

---

---

# CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

---

---

**Guilherme H. Papp**

**Guilherme Mohr**

**Pedro C. Mora**

**Paulo R. Nali**

**Sílvia Maria Stortini González Velázquez**

**Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)**

## **Resumo**

Este capítulo apresenta a tecnologia que contribui para minimizar o aquecimento global, a partir do setor sucroalcooleiro brasileiro, experiente na produção de açúcar, etanol e bionergia nas usinas de cana-de-açúcar. Podem-se reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> com a captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> (CCS) proveniente do processo de fermentação da cana-de-açúcar em etanol, sua compressão e armazenamento em um aquífero salino. A partir do balanço energético do processo obtêm-se emissões tão baixas que podem chegar a ser negativas. Entretanto, é premente o envolvimento da iniciativa privada e do governo na formulação de políticas públicas para incentivar a viabilização da tecnologia.

**Palavras-chave:** CCS (Carbon Capture and Storage). Setor sucroalcooleiro. Etanol.

# 1 INTRODUÇÃO

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar tem se mostrado como alternativa aos combustíveis fósseis na matriz energética, principalmente do setor automobilístico, pois se destaca por produzir uma energia mais limpa, contribuindo para o país se adequar aos novos padrões de emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) (VIEIRA, 2008).

Esse tema é relevante no contexto energético e ambiental brasileiro e mundial, pois o etanol brasileiro vem perdendo mercado devido às restrições quanto à sua exportação. Há perspectivas, caso seja associado a uma tecnologia que torne a sua produção ainda mais limpa e sustentável, agregando valor ao produto e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No processo de produção do etanol, o CO<sub>2</sub> liberado na fermentação do açúcar em etanol é despejado na atmosfera, contribuindo para o agravamento das questões de mudanças climáticas. Só no Brasil, com uma produção de etanol que se aproxima de 30 bilhões de litros por ano, há o lançamento de cerca de 24 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera no mesmo período. A contribuição do etanol brasileiro comparada com a emissão de mais de 30 bilhões de toneladas de Gases de Efeito Estufa (GEE) em todo o mundo parece insignificante, representando apenas 0,1%. Porém, o propósito imediato de evitar essa emissão pode implicar em políticas inovadoras para as mudanças climáticas e uma nova fonte de promoção ao uso do etanol da cana-de-açúcar como insumo energético (UNDP, 2011).

Nesse contexto, este estudo trata da captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> liberado na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, bem como dos benefícios da associação da tecnologia às plantas de produção existentes visando à valorização do etanol brasileiro no mercado internacional, devido à redução dos GEE. Para iniciá-lo, são apresentados alguns fatores que influenciam as políticas internas e externas do etanol, o processo de produção com as etapas discriminadas e uma estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por litro de etanol hidratado produzido.

É apresentada também, e de maneira detalhada, a tecnologia *Carbon Capture and Storage* (CCS) que possui diferentes sistemas de captura, separação, transporte e armazenamento do CO<sub>2</sub>. Há, nos Estados Unidos, uma planta piloto em funcionamento (ZERO, 2014), que é brevemente descrita neste estudo com o objetivo de reforçar a viabilidade de aplicação da tecnologia.

O projeto brasileiro existente sobre o tema, intitulado *Renewable CO<sub>2</sub> capture and storage from sugar fermentation industry in São Paulo state* (RCCS), fortalece ainda mais as vantagens do CCS. Nesse projeto foram realizados diversos estudos ambientais,

políticos, técnicos e geológicos, sobre a captura e o armazenamento de CO<sub>2</sub> e também sobre os riscos inerentes ao investimento no projeto, que exige um incremento de equipamentos na usina já existente, pois os gases emitidos podem ser armazenados no subsolo, em locais previamente definidos e estratégicos.

Reduzindo as emissões, o processo de produção do etanol brasileiro seria ainda mais limpo, o que ajudaria ainda mais o país a se enquadrar nas novas exigências ambientais mundiais e ainda, comercializar créditos de carbono.

---

## 2 O SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO

O setor sucroalcooleiro no Brasil atravessa momentos de instabilidade desde a sua inserção no cenário econômico, que ocorreu na década de 1970 com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). O progresso do setor está sempre atrelado ao mercado do petróleo e de outros insumos como o açúcar e a soja (CONVIBRA, 2013). Mas não se pode deixar de destacar que a produção da cana-de-açúcar é de grande importância para o país, pois dela obtêm-se etanol anidro, etanol hidratado, açúcar e bioeletricidade.

Vieira (2008) ressalta que a cultura de cana-de-açúcar se espalha por quase todas as regiões do Brasil, sendo maior nas regiões Nordeste e Centro-Sul. O período da safra da cana-de-açúcar no Nordeste é de sete meses, de setembro a março, enquanto no Centro-Sul é de oito meses, de abril a novembro, e o volume produzido durante esses meses deve atender às necessidades do mercado durante o ano inteiro.

### 2.1 Histórico do setor

O etanol, produzido por meio da cana-de-açúcar, teve a sua inserção no mercado brasileiro no ano 1975, impulsionado pela crise do petróleo de 1973. Na época, o Brasil importava 80% da sua necessidade de consumo. O governo lançou uma série de financiamentos pelo Banco Mundial, aumentando assim as áreas de cultivo da cana-de-açúcar e as áreas existentes foram ainda modernizadas com a instalação de equipamentos de destilarias maiores e mais modernos. Ao final do ano 1986, o Brasil rumava ao pico da produção de etanol, que chegaria aos 12 bilhões de barris no ano seguinte, porém, alguns anos depois, o preço do açúcar subiu associado à queda do

preço do barril de petróleo e, então, houve uma crise de desabastecimento de etanol, gerando grande perda de credibilidade do Programa (VIEIRA, 2008).

Os investimentos no setor deixaram de existir até meados dos anos 2000, quando o preço do barril de petróleo sofreu nova elevação. Dessa forma, justificou-se a procura por viabilizar o abastecimento do etanol no país. Os veículos com tecnologia de motor bicombustível (*flex fuel* - abastecidos tanto com gasolina como com etanol ou uma mistura deles) passaram, a partir de 2003, a ser disponibilizados. Houve um aumento exponencial na participação das vendas por parte dos veículos *flex*, resultando em domínio absoluto desta categoria nos anos mais recentes (EPE, 2012), porém, isso não garante que o consumidor abasteça seu veículo com etanol hoje.

Nos últimos anos o preço do etanol, nas bombas dos postos de combustível, tem aumentado de forma acentuada, comprometendo a competitividade do etanol diante da gasolina, que, por sua vez, manteve o preço com pequenos aumentos nos últimos anos. O preço do etanol subiu de uma média de R\$ 1,40, em 2009, para R\$ 2,02, em 2011, o que representa um aumento de 44,2%. Já a gasolina subiu no mesmo período de R\$ 2,50 para R\$ 2,75, ou seja, 10% (EPE, 2012).

