



Panorama das políticas públicas e estratégias para desenvolvimento da captura e armazenamento de carbono: reflexões para o Brasil

Anna Luisa Abreu Netto¹ Victor Harano Alves² Drielli Peyerl³ Pedro Roberto Jacobi⁴
 Edmilson Moutinho dos Santos⁵

¹ Doutoranda, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, São Paulo – Brasil. annaluisanetto@usp.br

² Graduação, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, São Paulo – Brasil. victor.harano@usp.br

³ Doutora, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, São Paulo – Brasil. dpeyerl@usp.br

⁴ Doutor, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, São Paulo – Brasil. prjacobi@gmail.com

⁵ Doutor, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, São Paulo – Brasil. edsantos@iee.usp.br

Cite como

American Psychological Association (APA)

Netto, A. L. A., Alves, V. H., Peyerl, D., Jacobi, P. R., & Santos, E. M. (2021). Panorama das políticas públicas e estratégias para desenvolvimento da captura e armazenamento de carbono: reflexões para o Brasil. *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 10(1), 1-22, e19305. <https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.19305>.

Resumo

Objetivo: Examinar quais políticas públicas e estratégias de financiamento podem estimular a mitigação das emissões de GEE por meio do CCS e refletir sobre o uso desta tecnologia pelo Brasil.

Metodologia: A abordagem da pesquisa foi qualitativa, exploratória e descritiva, baseada na análise documental e bibliográfica sobre o tema.

Relevância: A captura e armazenamento de carbono (Carbon Capture and Storage - CCS) é uma tecnologia emergente com a finalidade de reduzir os gases de efeito estufa (GEE) da atmosfera e, assim, mitigar as mudanças climáticas. Existe uma necessidade de planejamento governamental para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, contexto no qual o uso do CCS pode ser avaliado enquanto estratégia para o país.

Resultados: Os resultados mostraram que a viabilidade de projetos de CCS, na maioria das vezes, está atrelada a uma forte política pública de apoio à tecnologia e que, portanto, possivelmente dependerá da vontade política do governo para que sejam implementados em larga escala.

Contribuições: Análise de possíveis caminhos para o financiamento de CCS no Brasil, examinando, também, possíveis associações entre esta tecnologia e alguns setores brasileiros, como petróleo e gás, bioenergia e cimento.

Conclusão: No Brasil, embora atualmente o CCS esteja exclusivamente associado ao setor de petróleo e gás, esta tecnologia pode ser considerada para outros setores como forma de cumprimento das NDCs brasileiras.

Palavras-Chave: Captura e armazenamento de carbono. Políticas públicas. Precificação do carbono. Títulos verdes. Mudanças climáticas.

Overview of public policies and strategies for the deployment of carbon capture and storage: reflections for Brazil

Abstract

Objective: To examine which public policies and financing strategies could stimulate the mitigation of GHG emissions through CCS and to reflect on the use of that technology in Brazil.

Methodology: The research approach was qualitative, exploratory and descriptive, based on documental and bibliographical analysis on the subject.

Relevance: Carbon Capture and Storage (CCS) is an emerging technology to reduce greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere and thus mitigate climate change. There is a need for government planning to meet Brazil's commitments under the Paris Agreement, context under which the use of CCS could be assessed as a strategy for the country.

Results: The results have shown that the viability of CCS projects is often linked to a strong public policy to support the technology; thus, its implementation on a large scale will possibly be dependent on the political will of the government.





Contributions: Analysis of possible approaches to CCS funding in Brazil, also examining possible associations between this technology and some Brazilian sectors, such as oil and gas, bioenergy and cement.

Conclusion: In Brazil, although currently CCS is exclusively associated with the oil and gas sector, this technology could be considered for other sectors as a form of compliance of Brazilian NDCs.

Keywords: Carbon capture and storage. Public policy. Carbon pricing. Green bonds. Climate change.

Panorama de las políticas públicas y estrategias para el desarrollo de la captura y el almacenamiento de carbono: Reflexiones para Brasil

Resumen

Objetivo: Examinar qué políticas públicas y estrategias de financiación pueden estimular la mitigación de las emisiones de GEI mediante la CAC y reflexionar sobre el uso de esta tecnología en Brasil.

