

Alguns aspectos de extrema relevância devem ser considerados no debate sobre a tecnologia:

Viabilidade técnica e custos: estudos de viabilidade técnica e financeira precisam ser apoiados, incluindo a identificação das formações salinas, *designs* técnicos para o sistema de captura e tubulação, bem como licenciamento.

Demonstração e transferência de tecnologia: o desafio de tornar a teoria em prática dependerá de experiências pilotos, como o projeto citado anteriormente. Como a cana-de-açúcar é produzida principalmente nos países em desenvolvimento, o sucesso da tecnologia contribuirá para a transferência de tecnologia Sul-Sul.

Aplicação da tecnologia (capacitação): deve haver o envolvimento do setor industrial, mas também instituições técnicas e científicas. Deve-se considerar a seleção dos locais baseada na disponibilidade de informações da subsuperfície, implementação de programa de monitoramento, métodos de identificação e providências para controlar possíveis vazamentos, etc.

Para operação comercial, é preciso considerar que o fluxo será maior e a tubulação poderá combinar o fluxo de várias plantas próximas. Algumas regiões como aquelas localizadas no estado de São Paulo, por exemplo, são densas em usinas de açúcar e álcool (cerca de 150 unidades distribuídas numa área de 200 km<sup>2</sup>).

## 5. Bioetanol

De 2000 a 2007, a produção de etanol no Brasil cresceu em média 11,4% por ano. Em 2007, o mercado doméstico contemplou 18 bilhões de litros, com mais 3,5 bilhões de litros sendo exportados. O consumo interno tem crescido continuamente ao se considerar o uso de automóveis *flex fuel*. Estima-se que o consumo doméstico atingirá 35 bilhões de litros e 50 bilhões de litros em 2015 e 2020 respectivamente. As exportações dependerão do comportamento do mercado, mas estima-se que 15 bilhões de litros poderiam ser exportados anualmente até 2020 (WALTER *et al.*, 2008).

Se no passado a pesquisa brasileira gerou a tecnologia que deu suporte ao crescimento do setor, hoje, geram-se tecnologias que procuram solucionar os problemas detectados na prática agroindustrial (ANDRADE, 2009).

O desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o etanol deve contemplar elementos da cadeia produtiva de cana-de-açúcar, álcool, açúcar e bioenergia. A aplicação de tecnologia de ponta deve ser buscada para garantir a competitividade e a manutenção da liderança que o Brasil alcançou nesse setor. O objetivo desse item do texto é estimular o debate sobre o desafio da inovação no setor de produção de etanol.

Na expansão da produção de bioetanol pelas usinas brasileiras, a incorporação de processos inovadores e o desenvolvimento tecnológico cumpriram um papel essencial, com incremento da eficiência na produção e progressiva redução dos impactos ambientais. Do mesmo modo, as novas possibilidades de produção bioenergética com base na cana, com o emprego de subprodutos lignocelulósicos na produção de bioetanol e eletricidade, dependem sobremaneira de processos ainda em fase de desenvolvimento (BNDES e CGEE, 2008).

Para estimular esse debate, foram extraídos alguns elementos contidos em BNDES e CGEE (2008), que contemplou tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar<sup>6</sup>. Para tanto, foram consideradas tecnologias inovadoras para a utilização da cana como insumo industrial e energético, envolvendo a produção de bioetanol e considerando processos voltados para a valorização dos materiais lignocelulósicos, mediante sua hidrólise ou gaseificação, e a produção de plásticos biodegradáveis. A mesma fonte procedeu a uma revisão das oportunidades de emprego do bioetanol como insumo básico para a indústria petroquímica (ou alcoolquímica), campo no qual já se desenvolveram projetos importantes há algumas décadas e que ora é retomado em novas iniciativas. Essa visão integrada leva inclusive a novos conceitos como o das biorrefinarias.

<sup>6</sup> Para aprofundamento sobre outras questões associadas ao bioetanol, são sugeridas relevantes publicações recentes tais como BNDES e CGEE (2008); Walter *et al* (2008); CGEE (2009); Macedo *et al.* (2008); Goldemberg *et al* (2008).

### 5.1. Hidrólise de resíduos lignocelulósicos

As tecnologias para a obtenção de bioetanol com base em materiais lignocelulósicos envolvem a hidrólise dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentescíveis e sua posterior fermentação para a produção do bioetanol. Para executar essa tarefa, a hidrólise utiliza tecnologias complexas e multifásicas, com base no uso de rotas ácidas e/ou enzimáticas para a separação dos açúcares e remoção da lignina.