A demanda de etanol atingiu seu pico no ano 2009, com aproximadamente 18 bilhões de litros consumidos, período que coincide com o preço mais vantajoso do litro do combustível. Com o aumento do preço houve uma queda da demanda de etanol e o aumento mais acentuado da demanda de gasolina que vinha aumentando de maneira constante, porém menos significativa (EPE, 2012). Essa demanda crescente de gasolina obrigou a Petrobras a importá-la para abastecer o mercado interno. Em 2012, as importações de gasolina subiram 70% em relação ao ano anterior (FOLHA DE S. PAULO, 2013a), o que causa um prejuízo para a Petrobras, impactando diretamente a balança comercial, caso não haja um aumento de preço. Nesse contexto, se não houver investimentos para ampliar as capacidades de produção e armazenamento não haverá crescimento no setor, podendo gerar uma crise de abastecimento no país (FOLHA DE S. PAULO, 2013b).

Outro fator a se considerar na definição do preço do etanol é a produção de açúcar e o cultivo de outros cereais que tiram espaço da cana-de-açúcar, como o milho e a soja (CONAB, 2012a).

Houve uma queda de aproximadamente 11% na quantidade de cana destinada à produção de etanol nos últimos quatro anos, um avanço na mesma proporção para a cana destinada à produção de açúcar e uma leve queda na quantidade total disponível de cana-de-açúcar. Na safra de 2011/2012 houve uma queda visível em todos os parâmetros analisados, porém a estimativa realizada aponta uma recuperação na safra de 2012/2013 (CONAB, 2012b). Com o preço e a demanda internacional do açúcar em alta, fica evidente um dos motivos da elevação da sua produção no Brasil e também do preço do etanol. O produtor que optar pelo etanol em detrimento do açúcar deverá

obter a mesma rentabilidade, caso contrário haverá um prejuízo econômico para o empresário.

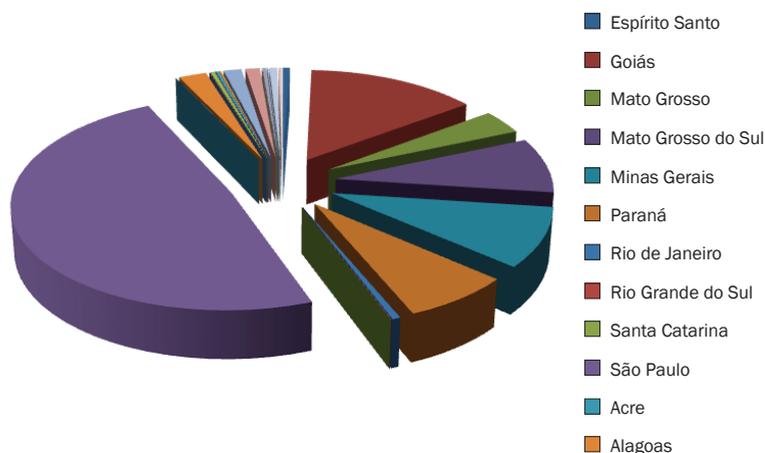
## 2.2 Dados do setor

A cana-de-açúcar é uma planta rústica muito resistente às mudanças de clima, que pode ser produzida em diversos ambientes. O grau de concentração de sacarose depende de baixas temperaturas ou estresse hídrico, quando a planta atinge a maturidade. Esses fatores provocam o repouso e a planta passa a acumular sacarose em seu caldo, ou seja, produzir sacarose em abundância é um fator que depende mais da natureza do que da ação humana. E é esse fator biológico que explica a grande concentração de cana-de-açúcar nas regiões Nordeste e Centro-Sul (CONAB, 2012a).

Segundo CNI (2013), no Brasil existem 441 unidades fabris que produzem açúcar e etanol. Dessas, 153 produzem exclusivamente etanol, 20 produzem açúcar, e as outras 268 são mistas, ou seja, fabricam tanto açúcar quanto etanol.

Na região Centro-Sul estão instaladas 354 usinas, com capacidade estimada para processar 620 milhões de toneladas de cana. O estado que concentra maior número de usinas é o de São Paulo, com 190 unidades (CNI, 2013).

O Gráfico 1 apresenta a parcela de produção de cada estado.



**Gráfico 1** Produção de etanol na safra de 2011/2012.

Fonte: Adaptado de Unica (2013).

É possível concluir, a partir do Gráfico 1, que a maior produção de cana se encontra-se concentrada no Centro-Sul do Brasil, sendo mais intensa no estado de São Paulo com 51,13%. Em seguida vêm os estados de Goiás e Minas Gerais, com 11,80% e 9,19%, respectivamente.

## 2.3 Processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar

O processo de produção de etanol anidro ou hidratado a partir da cana-de-açúcar é constituído de várias etapas, que são apresentadas a seguir.

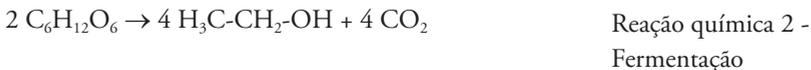
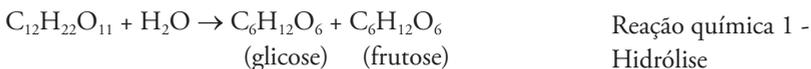
### 2.3.1 Fluxo de produção

A primeira etapa é a moagem, em que são obtidos o caldo e o bagaço. O bagaço pode ser utilizado para a combustão na caldeira, gerando assim vapor para as turbinas (energia elétrica) e para o processo industrial. Já o caldo será destinado à produção de açúcar ou etanol (EQ-UFRJ, 2013).

O caldo obtido é então tratado e decantado. O caldo clarificado coletado da superfície do decantador é, então, conduzido à pré-*evaporação*. Nesse processo ocorre a esterilização das bactérias e leveduras, o que favorece a fermentação. O produto obtido até aqui é o mosto, que é resfriado a 30 °C e preparado para a fermentação.

O processo de fermentação consiste na rápida elevação da temperatura da mistura, transformando o açúcar em etanol e dióxido de carbono, sendo a única etapa do processo industrial em que há emissões de CO<sub>2</sub>.

Segundo Peruzzo e Canto (2002), as reações presentes no processo são a hidrólise da sacarose e a fermentação alcoólica, que podem ser equacionadas, respectivamente, da seguinte forma:



O mosto fermentado é chamado de vinho e é destinado diretamente para os aparelhos de destilação (EQ-UFRJ, 2013). O processo de destilação ocorre em várias etapas baseadas nas temperaturas de ebulição das substâncias voláteis. Em um primeiro momento ocorre a eliminação dos ésteres e aldeídos (impurezas), obtendo-se, assim, o álcool bruto, conhecido como álcool de segunda. Logo após, em uma coluna

de destilação, obtêm-se duas frações: a flegma (mistura impura de água e etanol) e a vinhaça (AGEITEC, 2013).

Por fim, a flegma passa por uma retificação para concentração do destilado até 97% (etanol hidratado). Para obter o etanol anidro é necessária mais uma etapa de desidratação, realizada com ciclohexano ou peneira molecular (AGEITEC, 2013).

### 2.3.2 Estimativa das emissões de $CO_2$ na fermentação

A partir das reações químicas 1 e 2 (hidrólise e fermentação) pode-se estimar a quantidade de dióxido de carbono liberado na produção de etanol, tomando-se como base os valores práticos de Açúcar Total Recuperável (ATR) obtidos na produção brasileira de 1 litro de etanol hidratado para cada 1,6913 kg de açúcar (CONAB, 2012a).