Metodología: El enfoque de la investigación fue cualitativo, exploratorio y descriptivo, basado en el análisis documental y bibliográfico sobre el tema.

Relevancia: La Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC) es una tecnología emergente para reducir los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y así mitigar el cambio climático. Es necesario que el gobierno planifique el cumplimiento de los compromisos asumidos por Brasil en el marco del Acuerdo de París, en cuyo contexto se puede evaluar el uso de la CAC como estrategia para el país.

Resultados: Los resultados han mostrado que la viabilidad de los proyectos de CAC suele estar vinculada a una política pública fuerte de apoyo a la tecnología y que posiblemente dependerá de la voluntad política del gobierno para implementarlos a gran escala.

Contribuciones: Análisis de los posibles enfoques de la financiación de la CAC en Brasil, examinando también las posibles asociaciones entre esta tecnología y algunos sectores brasileños, como el petróleo y el gas, la bioenergía y el cemento.

Conclusiones: En Brasil, aunque actualmente la CAC se asocia exclusivamente al sector del petróleo y el gas, esta tecnología puede considerarse para otros sectores como forma de cumplimiento de las NDC brasileñas.

Palabras clave: Captura y almacenamiento de carbono. Política pública. Precio del carbono. Bonos verdes. Cambio climático.

Introdução

A atual crise climática impõe aos países uma união em prol da diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, a qual vem causando o aumento da temperatura terrestre e ampliando o risco de eventos extremos no mundo (IPCC, 2014). Com vistas a tentar encontrar caminhos para solucionar o problema, o mais recente tratado assinado no âmbito da Conferência das Partes (COP), o Acordo de Paris, cuja elaboração foi concluída em 2015, tem como propósito “limitar o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de enviar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais” (artigo 2, parágrafo 1 (a) do Acordo de Paris). Além disso, a conscientização quanto à importância de que os fluxos financeiros sigam caminhos condizentes com a redução dos GEE é um dos esforços que precisam ser realizados, conforme estabelece o Acordo (artigo 2, parágrafo 1 (c) do Acordo de Paris).

Dentre as estratégias para a mitigação dos GEE, aquelas voltadas a remover o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera são investigadas em diversos cenários construídos para o



alcance da meta de limitação de aumento da temperatura. Alguns exemplos das abordagens que possuem tal característica são: florestamento e reflorestamento; aumento do carbono no solo; sequestro de CO₂ nos oceanos, para a sua alcalinização; e captura e armazenamento de carbono em formações geológicas (em inglês, *carbon capture and storage* – CCS) (IPCC, 2018). A utilização do CCS para mitigação climática, seja associado à produção de bioenergia (BECCS) ou a outros processos que emitam CO₂ (industriais ou de produção de energia), tem um potencial significativo de remover grandes quantidades de CO₂ da atmosfera (IPCC, 2018; Global CCS Institute, 2019).

Nesse contexto, o CCS vem sendo considerado, principalmente, para a sua integração nos sistemas energéticos (associado a fontes como petróleo, gás natural e bioenergia), mas também há estudos e projetos para a descarbonização de setores industriais, como cimento, refino, ferro e aço (Bui et al., 2018). Por sua vez, a utilização do CCS em associação com o biocombustível é relevante para a geração de emissões negativas de GEE (e. g. Cox; Edwards, 2019; Moreira et al., 2016).

Um dos períodos em que a tecnologia CCS teve mais projeção ocorreu justamente após o lançamento do relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), em 2005, momento no qual houve a promessa de investimento público de 30 bilhões de dólares e o compromisso feito pelos países do G8 de construir 20 projetos de larga escala de CCS. Contudo, em razão das dificuldades políticas, da complexidade e dos custos não esperados relacionados ao desenvolvimento dessa tecnologia, um valor muito inferior ao prometido foi investido (2,8 bilhões, entre 2007 e 2014) (Ogihara, 2018). Embora o apoio ao CCS, principalmente financeiro, não tenha sido conforme o planejado no período, o interesse por essa tecnologia voltou a ganhar força após o relatório do IPCC de 2018 (IPCC, 2018).