De forma geral, pode-se dizer que muito já foi alcançado no desenvolvimento da tecnologia de hidrólise, mas ainda restam importantes desafios a serem enfrentados para a efetiva implementação de unidades comerciais e competitivas por meio desse processo. Como os recursos disponíveis são limitados, é essencial avaliar quais são os itens realmente vitais para a consolidação da tecnologia. Nesse sentido, nos últimos anos foram desenvolvidas linhagens de microrganismos adaptados, assim como foram modeladas e otimizadas as principais operações envolvidas no processo, mas, basicamente, ainda na escala reduzida de reatores experimentais, em que os controles de temperatura e as condições de assepsia são mais fáceis. Apesar de não haver consenso sobre qual seria a melhor opção tecnológica para a produção do bioetanol por essas rotas inovadoras, ao redor do mundo, os pesquisadores clamam pela construção das primeiras plantas comerciais, permitindo, assim, que sejam obtidos os tão esperados ganhos pelo aprendizado [Lynd *et al.* (2005), Zacchi (2007) e Wyman (2007) *apud* BNDES e CGEE (2008)].

### 5.2. Gaseificação para produção de combustíveis e eletricidade

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica da biomassa, realizado a elevadas temperaturas, em que as substâncias orgânicas (sólidas ou líquidas) são convertidas em produtos gasosos, principalmente CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e vapor d'água. Observa-se também a formação de hidrocarbonetos leves e outros compostos voláteis e condensáveis como produtos secundários [Grabowski (2004) *apud* BNDES e CGEE (2008)]. Os constituintes inorgânicos da biomassa são descarregados na forma de cinzas. O processo pode ser efetuado mediante a reação do material orgânico com o oxigênio do ar ou do vapor, ou ainda com oxigênio puro, podendo ser utilizados reatores a pressão atmosférica ou pressurizados. O aquecimento do gaseificador pode ser feito de maneira direta, pela oxidação parcial da biomassa, ou indireta, por meio de mecanismos de troca de calor. Quanto ao projeto do reator, podem ser utilizados gaseificadores de leito fixo, fluidizado ou arrastado. Como se percebe, a gaseificação apresenta rotas bastante diversificadas, que devem ser escolhidas em função da biomassa a ser processada, do tipo de produto buscado e da escala da unidade. As reações que ocorrem em um gaseificador são bastante complexas e, de seu adequado desenvolvimento, depende a eficiência do processo.

Apesar da prévia experiência com algumas plantas de demonstração, os esforços de pesquisa e desenvolvimento não têm sido constantes ao longo dos anos, por isso se espera que essas tecnologias venham a se tornar opções comercialmente maduras somente no médio ou longo prazo, ou seja, em mais de dez anos. Mas, para que isso venha a acontecer, ainda é necessário muito empenho no campo da pesquisa e do desenvolvimento, assim como a definição e a implementação de políticas de fomento adequadas.

### 5.3. Uso de bioetanol como insumo petroquímico ou alcoolquímico

O bioetanol é uma substância homogênea e reativa, que pode ser utilizada como insumo em diversos processos tradicionalmente petroquímicos, que nesse caso poderiam ser denominados alcoolquímicos. Entre os principais processos utilizados na transformação do bioetanol, destaca-se a produção de eteno como resultado da desidratação do bioetanol, precursor de uma ampla gama de produtos de segunda geração, como o polietileno (PE), o polipropileno (PP) e o policloreto de vinila (PVC).

Considerando apenas a demanda mundial de etileno em 2005, de 105 milhões de toneladas [CMAI (2005) *apud* BNDES e CGEE (2008)], e uma penetração de 10% do bioetanol em substituição a outros insumos, tem-se um requerimento de 23 bilhões de litros, da mesma ordem de magnitude que a atual produção brasileira. O fator decisivo para o desenvolvimento desse mercado é o preço relativo do bioetanol frente aos demais insumos.

### 5.4. Produção de plásticos biodegradáveis

Plásticos biodegradáveis são polímeros que, sob condições apropriadas do meio ambiente, degradam-se completamente pela ação microbiana em um curto espaço de tempo. No caso dos bioplásticos, existe a importante vantagem de serem produzidos de fontes renováveis.