Realizando-se o cálculo estequiométrico da reação química 1 têm-se 342 g de sacarose (ATR) reagindo com 18 g de água, resultando em 180 g de glicose e 180 g de frutose (monossacarídeos). Portanto, proporcionalmente, 1,69 kg de ATR resulta em 1,78 kg de glicose e frutose, que são os reagentes da equação química 2 (fermentação). Novamente pelo cálculo estequiométrico, 360 g de monossacarídeos resultam em 184 g de etanol e 176 g de dióxido de carbono. Logo, a quantidade de 1,78 kg de reagente, necessário para produzir 1 litro de etanol, resulta em 870 g de  $CO_2$  emitidas.

Considerando os 25 bilhões de litros de etanol produzidos na safra 2010/2011 somente pela região Centro-Sul (CNI, 2013), pode-se estimar que foram emitidas, aproximadamente, 22 milhões de toneladas de  $CO_2$  no processo de fermentação alcoólica. Mesmo com vantagem em relação à gasolina e ao diesel, as emissões de  $CO_2$  na produção de etanol são significativas e, caso sejam introduzidas tecnologias que reduzam a quantidade de  $CO_2$  lançada na atmosfera, a produção de etanol pode se tornar ainda mais vantajosa na questão ambiental.

---

## 3 CAPTURA E ARMAZENAMENTO DO DIÓXIDO DE CARBONO

O Brasil possui grande vantagem ambiental em relação aos outros países, pois sua matriz energética é a mais renovável do mundo industrializado, com 45,3% de fontes renováveis (BRASIL, 2013).

O *Carbon Capture and Storage* (CCS) é uma nova solução, capturando o  $CO_2$  exatamente onde está sendo gerado, de diversas fontes, normalmente fósseis, como

usinas termoeletricas, refinarias, indústrias de ferro e aço, fábricas de cimento, indústria petroquímica e processadoras de petróleo e gás natural, principais emissoras mundiais de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Há outros processos que geram fluxos de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e que não estão baseados na combustão. Um deles é a emissão de CO<sub>2</sub> gerado durante o processo de fermentação do açúcar em etanol (IPCC, 2011).

Depois de capturado, o CO<sub>2</sub> é separado de outros gases e enviado, através de linhas de tubulação (*pipelines*) ou outro tipo de transporte, ao local de armazenamento onde será armazenado longe da atmosfera, por um longo período de tempo (BRAUNE et al., 2012). Essa tecnologia é apresentada a seguir, com foco em um projeto brasileiro que tem como objetivo a captura e o armazenamento do CO<sub>2</sub> produzido durante a fase fermentação do mosto da cana-de-açúcar.

O sistema de captura do gás fluente é um processo dominado pela indústria e utilizado no projeto devido ao fato de o CO<sub>2</sub> proveniente da fermentação ter 99% de pureza. Na fabricação do etanol, o mosto é fermentado nas dornas de fermentação apresentando o dióxido de carbono como um dos produtos da reação. Nessa etapa o gás que sai do processo é lavado, pois, caso contrário, arrastaria para a atmosfera certa quantidade de etanol evaporado, mantendo assim um ciclo de fabricação mais eficiente e o CO<sub>2</sub> produzido não necessitará de purificação, saindo praticamente puro, economizando outras etapas. Não há, portanto, a necessidade de equipamentos como os que são utilizados nos sistemas de captura do CO<sub>2</sub> de outros processos.

Normalmente, a separação do CO<sub>2</sub> é a etapa mais onerosa do processo, porém o CO<sub>2</sub> extraído será mais puro dispensando outro tipo de separação deixando-o com um valor mais competitivo perante os outros sistemas (GEF, 2009), pois a corrente de gás emitida pela planta será basicamente de CO<sub>2</sub> podendo ser enviada diretamente para o seu armazenamento.

No mundo todo o sistema de transporte mais viável economicamente e muito difundido nas mais diversas formas de utilização, seja com hidrocarbonetos, seja com gases e distribuição de água, é o realizado por meio de tubulações (*pipelines*) (IPCC, 2005).

O CO<sub>2</sub> pode ser transportado nas suas fases: gasoso, líquido e sólido. O primeiro ocupa um volume muito grande para ser transportado e o terceiro irá necessitar de muita energia para ser obtido. Sendo assim, o mais viável é o estado líquido, além de que, a experiência é muito maior no mercado (IPCC, 2005).

O armazenamento do CO<sub>2</sub> pode ser feito em aquíferos salinos, que são camadas de rochas porosas e salmoura, que podem abrigar uma quantidade muito grande de CO<sub>2</sub> e estão isolados de lençóis de água doce, que poderiam ter uso humano.

É realizada a injeção do CO<sub>2</sub> nesses reservatórios em sua fase líquida ou supercrítica, que é aquela atingida quando a substância é aquecida e pressurizada acima do seu ponto crítico e passará a ter características de gás e de líquido, por exemplo, se difundindo como um gás e se dissolvendo como um líquido (GRUPO DE PESQUISA EM

QUÍMICA VERDE E AMBIENTAL, 2013). Nesses estados o mecanismo necessita de maior atenção, pois sua densidade será menor do que a da água, ficando armazenado acima dela, correndo risco de escapar do reservatório, perdendo a efetividade do sistema. Por essa razão, a selagem do confinamento deverá ser eficaz.

### 3.1 Projeto em Illinois

Situado em Decatur, Illinois, nos Estados Unidos, o projeto está sendo aplicado em uma planta de produção de etanol de milho e o armazenamento do CO<sub>2</sub> é feito em formações salinas, características semelhantes ao do projeto brasileiro. Um consórcio de empresas construiu e está operando as instalações, demonstrando a tecnologia de captura do CO<sub>2</sub> em uma planta de etanol oriundo da fermentação do milho que depois de capturado e comprimido é transportado 1,5 quilômetro por meio de tubulações (*pipelines*) para ser armazenado em formações salinas no Monte Simon Sandstone, em profundidades de aproximadamente 2 quilômetros. É a primeira planta integrada ao CCS de larga escala. Como o projeto é aplicado em uma planta de etanol, em que o gás residual é praticamente CO<sub>2</sub> puro, o processo de captura existente é o de gás fluente (ZERO, 2014).

Suas atividades tiveram início em agosto de 2011 e os testes de injeção começaram dois meses depois. Em 2012, 317.000 toneladas de CO<sub>2</sub> já haviam sido injetadas. É um projeto que prevê a injeção de 1 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> em três anos (CSLF, 2013) e seu custo é próximo aos US\$ 208 milhões, sendo o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos responsável por quase 70% do investimento total (ZERO, 2014).

---

## 4 O PROJETO BRASILEIRO

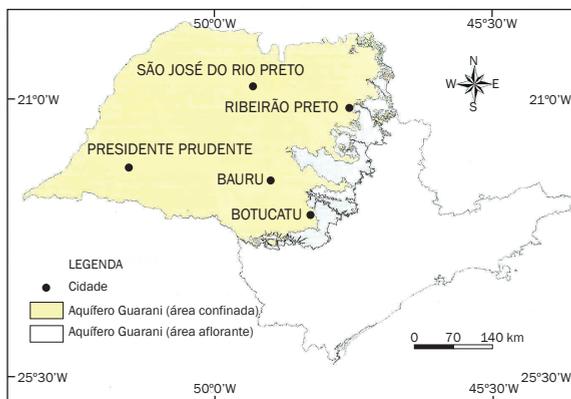
O projeto brasileiro tem como objetivo aplicar o conceito de captura e armazenamento de carbono (CCS) no Brasil por meio do armazenamento de CO<sub>2</sub> provindo do processo de fermentação da cana-de-açúcar durante a produção do etanol em uma usina, seu transporte até um local específico para, posteriormente, ser injetado em um aquífero salino, onde existem mecanismos físicos e geoquímicos para aprisionar o CO<sub>2</sub> e evitar que o mesmo vaze para a superfície (UNDP, 2011).