Uma das etapas mais desafiadoras para projetos de CCS é a captação de recursos e investimentos, dada, por exemplo, a alta volatilidade e incerteza perante os cenários legais, fiscais e econômicos (Herzog, 2017; Ereira, 2010). O desafio é ainda maior em países em desenvolvimento, de forma que há poucos projetos de CCS na África, Ásia e América Latina, principalmente em razão de não haver fontes significativas de financiamento de carbono ou expectativa de lucro com CCS (Almendra et al., 2011).

Assim, diante do potencial dos projetos de CCS no combate à crise climática e das dificuldades de financiamento da tecnologia, o objetivo deste artigo é analisar quais políticas públicas e estratégias de financiamento poderiam estimular a mitigação das emissões de GEE por meio do CCS e refletir sobre o uso desta tecnologia no Brasil. Para tanto, na segunda seção do artigo, a tecnologia será apresentada e serão citadas as experiências brasileiras com o CCS. Na terceira seção, alguns instrumentos que poderiam facilitar o financiamento do CCS serão descritos. A quarta seção discorrerá sobre as emissões de GEE no Brasil e destacará os compromissos do país e de algumas empresas para com o combate às



mudanças climáticas. Após abordar todos esses pontos, a quinta seção será dedicada a avaliar alguns setores nos quais essas tecnologias podem se inserir e a discutir a necessidade de adoção, pelo Brasil, de um posicionamento claro com relação à tecnologia.

Status da tecnologia de captura e armazenamento de CO₂ no mundo e no Brasil

O IPCC define “Captura, Transporte e Armazenamento do Dióxido de Carbono” como um processo que consiste na separação do dióxido de carbono de fontes industriais e de geração de energia, seu transporte para locais de armazenamento e seu isolamento a longo prazo da atmosfera (IPCC, 2005).

O armazenamento do CO₂ pode ser feito via algumas opções tecnológicas conhecidas e desenvolvidas, sendo estas basicamente três: o armazenamento em grandes profundidades nos oceanos, a carbonatação mineral e o armazenamento em reservatórios geológicos (IPCC, 2005). Atualmente, destaca-se o armazenamento geológico, que é uma tecnologia dominada e usada em larga escala.

A injeção de CO₂ em um reservatório geológico é um processo que tem sido utilizado em alguns setores industriais. Existem tecnologias para a recuperação aprimorada de petróleo ou gás na indústria de petróleo, as quais utilizam produtos químicos para a injeção, incluindo o CO₂. Segundo o IPCC (2005), as principais opções para o armazenamento geológico do CO₂ são: a injeção em reservatórios depletados (exauridos) de óleo e gás; o uso do CO₂ para a recuperação avançada de óleo ou gás (EOR e EGR); a injeção de CO₂ em reservatórios profundos saturados não usados de águas salinas; a injeção em camadas profundas de carvão mineral inexploráveis; o uso do CO₂ na recuperação avançada de metano em jazidas de carvão mineral (ECBM); e a injeção em outras opções sugeridas – formações basálticas, xisto betuminoso e cavernas.

Algumas das tecnologias citadas, como a recuperação avançada de óleo (EOR), a recuperação avançada de gás natural (EGR) e a recuperação avançada de metano em jazidas de carvão mineral (ECBM), agregam valor ao armazenamento de CO₂ em reservatórios geológicos; o CO₂ injetado serve para aumentar a produção de petróleo, gás ou metano, respectivamente, além do armazenamento simples. As outras opções de armazenamento não agregam valor; o armazenamento é realizado apenas com o objetivo de armazenar o CO₂ e de impedir sua emissão para a atmosfera (APEC, 2005).

De acordo com Meadowcroft e Langhelle (2009), houve um estímulo à tecnologia CCS pela *International Energy Agency* (IEA) no início dos anos 1990, devido à criação do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento de Gases de Efeito Estufa. Nesse período, redes internacionais ativas da indústria, da academia e do governo promoveram o entendimento sobre o CCS (Meadowcroft e Langhelle, 2009).



A importância do CCS como uma das principais tecnologias disponíveis para fins de mitigação/redução de CO₂ na atmosfera foi destacada pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2018):

Essas reduções podem ser alcançadas através da combinação de tecnologias e práticas novas e existentes, incluindo eletrificação, hidrogênio, matérias-primas sustentáveis de base biológica, substituição de produtos e captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS). Essas opções são tecnicamente comprovadas em várias escalas, mas sua implantação em larga escala pode ser limitada por restrições econômicas, financeiras, humanas e institucionais em contextos específicos e características específicas de instalações industriais em larga escala.