Atualmente, já são conhecidas tanto as estruturas quanto as rotas biossintéticas e aplicações de muitos bioplásticos, mas ainda existem importantes limitações para a produção em larga escala. São exemplos as condições especiais de crescimento requeridas para a síntese desses compostos, a dificuldade de sintetizá-los por meio de precursores de baixo custo e os altos custos da sua recuperação. Mesmo com a utilização de microrganismos recombinantes capazes de fermentar fontes de carbono de baixo custo (ex. melaço, sacarose, óleos vegetais e metano), esses processos ainda não são competitivos com a produção convencional dos plásticos sintéticos [Luengo *et al.* (2003) *apud* BNDES e CGEE (2008)]. Além das questões econômicas, ainda é importante que o balanço energético no ciclo de vida desses biopolímeros seja positivo, uma vez que também são pretendidos como substitutos dos materiais petroquímicos.

Normalmente, os ganhos de energia são pequenos, já que o suprimento de energia se baseia, em geral, no uso de combustíveis fósseis. Nesse caso, mais uma vez os materiais derivados da cana levam vantagem, graças ao uso do bagaço.

## 5.5. Biorrefinaria: múltiplos produtos e uso integral da matéria-prima

Uma biorrefinaria pode ser definida como um complexo integrado capaz de produzir diferentes produtos (combustíveis, químicos e eletricidade) com base em diferentes biomassas [Ondrey (2006) *apud* BNDES e CGEE (2008)], num conceito que permitiria o alcance de maiores eficiências, tanto do ponto de vista termodinâmico quanto do ponto de vista econômico e ambiental. Hoje, a produção de bioetanol da cana-de-açúcar já pode ser considerada um exemplo de biorrefinaria, com a produção combinada de açúcar, bioetanol e alguns outros produtos químicos, assim como potência e calor com base na biomassa residual [Macedo (2005b) *apud* BNDES e CGEE (2008)].

O atual desafio tecnológico é considerar o uso de tecnologias esperadas como “maduras” no futuro: com base em materiais lignocelulósicos e nas indústrias de base florestal, por exemplo. Essa agroindústria apresenta perspectivas de crescimento similares às da agroindústria canavieira e certamente serão possíveis sinergias interessantes entre ambas no desenvolvimento de tecnologias e de mercados.

Para finalizar, são listados exemplos não exaustivos de áreas relevantes de P&D ao longo da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, do processamento e do uso do etanol extraídas de CGEE (2009): desenvolvimento de técnicas para mapeamento de solos agrícolas; desenvolvimento de novos sistemas de plantio e manejo do canavial; melhoramento genético de cana-de-açúcar: a) a partir de técnicas convencionais e/ou de engenharia genética; b) redução do tempo de obtenção de novas variedades; c) variedades mais resistentes a pragas e a secas; d) enfoque na maximização da produção de energia (cana-de-energia); e) para o cultivo em regiões brasileiras não tradicionais em cana (áreas selecionadas no projeto), como áreas de cerrado (MS, MT, GO, BA, TO, MA, PI); desenvolvimento de técnicas para manejo de pragas e nematóides; pesquisa no controle biológico de pragas; pesquisa sobre a rotação de culturas e seus impactos, tanto do ponto de vista ambiental como da fertilidade do solo; desenvolvimento de novos sistemas de colheita crua (sem queimar) e aspectos agrônômicos da palha deixada no campo; recuperação da palha originada da colheita de cana crua (sem queimar), tecnologias de recuperação e transporte; processamento da cana-de-energia dentro da filosofia que tanto os açúcares como as fibras serão utilizados para a produção de álcool e eletricidade; desenvolvimento genético de cepas e leveduras com maior poder de conversão e tolerância alcoólica, termo-tolerância, resistência a floculação; redução da temperatura de fermentação ou desenvolvimento de população fermen-