O balanço de emissões, apresentado anteriormente, associado a esse projeto de captura e armazenamento nas plantas de produção de etanol resultará na emissão negativa de CO<sub>2</sub>, o que na prática significa que o sistema funcionará como sequestrante de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Dessa forma, fica reforçada a viabilidade técnica da aplicação da tecnologia do CCS no setor sucroalcooleiro.

O projeto se baseia no potencial promissor da tecnologia em estudo, devido ao fato de ser uma possibilidade inédita de não somente reduzir as emissões, mas também reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (emissão negativa). Outro fato que reforça a capacidade dessa tecnologia é o projeto em andamento nos Estados Unidos, em Illinois (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2013b).

#### 4.1 Local de aplicação

O Estado de São Paulo tem grande potencial para aplicação dessa tecnologia, pois é nele que se encontra a grande produção de etanol (51%). É nesse Estado também que se tem planejado a instalação de novas usinas produtoras de etanol. Além disso, possui grandes aquíferos, que podem ser explorados para tal atividade. O maior e mais importante deles é o Aquífero Guarani, cuja grande parte está no Estado de São Paulo, como é possível observar na Figura 1, porém, esse é um ponto importante já que o Estado possui uma Lei n. 6.134 de 6 de fevereiro de 1998, que trata da preservação de armazenamentos subterrâneos de água (UNDP, 2011).



**Figura 1** Delimitação do Aquífero Guarani

Fonte: Perrota et al. (2005).

Segundo UNDP (2011), existem reservatórios salinos que têm baixa permeabilidade, entretanto é possível rearranjar o material subterrâneo por meio da pressão utilizada na injeção do CO<sub>2</sub>. O reservatório salino é selado por si só, porém é necessária a presença de uma rocha selante para evitar a fuga do CO<sub>2</sub>. Para a implantação do projeto, o local mais adequado é entre as cidades de Bauru e Presidente Prudente, pois apresentam condições mais apropriadas para tal.

## 4.2 Riscos do Projeto

Os riscos inerentes ao processo CCS podem ser divididos em: riscos operacionais, riscos ambientais, riscos financeiros e riscos organizacionais, que são detalhados a seguir.

### 4.2.1 Riscos operacionais

Como riscos operacionais podem ser citados a identificação de uma ou mais empresas capazes de fazer a perfuração do solo, encontrar sondas disponíveis para auxiliar no processo de perfuração e localização do aquífero salino. Esses riscos são considerados baixos, pois perfurações até 1.500 m e o uso de sondas são comuns em atividades para abastecimento de água e, no Estado de São Paulo, mais especificamente a Oeste, encontra-se água em praticamente todo o subsolo. O maior risco dessa categoria é relacionado à permeabilidade adequada das rochas e à existência de rocha selante para evitar que o CO<sub>2</sub> injetado no aquífero vaze para a atmosfera, comprometendo o projeto. Para mitigar esse risco, torna-se necessária a exploração de alguns poços (GEF, 2009).

### 4.2.2 Riscos ambientais

A aquisição da licença ambiental pode ser considerada um risco grave, visto que sem ela nada poderá ser feito. Tal licença poderá ser para uma atividade de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) caso haja restrições para uma licença industrial. Para amenizar esse risco, é possível, junto aos órgãos responsáveis (como a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb), criar um plano de treinamento para conhecimento do projeto e o benefício ambiental que ele trará.

Há ainda o problema de o CO<sub>2</sub> puro ser despejado em água potável, o que não prejudica a qualidade da água porque existem garrafas de água mineral com gás (CO<sub>2</sub>) para consumo humano e a quantidade de CO<sub>2</sub> a ser enterrada, prevista no projeto, é extremamente baixa quando comparada à enorme quantidade de água no aquífero. No caso de vazamento para a atmosfera, como dito anteriormente, não haveria tanto

problema, pois o CO<sub>2</sub>, sem o projeto de captura e armazenamento, já seria lançado para o meio ambiente (GEF, 2009).

#### *4.2.3 Riscos financeiros*

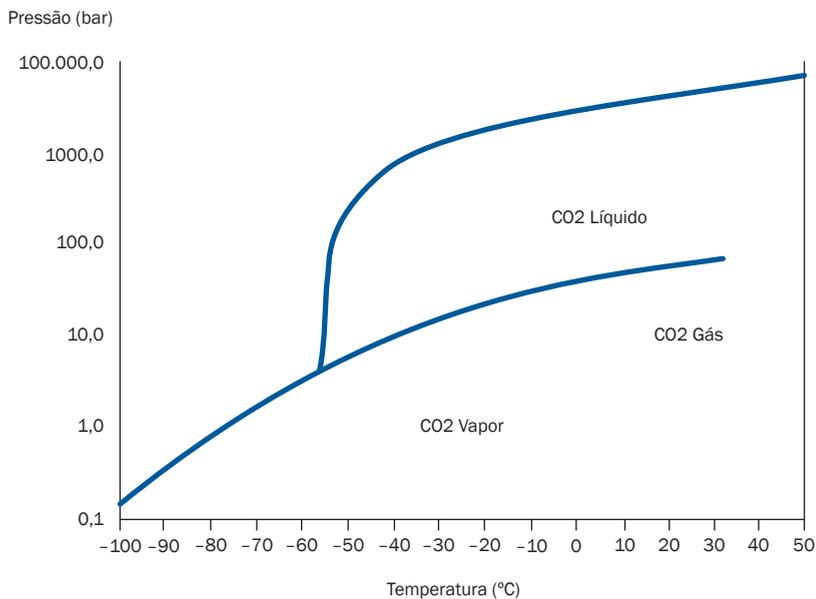
Como risco financeiro, pode ser citada a valorização ou desvalorização da moeda, o que deixaria os equipamentos mais caros. Caso haja necessidade de perfurar mais poços o orçamento pode ser comprometido. Tais riscos podem ser amenizados com o comércio de créditos de carbono, pois desde a Conferência das Partes em Durban (COP17), as atividades de CCS fazem parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2011a) e, portanto, podem receber créditos de carbono, que poderão ser utilizados para custear parte do projeto.

#### *4.2.3 Riscos organizacionais*

Um projeto dessa magnitude exige uma equipe de profissionais competentes o suficiente para gerenciá-lo. Existem grandes empresas no Brasil capazes de gerenciar um projeto assim, porém podem comprometer o orçamento. Uma forma de minimizar esse risco é buscar empresas que tenham interesse em se tornar parceiras do projeto. As empresas que investirem em projetos de CCS, além de estarem contribuindo para redução do lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, terão também uma boa imagem tanto no âmbito empresarial, quanto no social, uma vez que empresas com práticas desse tipo são mais bem vistas e aceitas no mercado. O retorno do investimento não será tanto financeiro, porém a empresa parceira se mostra como uma empresa preocupada em preservar o meio ambiente e promover qualidade de vida e, certamente, lucrará com essa imagem.