Vale destacar algumas diferenças conceituais que atualmente estão sendo adotadas em função do uso do CO₂ no que diz respeito a agregar valor econômico em um projeto. Além do termo CCS, os termos CCUS (*Carbon dioxide Capture, Use and Storage*) e CCU (*Carbon dioxide Capture and Use*) também têm sido empregados. Segundo a conceituação dada por Hasan et al. (2015):

Enquanto a maioria dos estudos considerava as atividades de CCS ou CCUS, poucos consideravam a captura e utilização de CO₂ ao mesmo tempo. Neste trabalho, introduzimos o conceito de uma rede de cadeia de suprimentos de captura e utilização de CO₂ (CCU) para capturar CO₂ das plantas de origem e utilizar o CO₂ antropogênico para fins avançados de recuperação de óleo. Embora o objetivo de uma rede da cadeia de suprimentos da CCUS seja reduzir as emissões de CO₂, o objetivo da rede da cadeia de suprimentos da CCU é maximizar a receita ou o lucro da utilização do CO₂. Portanto, as cadeias de suprimentos da CCU são impulsionadas por fatores econômicos, enquanto as cadeias de suprimentos da CCUS são motivadas principalmente pelos benefícios ambientais por meio da redução de emissões.

De acordo com o banco de dados de CCS do Laboratório Nacional de Tecnologia da Energia (NETL¹), até abril de 2018, havia 305 projetos de CCS em todo o mundo, com 299 locais identificados. Os 299 projetos localizados incluem 76 projetos de captura, 76 de armazenamento e 147 de captura e armazenamento, em mais de 30 países dos seis continentes. Embora vários projetos ainda estejam na fase de planejamento e desenvolvimento e muitos tenham sido concluídos, 37 estão capturando e/ou injetando CO₂ ativamente.

As iniciativas no Brasil para o domínio das tecnologias de CCS começaram na década de 1990, em especial na indústria petrolífera, com a Petrobras. Segundo Lino (2005), testes de injeção de CO₂ em campos da Bacia do Recôncavo/BA foram iniciados em maio de 1991, no campo de Buracica.

Em 2011, Beck et al. (2011) destacaram que existiam alguns projetos de demonstração no Brasil, dois dos quais eram da Petrobras: o projeto em Miranga e o Projeto Carbometano Porto Batista, com o CEPAC. O Projeto Petrobras Miranga possuía três

¹ <https://netl.doe.gov/coal/carbon-storage/worldwide-ccs-database>. Acessado em 21 de Novembro de 2020.





diferentes cenários de armazenamento: EOR, reservatório de gás exaurido e aquífero salino. O Projeto CEPAC Carbometano Porto Batista foi desenvolvido para olhar para a produção aprimorada de metano do leito de carvão (ECBM).

Atualmente, o Brasil abriga um dos maiores projetos de CCS-EOR do mundo, o projeto do campo de Lula, na província petrolífera do pré-sal. Segundo o Global CCS Institute, em seu banco de dados (CO₂RE)²:

Desde 2011, a Petrobras desenvolve sistemas de separação e injeção de CO₂ instalados em FPSO's (*Floating Production Storage and Offloading*) para a produção de campos de óleo e gás natural localizados no pré-sal *offshore* da Bacia de Santos. O CO₂ associado ao gás natural é separado e, em seguida, comprimido e injetado em poços de injeção de gás para maior recuperação de petróleo. Em dezembro de 2019, o desenvolvimento do Pré-Sal da Bacia de Santos atingiu a marca de 14,4 milhões de toneladas de CO₂ injetadas. Até 2025 estima-se atingir um acumulado de 40 milhões de toneladas de CO₂, o que contribuirá para a evolução tecnológica, redução de custos e demonstração da segurança da tecnologia CCUS.