tativa; redução do consumo do ácido sulfúrico em curto e médio prazos e desenvolvimento de alternativas; redução da produção de vinhaça, bem como rotas para o seu tratamento; redução do consumo de vapor na produção de álcool; substituição de insumos químicos derivados do petróleo por derivados da cana (renováveis); ampliação da produção de bioeletricidade com máximo aproveitamento energético da cana-de-açúcar por meio de bagaço, palha, pontas, folhas, coprodutos e vinhaça; produção de biogás a partir da vinhaça; integração do excedente de bioeletricidade produzida pelas usinas com o sistema hidroelétrico de potência existente no país; otimização energética das usinas e destilarias; desenvolvimento de caldeiras que possam operar com alta temperatura usando palha como combustível; instalação de sistemas eficientes de captação, remoção e valorização de substâncias que possam poluir o ar e o ambiente, tais como material particulado, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, etc.; otimização do uso da água nas usinas e destilarias; pesquisa sobre rotação de cultura; otimização no uso de fertilizantes para proteção tanto do solo quanto dos aquíferos subterrâneos; intensificação da proteção e recuperação ambiental: aquíferos, várzeas, matas ciliares, reflorestamento com essências nativas, corredores de biodiversidade, etc.; otimização do uso do álcool combustível; aperfeiçoamento das características do álcool como combustível; uso de álcool em células a combustível (reformadores).

## 6. Sensoriamento remoto e medidas de campo

O sistema brasileiro de monitoramento da Amazônia é um dos mais avançados do mundo, com reconhecimento da revista *Science*<sup>7</sup>. Segundo a respeitada revista, atualmente o sistema de monitoramento do Brasil é modelo para o mundo e o Deter<sup>8</sup> é dado como um exemplo para outros países. De acordo com o Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os bons resultados reconhecidos pela *Science* só foram possíveis graças a uma combinação de pesquisa, tecnologia, capacidade de produção e política de divulgação de dados. Apesar de todo o atual avanço tecnológico e científico alcançado pelo Brasil que o coloca entre os líderes na área, as incertezas associadas ao monitoramento do desmatamento permanecem substanciais. A lacuna entre dados de sensoriamento remoto e medidas de campo em relação ao montante de terra desmatada varia de 5% a 10%.

Ainda considerando o elevado avanço tecnológico referido acima, permanece a incerteza se a Amazônia seria fonte ou sumidouro de carbono. Como ainda não são conhecidos plenamente os mecanismos que poderiam ser responsáveis pelo funcionamento da floresta como um su-

7 [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=1056](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1056)

8 Sistema de detecção de desmatamento em tempo real.

midouro de modo a compensar as emissões devido às alterações dos usos da terra, ainda há incerteza para se concluir definitivamente sobre o balanço de carbono [Nobre e Nobre, (2002)].

A necessidade de pesquisas de campo para um melhor entendimento do balanço de carbono em florestas aliadas ao sistema de monitoramento por sensoriamento remoto remete a uma exitosa experiência brasileira iniciada na década de 1970: trata-se do projeto RadamBrasil.

Com o intuito de se conhecer principalmente a cartografia, geologia, vegetação e natureza dos solos da Amazônia e Nordeste brasileiros, foi criada em outubro de 1970 a comissão do Projeto Radam-Radar na Amazônia. Em junho de 1971, foram iniciados os voos para imageamento.

Devido aos resultados alcançados, o Projeto Radam foi objeto de duas ampliações, realizadas nos anos de 1971 e 1973, as quais cobriram toda a região amazônica e a maior parte do nordeste brasileiro. Em julho de 1975, a responsabilidade pelo mapeamento integrado dos recursos naturais do território nacional passou a ser do Projeto RadamBrasil, que expandiu o levantamento de radar para o restante do território nacional. Os projetos Radam e RadamBrasil constituíram-se nos maiores levantamentos comerciais em nível de aeronave, até aquele momento, realizados no mundo. À época de sua execução, o imageamento por radar de visada lateral (SLAR) mostrou-se de grande utilidade, principalmente para o reconhecimento da Região Amazônica. Dentre as principais vantagens que levaram à sua utilização, pode-se citar o registro das feições naturais em imagens ininterruptas e homogêneas, em tempo relativamente curto e baixos custos (SOUZA, 2010).

No que se refere à Amazônia Legal, houve os levantamentos de campo em todas as estradas e rio navegáveis da região; foram gastas mais de 38.000 horas de voo de aviões e helicópteros; foram publicados 251 cartas planimétricas e mapas temáticos (geologia, solos, relevo, vegetação, aptidão agrícola, uso da terra) e respectivos relatórios; foram abertas e visitadas 1.356 clareiras na selva; foram visitadas 503 clareiras naturais; 960 técnicos trabalharam no projeto (agrônomos, biólogos, climatólogos, cartógrafos, engenheiros florestais, geólogos, geógrafos, etc.). Os custos foram da ordem de US\$ 126.086.250,00 no total do projeto e de US\$ 25/km<sup>2</sup> para o mapeamento da Amazônia Legal (SOUZA, 2010).