### **4.3 Descrição do processo**

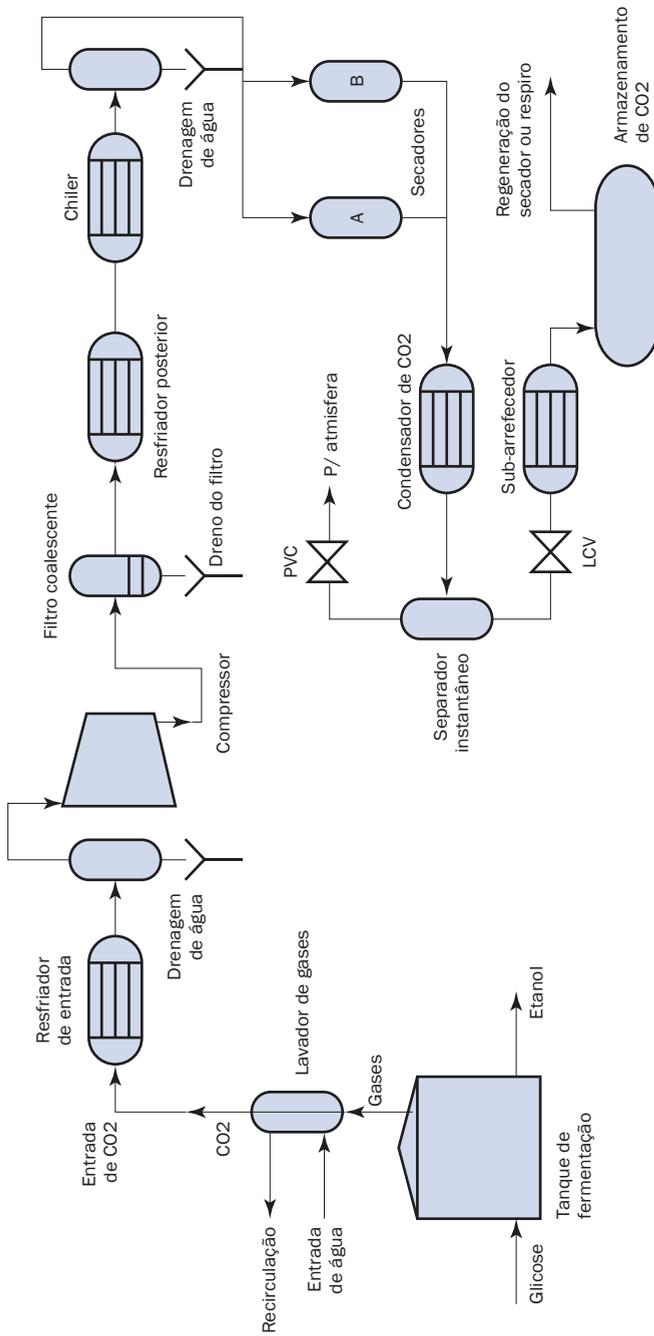
É necessário, antes de tudo, entender o comportamento do CO<sub>2</sub> em diferentes condições de pressão e temperatura. Essas propriedades são fundamentais para se definir o processo e a capacidade dos equipamentos. O Gráfico 2 apresenta as fases do CO<sub>2</sub> em função da pressão e da temperatura.



**Gráfico 2** Pressão x Temperatura do CO<sub>2</sub>.

Fonte: Adaptado de IPCC (2005).

Conforme se pode observar no Gráfico 2, na condição de baixa pressão e temperatura ambiente, o CO<sub>2</sub> é retirado na fase gasosa e para trabalhar na fase líquida é necessário reduzir a temperatura e aumentar a pressão. No projeto em questão foram definidos os processos necessários para a captura e armazenamento que compõem a planta a ser instalada, cujos componentes são apresentados na Figura 2.



Fonte: Adaptado de UNDP (2011).

**Figura 2** Planta de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>.

De acordo com a Figura 2, o processo possui etapas de compressão, separação, drenagem, secagem, condensação e resfriamento. O gás que entra no processo resulta do lavador de gases instalado junto ao tanque de fermentação com a finalidade de separar o  $\text{CO}_2$  dos outros produtos, evitando assim o arraste de etanol para a atmosfera (BELFANO, 2013). Antes de ser comprimido existe o processo de resfriamento com a finalidade de condensar parte da umidade presente no gás. Após o resfriamento, o gás passa por um tanque para drenagem de água líquida e entra no compressor.

Durante o processo de compressão ocorre uma redução de umidade relativa presente no gás e, com uma pressão elevada, é possível obter uma eficácia maior nos processos de separação além da maior facilidade de transporte.

O óleo presente no gás oriundo do contato com o lubrificante do compressor é retirado através do filtro coalescente instalado logo após o processo de compressão. O motivo de ser aplicado esse tipo de filtro está relacionado ao grau de pureza exigido para o processo de purificação. Os filtros coalescentes são especialmente projetados para remoção de partículas submicrônicas e podem ser aplicados tanto para ar comprimido como para  $\text{CO}_2$ , hidrogênio, hélio e oxigênio (MEIO FILTRANTE, 2013).

O dióxido de carbono passa então por processos de resfriamento que têm por finalidade condensar a umidade residual para ser drenada e removida do sistema, reduzindo a umidade específica, porém elevando a umidade relativa. O gás então é conduzido aos secadores por refrigeração para a remoção da umidade.

Com o  $\text{CO}_2$  livre de umidade e dos demais resíduos utiliza-se o condensador de  $\text{CO}_2$  que tem a finalidade de condensar o gás a pressão constante para, então, passar pelo tanque separador instantâneo, que separa o gás não condensado da parte líquida; a parte líquida é armazenada e a parte gasosa liberada para a atmosfera. No projeto brasileiro de RCCS foi considerado que 90% do  $\text{CO}_2$  emitido são cap-turados e armazenados (UNDP, 2011), o que já é suficiente para tornar a emissão de etanol negativa.

---

## 5 VANTAGENS DO ETANOL BRASILEIRO ASSOCIADAS AO CCS

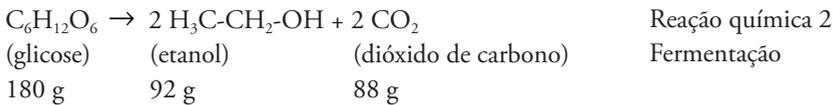
O grande diferencial de aplicar o CCS em uma usina de etanol proveniente da cana-de-açúcar é a possibilidade de tornar negativas as emissões de  $\text{CO}_2$ . Negativar as emissões não implica, simplesmente, reduzi-las, mas significa que quanto maior for o

consumo de etanol proveniente de uma usina que utilize o CCS, maior será a remoção CO<sub>2</sub> na atmosfera, compensando emissões de outras fontes.

### 5.1 Emissões negativas de CO<sub>2</sub>

A emissão do dióxido de carbono durante a produção do etanol brasileiro, considerando o ciclo de vida completo (uso direto e indireto do solo), é de 50 gCO<sub>2</sub>/MJ. Já a emissão na produção do etanol, considerando a produção de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar em uma usina moderna (caldeira de 50 bar e 520 °C) e acreditando que essa energia substitua a energia oriunda do gás natural, é de 9 gCO<sub>2</sub>/MJ (EPA, 2010).