Mecanismos de financiamento de CCS e CCUS

Existem diversos mecanismos que podem ajudar a financiar os projetos de CCS, e alguns deles já foram utilizados em grandes projetos de demonstração dessa tecnologia. Neste trabalho, utiliza-se a classificação definida por Herzog (2017), a qual considera os seguintes grupos de mecanismos: impulso do mercado (*market pull*); incentivo à tecnologia (*technology push*); motor decorrente da regulação (*regulatory driver*); e motivador de negócio (*business driver*).

Impulso do mercado

Os impulsos promovidos pelo mercado são mecanismos já existentes, os quais podem ser utilizados para ajudar a financiar a tecnologia. Alguns exemplos são: mercados de carbono, mercados de eletricidade e EOR. A esta lista trazida por Herzog (2017), acrescentam-se outros usos que estão sendo estudados para o CO₂ (CCU), como matéria-prima industrial ou componente para a criação de combustíveis sintéticos (Quarton; Samsatli, 2020).

Os mercados de carbono são balcões onde créditos de carbono são comercializados, de forma que essas trocas podem ser realizadas em mercados regulados ou voluntários. O mercado regulado foi instituído com o Protocolo de Quioto, com o objetivo de corrigir externalidades negativas do mercado decorrentes das emissões de GEE que impactam toda a sociedade (Souza et al., 2013). Nesse mercado, empresas e países podem compensar emissões que excederem o que foi previamente definido em acordos ou regulações. O

² <https://co2re.co/StorageData>. Acessado em 21 de novembro de 2020.



mercado voluntário, por sua vez, é principalmente inspirado pelo *compliance* empresarial, com empresas e indivíduos voluntariamente compensando emissões de GEE (Guigon, 2010). Assim, se projetos de CCS acessarem os mercados de carbono, terão a possibilidade de financiar ao menos parte do projeto, vendendo os créditos de carbono que podem ser obtidos com o armazenamento do CO₂. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP, 2016, p.1), os mercados de carbono podem colaborar com o combate às mudanças climáticas da seguinte forma:

Os mercados de carbono visam reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GHG, ou "carbono") de forma econômica, estabelecendo limites de emissões e possibilitando a comercialização de unidades de emissão, que são instrumentos que representam reduções de emissões. A comercialização permite que entidades que podem reduzir emissões a um custo mais baixo sejam pagas para fazê-lo por emissores com custos mais altos, diminuindo assim o custo econômico da redução de emissões.

Já o mercado de eletricidade, como impulso de mercado, é assim denominado quando há uma compensação dos custos do negócio (no caso, a implementação de CCS), os quais serão repassados para aqueles que pagam pela tarifa. O acesso a esse mercado depende de uma permissão especial dos reguladores do mercado de eletricidade, ou de uma lei ou regulação especial (Herzog, 2017).

No caso do EOR e do CCU, o impulso para projetos de captura de carbono existiria pelo próprio valor comercial do CO₂. Esse valor pode incentivar, por exemplo, projetos de captura de carbono em unidades poluentes, com uma parte ou a totalidade dos custos do projeto sendo abatidas com a venda do CO₂. Contudo, vale ressaltar que para o EOR ser considerado um incentivo ao CCS após o uso do CO₂ para extração de petróleo, este não pode ser ventilado – ou seja, ele deve ser armazenado para que não aja como gás de efeito estufa. Da mesma forma, projetos de CCU são considerados como mitigação às mudanças climáticas se a utilização do CO₂ impedir que ele retorne para a atmosfera.

Incentivo à tecnologia

Programas governamentais podem prover o incentivo necessário para que uma tecnologia emergente se desenvolva, diferentemente de uma tecnologia comercial, cujo recurso é proveniente em sua totalidade do mercado (Herzog, 2017). Dentre esses incentivos à tecnologia, há subsídios diretos, créditos tributários e garantias de empréstimo (Herzog, 2017). Em razão da necessidade de um grande investimento para o seu desenvolvimento, os “incentivos à tecnologia” tiveram um importante papel para alavancar investimentos privados em projetos de CCS de larga escala (Ogihara, 2018).