Os registros obtidos pelos projetos Radam e RadamBrasil foram organizados e disponibilizados em 550 mosaicos de radar na escala 1:250.000, com um grau e meio de lado na direção leste-oeste e um grau na direção norte-sul. Os mosaicos, disponíveis em papel comum e fotográfico, cobrem todo o território nacional e encontram-se organizados conforme o Mapa Índice de Referência (MIR) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em 2005, foi iniciado um projeto com o objetivo de preservação dos diafilmes e negativos SLAR, por meio do seu inventário, organização, digitalização, edição e disseminação (ESCOBAR *et al.*, 2005).

O projeto Radam pode ser considerado o último grande esforço de cartografia da Amazônia, e os dados obtidos representam ainda a melhor fonte (em muitos casos, a única) de informações sobre as características geográficas da Amazônia, incluindo mapas de geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e pedologia (SOUZA, 2010).

Em 2008, foi lançado o projeto Cartografia da Amazônia, coordenado pelo Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam). Depois de longo tempo à espera de atualizações, o projeto vai corrigir não apenas “vazios cartográficos”, mas dará suporte a projetos de infraestrutura a serem implantados na região, geração de informações estratégicas para monitoramento regional, de defesa nacional, geológicas, náuticas e outros tipos de levantamento. Com duração de cinco anos, será concluído em 2012, e o valor total dos investimentos é de R\$ 350 milhões (CENSIPAM, 2008). Segundo o general de brigada Pedro Ronalt Vieira, diretor do serviço geográfico do exército, além de fornecer uma visão muito mais precisa da topografia, o trabalho permitirá mapear diferentes composições vegetais e calcular a quantidade de biomassa – matéria vegetal-presente em cada região. Isso graças ao uso simultâneo de duas frequências de radar, uma que chega até a copa das árvores (banda X) e outra que chega até o solo (banda P). Pela diferença entre as duas pode-se calcular quanto de biomassa existe em uma determinada área (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2008).

Outra iniciativa realizada com êxito, porém em nível regional, foi o Inventário Florestal do Estado de Minas Gerais (<http://inventarioflorestal.meioambiente.mg.gov.br>). O inventário é uma ação do governo mineiro, por meio da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e do Instituto Estadual de Florestas (IEF). Este se compõe basicamente de duas vertentes, sendo a primeira o mapeamento e monitoramento periódico da cobertura florestal natural e das florestas produtivas do território mineiro; e a segunda, o inventário florestal propriamente dito, que gerou uma série de informações sobre as florestas plantadas de espécies do gênero *Eucalyptus* e à qualidade dos remanescentes florestais naturais, inclusive relacionadas à determinação do estoque de carbono e ao acompanhamento contínuo do desenvolvimento das florestas. Todo esse esforço ocorreu por meio de medições em parcelas permanentes estabelecidas nas fitofisionomias florestais presentes no estado de Minas Gerais. Utilizando o apoio da Universidade Federal de Lavras (UFLA), o esforço inicial contou com 15 equipes de campo que realizaram medições em parcelas permanentes ao redor do estado, integradas às tecnologias modernas de sensoriamento remoto. Estima-se um custo de cerca de pouco mais de R\$ 7 milhões para os primeiros anos do projeto, que resultaram em ampla base de dados iniciais e históricos que estão disponíveis para consulta detalhada e gratuita na Rede Mundial de Computadores (Internet). É possível, inclusive, consultar a cobertura florestal de cada município mineiro contendo comparações entre 2005 e 2007.

Tendo em vista as experiências descritas acima e o esforço do governo em retomar a cartografia da Amazônia, bem como as incertezas relacionadas ao balanço de carbono na região, sugerem-se os seguintes pontos para debate:

- Consideração sobre a possibilidade de retomada de antigos pontos do projeto Radam com o objetivo de auxiliar as pesquisas sobre a dinâmica da floresta em relação ao balanço de carbono;
- Retomada dos esforços cartográficos do Sistema de Proteção da Amazônia (Sipam) para estabelecer uma logística de equipe ao se considerar a proposta acima como pertinente, principalmente no que se refere à execução dos trabalhos de campo e complementação da utilização de tecnologias avançadas de inventário florestal tais como o uso de laser, radares e imagens de satélites;
- Levantamento e avaliação dos custos associados à proposta.