A partir da reação de fermentação, pode-se avaliar a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e que pode ser armazenada.



Portanto, cada 180 g de glicose geram 92 g de etanol e 88 g de dióxido de carbono. O etanol possui um poder calorífico inferior de 28,225 MJ/kg de combustível (BIO-ETANOL, 2008). Proporcionalmente, a cada 92 g de etanol produzem-se 2,597 MJ. Sendo assim, para produzir essas 92 g de etanol foram emitidas, segundo EPA (2010), as seguintes quantidades.

<b>Sem bioeletricidade:</b>	<b>Com bioeletricidade:</b>
50 gCO <sub>2</sub> /MJ x 2,597 MJ	9 gCO <sub>2</sub> /MJ x 2,597 MJ
129,835 gCO <sub>2</sub>	23,370 gCO <sub>2</sub>

Como o CCS captura todo o dióxido de carbono liberado na produção do etanol, ou seja, armazena as 88 g de CO<sub>2</sub> emitidos na produção de 92 g de etanol, a emissão líquida de CO<sub>2</sub> é apresentada a seguir.

<b>Sem bioeletricidade:</b>	<b>Com bioeletricidade:</b>
129,835 gCO <sub>2</sub> – 88 gCO <sub>2</sub>	23,370 gCO <sub>2</sub> – 88 gCO <sub>2</sub>
41,835 gCO <sub>2</sub>	- 64,630 gCO <sub>2</sub>

Portanto, caso haja produção de etanol e bioeletricidade na usina, o que é o caso da grande maioria das usinas brasileiras, o resultado líquido das emissões de CO<sub>2</sub> com

a utilização do CCS é de  $-64,63 \text{ gCO}_2$ , desconsiderando a quantidade de  $\text{CO}_2$  emitida para a geração da energia utilizada no processo.

Esse resultado possibilita a produção de uma quantidade de etanol sem sequestro de carbono, com saldo de  $\text{CO}_2$  nulo. Para determinar essa quantidade de etanol a ser produzida, pode-se basear no fato de que são liberados 88 g de  $\text{CO}_2$  para produzir 92 g de etanol. Proporcionalmente, pode-se produzir 67,568 g de etanol liberando 64,63 g  $\text{CO}_2$ .

Assim, uma usina que utilize a tecnologia CCS permite que a cada 92 g de etanol produzido, outra usina que não utilize essa tecnologia possa produzir 67,568 g de etanol com emissão nula, gerando um total de 0,159 kg de etanol sem emitir dióxido de carbono.

### 5.1.1 Benefícios da emissão negativa

Existem algumas legislações internacionais qualificando o etanol e, cada vez mais, estão surgindo novas regras e/ou metas para o consumo de combustíveis que reduzam a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

De acordo com a *Renewable Fuel Standard* (RFS2), lei reeditada em 2010, que comanda a produção e utilização de combustíveis renováveis nos Estados Unidos, um biocombustível avançado deve reduzir em 50% as emissões dos GEE em relação à gasolina (DIRETO DA USINA, 2012).

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é um biocombustível classificado como avançado. Por outro lado, o etanol produzido a partir do milho ainda não é considerado avançado devido às suas emissões de GEE. As metas norte-americanas seguem as determinações da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e buscam o consumo mínimo de 136 bilhões de litros de combustíveis renováveis em 2022. Desse total, 79 bilhões de litros devem ser considerados como combustível avançado (DIRETO DA USINA, 2012).

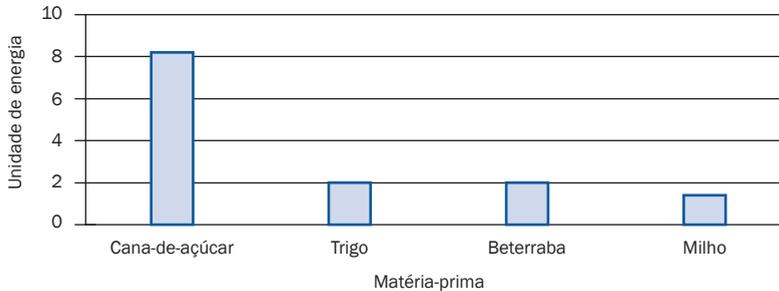
Essa meta a ser cumprida pelos Estados Unidos pode ser uma grande oportunidade para o Brasil. Considerando que o etanol proveniente do milho emite, aproximadamente,  $79 \text{ gCO}_2/\text{MJ}$  e que a gasolina emite, aproximadamente,  $92 \text{ gCO}_2/\text{MJ}$ , pode-se misturar o etanol brasileiro ao etanol americano com o objetivo de atingir a meta estipulada pela agência americana (EPA, 2010).

## 5.2 Vantagens do etanol proveniente da cana-de-açúcar

O Brasil possui uma grande vantagem em relação aos outros países, pois sua matéria-prima para a produção do açúcar e etanol é a cana-de-açúcar, que tem características importantes se comparada às outras matérias-primas.

O etanol proveniente da cana-de-açúcar possui, entre outras vantagens, o balanço energético superior em relação ao etanol produzido a partir de outras fontes de biomassa. O balanço energético é a proporção entre a energia fóssil consumida na produção e a energia renovável produzida pelo etanol.

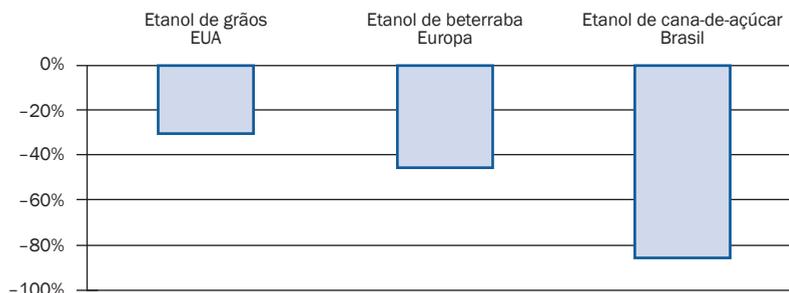
Como se pode observar no Gráfico 3, o etanol brasileiro proveniente da cana-de-açúcar possui o balanço energético positivo, fornecendo cerca de oito unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil utilizada.



**Gráfico 3** Balanço energético do etanol produzido a partir de diversas matérias-primas.

Fonte: Revista Opiniões (2007).

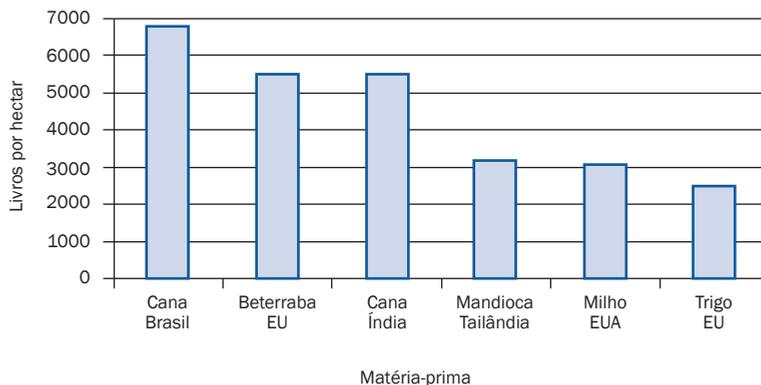
Além do balanço energético favorável, o etanol de cana-de-açúcar também apresenta a maior redução dos gases de efeito estufa se comparado às outras matérias-primas. Como se pode observar no Gráfico 4, a utilização do etanol de cana-de-açúcar reduz, ao substituir a gasolina, aproximadamente, 80% dos GEE, enquanto utilizar o etanol de beterraba e de grãos, reduzem, respectivamente, 46% e 31%.