Programas de incentivo fiscal podem ter um grande impacto no desenvolvimento do CCS. Um exemplo de legislação recente neste sentido é a Seção 45Q aprovada nos Estados





Unidos, a qual foi revisada em 2018. A Seção 45Q definiu a concessão de créditos fiscais no valor de 35 dólares por tonelada métrica de CO₂ utilizada em recuperação avançada de petróleo (EOR) e 50 dólares por tonelada métrica de CO₂ armazenada em formações geológicas. Créditos de 35 dólares também serão concedidos para projetos de uso de CO₂ não relacionados a EOR e projetos de captura de CO₂ diretamente do ar (U.S. Department of Energy, 2019). O interesse por CCS aumentou significativamente desde que o valor dos créditos foi majorado, fazendo com que empresas do setor elétrico revisassem planos de negócios para inserir a possibilidade de implementação do CCS (Esposito et al., 2019).

Os fundos criados especificamente para financiamento da tecnologia ou que colocam o CCUS como uma das possibilidades de financiamento também são muito importantes na implementação de projetos. Alguns exemplos de fundos que financiaram projetos de CCS foram: o *Alberta CCS Fund* e o *Canadian Clean Energy Fund*, que apoiaram as operações do *Quest CCS Project*, no Canadá; e o fundo *US Clean Coal Power Initiative*, que concedeu financiamento para os projetos Kemper County IGCC, Petra Nova e Illinois Industrial (Ogihara, 2018).

Fundos internacionais voltados para países em desenvolvimento podem contribuir para a implementação de projetos de CCS neles. O *Green Climate Fund* (GCF) é um exemplo deste tipo de fundo, tendo sido criado pelo UNFCCC para o combate às mudanças climáticas em países em desenvolvimento (Ogihara, 2018).

Outra ferramenta relevante para a discussão de financiamento de projetos de CCS, não citada por Herzog (2017), mas que funcionaria como um incentivo à tecnologia, é o uso dos títulos verdes, ou *green bonds*. O objetivo desses títulos é incentivar que os mercados tradicionais de dívida auxiliem significativamente no financiamento de projetos que contribuam para um desenvolvimento sustentável (ICMA, 2020a). Conforme a demanda dos investidores institucionais e do mercado cresce em torno de investimentos que mitiguem impactos climáticos negativos, a busca por projetos e oportunidades sustentáveis suscitou a necessidade de uma metodologia de avaliação e certificação quanto à real sustentabilidade dos projetos (ICMA, 2020a), permitindo com que os riscos das mudanças climáticas fossem incorporados corretamente na precificação dos ativos investidos.

Nessa forma de financiamento, qualquer emissor do mercado de capitais, sob as regulações e legislações aplicáveis, pode emitir um título verde para financiar um projeto sustentável, desde que este esteja alinhado com os pilares do *Green Bonds Principles* (GBP) (ICMA, 2020a). O GBP surgiu como uma iniciativa da *International Capital Market Association*, para fornecer diretrizes no processo de emissão de títulos verdes, recomendando transparência e alguns direcionamentos que promovam a integridade no desenvolvimento desse mercado e esclarecendo a abordagem para a sua emissão (ICMA, 2018).



Dessa maneira, projetos de CCS podem se beneficiar desse modelo de investimento, desde que possa ser provado que geram uma externalidade ambiental positiva e que estejam alinhados com os GBP. Para isso, precisam ser auditados por uma das corporações credenciadas como certificadoras pela *Green Bonds Initiative* (ICMA, 2020b). Como o GBP apenas sugere quais categorias de projetos podem ser consideradas como Verdes, os emissores são incentivados a utilizar *benchmarks* e criar ou utilizar taxonomias como referência no processo de emissão (HIRSCH, 2019, ICMA, 2020a).

Algumas taxonomias despontaram como referências nos últimos anos, entre elas a *Climate Bond Initiative*, que desde 2013 vem consolidando as melhores práticas no controle e na avaliação, verificação e certificação de projetos que queiram se financiar por meio de títulos verdes (CBI, 2020a). Além disso, a *EU Taxonomy*, desenvolvida pelo *Technical Expert Group on Sustainable Finance*, da Comissão Europeia, foi criada para guiar a emissão de *green bonds* na União Europeia (UE), norteando a identificação e avaliação de projetos e ativos que contribuam para a redução das emissões dos GEE e que estejam alinhados com critérios consistentes com o objetivo de redução de 2 °C até 2050, definido pela COP 21 (European Commission, 2020).