## Referências

- ANDRADE, T. L.C. de. A pesquisa na Sustentação do Setor Sucroenergético. In: Opiniões (Sucroenergético: cana, açúcar, etanol & bioeletricidade). Ribeirão Preto, SP. Out-Dez 2009.
- BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME), Balanço Energético Nacional – 2009 (Ano Base 2008). Brasília, 2009.
- CGEE. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil. Brasília, 2009.
- CMAI – CHEMICAL MARKET ASSOCIATED INC. *Petrochemical demand growth tracks economic growth*. Chemical Market Associated Inc., 2005 *apud* BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008
- ESCOBAR, I.P.; OLIVEIRA, S. A. M. DE; LIMA, S. P. S.; PRADO, R. L. DO; FERREIRA, A. T. A. Reprocessamento digital das imagens SLAR geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRAIL - projeto RADAM-D. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4395-4397
- FISHER, B.S., N. NAKICENOVIC, K. ALFSEN, J. CORFEE MORLOT, F. DE LA CHESNAYE, J.-CH. HOURCADE, K. JIANG, M. KAINUMA, E. LA ROVERE, A. MATYSEK, A. RANA, K. RIAHI, R. RICHELIS, S. ROSE, D. VAN VUUREN, R. WARREN, 2007: *Issues related to mitigation in the long term context, In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. *The sustainability of ethanol production from sugarcane*. Energy Policy 36 (2008) 2086– 2097. [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)
- GRABOWSKI, P. *Biomass thermochemical conversion: OBP efforts*. Washington: Office of Biomass Program, 2004 *apud* BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- HALSNÆS, K., P. SHUKLA, D. AHUJA, G. AKUMU, R. BEALE, J. EDMONDS, C. GOLLIER, A. GRÜBLER, M. HA DUONG, A. MARKANDYA, M. MCFARLAND, E. NIKITINA, T. SUGIYAMA, A. VILLAVICENCIO, J. ZOU, 2007: *Framing issues. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

- IPCC, 2005: *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp, 2007.
- IPCC, 2007: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- LUENGO, J. M. et al. "Bioplastics from microorganisms". *Current Opinion in Microbiology*, v. 6, 2003 apud BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008
- LYND, L. R. *Tomorrow's biomass refineries*. Apresentado no "XXVII Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals", Golden, Colorado, 2005 apud BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008;
- MACEDO, I. C. *Biomass as a source of energy. Relatório preparado para o InterAcademy Council Study on "Transitions to Sustainable Energy Systems"*, set. 2005 apud BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. *Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020*. Biomass and Bioenergy (2008), doi:10.1016/j.biombioe.2007.12.006.
- MINAS GERAIS – IEF / UFLA. Inventário Florestal de Minas Gerais. Disponível em <http://inventarioflorestal.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 19 de abril de 2010.
- NOBRE, C. A e NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. ESTUDOS AVANÇADOS 16 (45), 2002.
- O ESTADO DE SÃO PAULO. Rios e subsolo também serão mapeados. Dezembro de 2008. Disponível em: <http://www.sipam.gov.br/content/view/1076/10/>. Acesso em: abril de 2010.
- ONDREY, G. "The path to biorefineries". *Chemical Engineering*, v. 113 (4), 2006 apud BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- SOUZA, L. Projeto Radam – RadamBrasil. Disponível em: <http://www.leonamsouza.com.br/2VOCNATUREZAWeb/projradam.htm>. Acesso em: abril de 2010.
- SOUZA, L. Projeto Sivam. Disponível em: <http://www.leonamsouza.com.br/2VOCNATUREZAWeb/proj-sivam.htm>. Acesso em: abril de 2010.
- WALTER, A.; DOLZAN, P.; QUILODRÁN, O.; GARCIA, J.; DA SILVA, C.; PIACENTE, F.; SEGERSTEDT, A. A *Sustainability Analysis of the Brazilian Ethanol*, UNICAMP, Campinas, 2008.

WYMAN, C. E. *Handbook on bioethanol: production and utilization*. Applied Energy Technology Series. Washington: Taylor & Francis, 1996 *apud* BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

ZACCHI, G. *The state of the art and future trends of ligno-cellulose biomass conversion to ethanol*. Apresentado na Unicamp, Campinas, fev. 2007 *apud* BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.