**Gráfico 4** Emissões evitadas substituindo a gasolina por etanol.

Fonte: Revista Opiniões (2007).

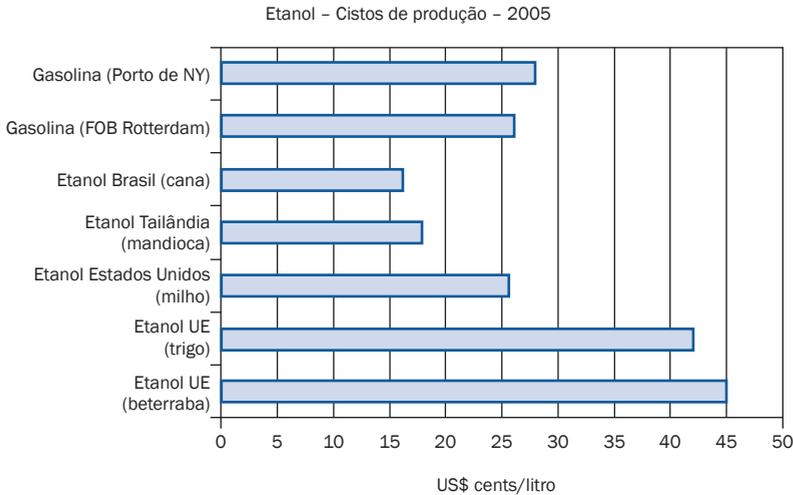
Outra vantagem do etanol brasileiro, conforme se pode observar no Gráfico 5, é a maior produtividade do etanol proveniente da cana-de-açúcar. São cerca de 6.800 litros de etanol produzidos por hectare, valor muito superior se comparado, por exemplo, ao etanol produzido a partir do trigo na União Europeia que fornece, aproximadamente, 2.500 litros por hectare.



**Gráfico 5** Produtividade.

Fonte: Revista Opiniões (2007).

No Gráfico 6, compara-se o custo de produção do etanol de diversas matérias-primas, e conclui-se que o etanol brasileiro possui o menor custo de produção.



**Gráfico 6** Custo de produção de diversas matérias-primas.

Fonte: Cenbio (2008).

A partir dos dados apresentados é possível concluir que o etanol do Brasil possui muitas vantagens em relação ao etanol americano, e a larga experiência do Brasil na produção do etanol é uma das grandes responsáveis por essa eficiência.

### 5.3 Benefícios do CCS aplicado a uma planta de etanol

Uma das grandes desvantagens do CCS é o custo para separar, transportar e armazenar o dióxido de carbono. IPCC (2005) estima que, com a tecnologia disponível, é possível capturar entre 85% e 90% de CO<sub>2</sub> processado em uma central de captura, porém, para isso, a usina acabaria gastando até 40% a mais de energia se comparada a uma usina que não possui essa tecnologia (REVISTA BRASILEIRA DE BIOENERGIA, 2011).

Entre esses processos, separar o CO<sub>2</sub> dos demais gases que seriam lançados para a atmosfera é o mais custoso. Os custos de transporte e armazenagem são cerca de 10 vezes menores que os custos de captura do dióxido de carbono (IPCC, 2005).

A grande vantagem do CCS associada a uma planta de etanol é que nas dornas de fermentação o gás obtido no processo é praticamente dióxido de carbono puro. Assim, pode-se dizer que o processo é composto essencialmente pelo transporte e armazenamento de CO<sub>2</sub>, tornando seu custo muito mais interessante (GEF, 2009).

## 6 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta o CCS como forma de incentivar o uso do etanol como combustível, que possibilita mitigar os efeitos das emissões de CO<sub>2</sub> e aumentar a eficiência na produção de etanol. O método não deve ser utilizado como única solução, e sim como parte de um conjunto de soluções, como o maior uso de fontes renováveis, complementando novas formas de mitigação do impacto ambiental e novas tecnologias mais eficientes.

O sistema CCS irá capturar o CO<sub>2</sub> produzido na fermentação do açúcar, liquefazê-lo, transportá-lo e armazená-lo em aquíferos salinos. O Estado de São Paulo abriga a maior parte das usinas do Brasil e possui uma grande concentração de lençóis salinos que poderão ser utilizados na injeção. Além disso, a cana-de-açúcar é a matéria-prima para a produção de etanol que possui o balanço energético mais favorável, pois o etanol de cana-de-açúcar fornece aproximadamente oito unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil utilizada, além de apresentar a maior produtividade em litros por hectare.

Nesse contexto, a instalação de uma planta piloto no Estado de São Paulo é premente para que haja uma extrapolação dos valores a partir de todas as usinas, tornando negativa a emissão do CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Pontos desfavoráveis também devem ser considerados, como o fato de existir uma clara divisão de produção no setor sucroalcooleiro entre açúcar e etanol, pois muitas usinas têm produção mista, ora produzindo etanol, ora produzindo açúcar, dependendo do mercado e do preço de cada um dos produtos, visando ao desenvolvimento econômico, ou seja, a maximização dos lucros. Os usineiros ainda não possuem um produto estabelecido, priorizando aquele com maior preço no mercado.

A falta de maturidade nos métodos de CCS e a falta de estudos geológicos tornam a sua implementação mais vagarosa, cara e sem possibilidade de conquistar apoio mais expressivo de empresas privadas, o que pode inviabilizar o desenvolvimento da tecnologia.

É recomendado que o governo brasileiro, inicialmente, como fez o governo americano, invista no Projeto e que ainda sejam realizados estudos sobre as reservas de aquíferos salinos no Estado de São Paulo e nas demais regiões do Brasil, que permitam definir com precisão a tecnologia e a infraestrutura a ser utilizada para realizar o armazenamento nas profundidades exigidas pelo processo.

O Brasil possui larga experiência na produção de etanol e a melhor matéria-prima, além de ser o país com a maior matriz energética de origem renovável. Então, conclui-se que o Projeto brasileiro de CCS deve ser implantado e demonstrado mundialmente para que a sua eficácia seja reconhecida e sua contribuição ambiental atestada. Como

as atividades de CCS fazem parte do MDL, podem receber créditos de carbono, que poderão ser utilizados para custear parte do Projeto.

Quanto antes o Brasil implementar a tecnologia do CCS, mais rapidamente será reconhecido como referência nesse setor, podendo lucrar com a exportação do etanol e das tecnologias para tornar as emissões negativas. Além disso, se outros países quiserem melhorar a qualidade do seu etanol para alcançar a categoria de biocombustível avançado, poderão misturar aos seus combustíveis o etanol brasileiro e, assim, o mercado para o etanol brasileiro só tenderia a aumentar.

A presença do poder público é primordial, pois além de intervir financeiramente, o governo terá influência nas ações de políticas internas que favorecerão a implantação do Projeto brasileiro. Parcerias com órgãos ambientais e agências de pesquisas, como geológicas, poderão ser feitas para promover uma sinergia entre empresas privadas e instituições competentes que viabilizarão o funcionamento do CCS.

## CARBON CAPTURE AND STORAGE IN SUGARCANE PLANTS

### Abstract

This paper presents technology that helps to minimize global warming, from the Brazilian sugarcane sector, experienced in the production of sugar, ethanol and bioenergy in sugar cane plants. CO<sub>2</sub> emissions can be reduced with CO<sub>2</sub> Capture and Storage (CCS) from the fermentation process of sugar cane into ethanol, compression and storage in a saline aquifer. From the energy balance of the process is obtained such low emissions that can become negative. However, it is urgent the involvement of the private sector and the Government in the formulation of public policies to stimulate the feasibility of the technology.

**Keywords:** CCS (Carbon Capture and Storage). Sugarcane sector. Ethanol.

---

## REFERÊNCIAS

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Destilação*. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/....html>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

BELFANO. *Coluna de CO<sub>2</sub>* – Especificações. Disponível em: <[http://belfano.com.br/interinas/produtos/prod\\_det.asp?Produto=57](http://belfano.com.br/interinas/produtos/prod_det.asp?Produto=57)> Acesso em: 31 jul. 2013.

BIOETANOL. *Bioetanol de cana-de-açúcar*: energia para o desenvolvimento sustentável. 2008. Disponível em: <[http://www.ica.sp.gov.br/out/bioenergia/textos/bio\\_06\\_2008.pdf](http://www.ica.sp.gov.br/out/bioenergia/textos/bio_06_2008.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2013.

BRASIL. *Matriz energética*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-o-brasil-esta-fazendo/matriz-energetica>>. Acesso em: 24 mar. 2013.

BRAUNE, A. V.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MOREIRA, J. R. *Projeto RCCS – Captura e Armazenamento do CO<sub>2</sub> Proveniente do Processo de Fermentação do Açúcar em Etanol do Estado de São Paulo*. Artigo apresentado e publicado no SHEWC, Safety, Health and Environment World Congress, 2012. São Paulo, jul. 2012.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. *Projeto BEST – BioEtanol para o transporte sustentável*. São Paulo, 2008.

CNI. *Fórum Nacional Sucroenergético (FNS): Bioetanol – O Futuro Renovável*. Disponível em: <[http://cnisustentabilidade.com.br/docs/FNS\\_RIO20\\_web.pdf](http://cnisustentabilidade.com.br/docs/FNS_RIO20_web.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Perfil do setor de açúcar e do álcool no Brasil* – Edição para Safra 2009/2010. Brasília – DF, 2012a.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar*. Terceiro levantamento, Safras 2010/11 e 2012/13. Brasília - DF, 2012b.

CONVIBRA. *A política brasileira para o etanol: uma análise do aparato histórico-constitucional*. Disponível em: <[http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm\\_1132.pdf](http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm_1132.pdf)>. Acesso em: 3 mar. 2013.

CSLF - Carbon Sequestration Leadership Forum. *Active and Completed CSLF Recognized Projects*. Disponível em: <<http://www.csforum.org/publications/documents/CSLFRRecognizedProjectsJuly2013.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2013.

DIRETO DA USINA. *Etanol de cana é superior ao de milho e beterraba*. 2012. Disponível em: <[http://www.redestop.com/?pag=blog\\_completo&id=44](http://www.redestop.com/?pag=blog_completo&id=44)>. Acesso em: 11 abr. 2013.

EPA - Environmental Protection Agency. *Renewable Fuel Standard Program (RFS2) Regulatory Impact Analysis*. Washington, DC, 2010, p. 1120

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Análise de conjuntura dos biocombustíveis - janeiro a dezembro de 2011*. Brasília-DF, 2012.

EQ-UFRJ - Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Produção de Etanol – Microbiologia Industrial*. Disponível em: <[http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Microbiol/eqb353\\_aula\\_12.pdf](http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Microbiol/eqb353_aula_12.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2013.

FOLHA DE S.PAULO. Dados sobre a importação da gasolina. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1179901-importacao-de-gasolina-pode-chegar-a-20.shtml>>. Acesso em: 15 mar. 2013a.

FOLHA DE S.PAULO. Importação da gasolina sobe 70% em 2012. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/vaivem/1214866-importacao-de-gasolina-sobe-70-em-2012.shtml>>. Acesso em: 15 mar. 2013b.

GEF – Global Environmental Facility. *Project title: RCCS – Renewable CO<sub>2</sub> capture and storage from sugar fermentation industry in São Paulo State*. 2009.

GLOBAL CCS INSTITUTE. *Carbon capture and storage (CCS) accepted as UN-based carbon offsetting scheme, paving way for developing country finance*. Disponível em: <<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/media-releases/271711/carbon-capture-and-storage-ccs-accepted-un-based-carbon-offsetting-scheme-paving-way-developing-coun.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2013a.

GLOBAL CCS INSTITUTE. *Illinois Industrial Carbon Capture and Storage Project*. Disponível em: <<http://www.globalccsinstitute.com/projects/12686>> Acesso em: 18 jul. 2013b.

GRUPO DE PESQUISA EM QUÍMICA VERDE E AMBIENTAL. *Fluidos supercríticos*. Disponível em: <<http://www.usp.br/gpqa/scf.asp>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Carbon Dioxide Capture and Storage*: Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo: Cambridge University Press, 2005.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Bioenergy. In: CHUM, H.; FAAIJ, A.; MOREIRA, J. R. et al. *IPCC - Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011.

MEIO FILTRANTE. *Purificação por coalescência*. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=295>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

PERROTTA, M. M. et al. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Paulo: CPRM, 2005.

PERUZZO, T. M.; CANTO, E. L. do. *Química na abordagem do cotidiano*. São Paulo: Moderna, 2002. v. 3 (Orgânica).

REVISTA BRASILEIRA DE BIOENERGIA. O Carbono rumo às profundezas. Ed. n. 10. São Paulo: USP, 2011.

REVISTA OPINIÕES. A velha cana-de-açúcar. Editora WDS Ltda, Ed. n. 14. São Paulo, 2007.

UNDP - United Nations Development Programme. *RCCS - Renewable CO<sub>2</sub> Capture and Storage from Sugar Fermentation Industry in Sao Paulo State*. 2011.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *União da Indústria da Cana de Açúcar*. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: 8 mar. 2013.

VIEIRA, M. C. A. *Setor sucroalcooleiro brasileiro: Evolução e perspectivas*. Brasília: Deagro (BNDES), 2008.

ZERO EMISSION RESOURCE ORGANISATION, ZERO. *Carbon Capture and Storage FutureGen 2.0 Promoves Forward Into Second Phase*. Disponível em: <<http://www.zero2.no/projects/archer-daniels-midland-company-decatur>>. Acesso em: 29 jun. 2013 e 17 abr. 2014.

#### **Contato**

Sílvia Maria Stortini González Velázquez  
velazquez@mackenzie.br

#### **Tramitação**

Recebido em abril de 2014.  
Aprovado em abril de 2017.