A certificação de projetos de CCS como Verdes, nessas duas taxonomias, é controversa e permanece em uma zona cinzenta, com diversas instituições requerendo análises extras para mitigar os riscos associados ao *greenwashing* (Beder, 2014). A *Climate Bonds Initiative*, por exemplo, não certifica como Verde nenhum projeto de CCS atrelado a geração de energia a partir de combustíveis fósseis, mas aceita projetos de CCS atrelados a geração de energia com biocombustíveis (CBI, 2020b).

A *EU Taxonomy*, por sua vez, considera diversos usos do CCS em alguns tipos de projetos: abastecimento de água; sistema de esgoto; e atividades de gerenciamento e remediação de resíduos. Contudo, também demonstra necessitar de pesquisas adicionais para aprimorar a certificação de projetos de CCS atrelados à geração e transmissão de energia de forma mais clara (European Commission, 2020).

Outras taxonomias, desenvolvidas por bancos asiáticos e agentes privados, consideram o CCS como elegível para o financiamento por meio de títulos verdes (CBI, 2019; Bachelet, Becchetti, Manfredonia, 2019). Isso demonstra que o financiamento de projetos por meio desse modelo é possível, mas requer uma extensa pesquisa e o desenvolvimento de uma taxonomia clara e consistente, alinhada com o GBP.

Os mecanismos de financiamento para CCS por meio de captação de dívida verde no Brasil não são diferentes; é essencial, porém, o desenvolvimento de uma taxonomia nacional ou sul-americana, que permita com que os emissores certifiquem projetos sustentáveis. Essa pode ser a chave para alavancar projetos desse tipo.



Direcionador decorrente da regulação

As regulações baseadas no clima são algumas das que trazem mais impacto para o financiamento do CCS. Tais regulações podem incentivar a tecnologia direta ou indiretamente.

Dentre as regulações que podem financiar indiretamente o CCS, cita-se a precificação de carbono por meio de imposto. Esta pode ser abrangente, para todos os setores econômicos, ou voltada para um segmento específico da economia. No primeiro caso, é cobrado um imposto por quantidade de CO₂ emitido, oferecendo flexibilidade aos emissores para escolher estratégias para abatimento de emissões e aos governos para aumentar ou diminuir o imposto a depender da necessidade de ajustar as emissões do país ou da região (Valentine, Brown e Sovacool, 2019). Ao invés de estabelecer um imposto para toda a emissão de CO₂, o governo pode também definir um teto de emissões, denominado *Carbon cap*, no qual o imposto seria cobrado para o montante que excedesse o teto (Valentine, Brown e Sovacool, 2019).

No segundo caso, a regulamentação ocorre para um setor específico, o que pode causar uma distorção nos mercados de forma não intencional (Valentine, Brown e Sovacool, 2019). Um exemplo de precificação de carbono para setor específico é o caso da Noruega, que tem um imposto para CO₂ decorrente da produção *offshore* de petróleo e gás, o qual acabou por incentivar o investimento nos projetos de CCS em Sleipner e Snøhvit (Ogihara, 2018).

Outro exemplo de regulamentação específica é a norma de emissões canadense direcionada às novas plantas de carvão mineral ou que atingiram o fim da sua vida útil; a norma dispõe que essas plantas devem alcançar “um padrão de desempenho fixado em 420 toneladas de CO₂ por gigawatt-hora (t GWh⁻¹) para permitir a operação contínua enquanto as emissões que excedam 370 t GWh⁻¹ estariam sujeitas a uma taxa de carbono que aumentaria para \$50 por tonelada até 2022” (Giannaris et al., 2020, p. 2).

Motivador de negócio

O CCS pode ser estimulado por “motivadores de negócio” quando há um *business case* persuasivo que tenha um alinhamento com a tecnologia (Herzog, 2017). Nesse sentido, muitas empresas têm se esforçado para criar planos para reduzir as emissões de GEE próprias, a fim de que sejam reconhecidas como empresas sustentáveis. Assim, se esses planos estratégicos das empresas comportarem a inserção do CCS ou CCUS como tecnologia que componha o portfólio de ações voltadas à sustentabilidade, esse plano da empresa funcionará como um motivador de negócio.

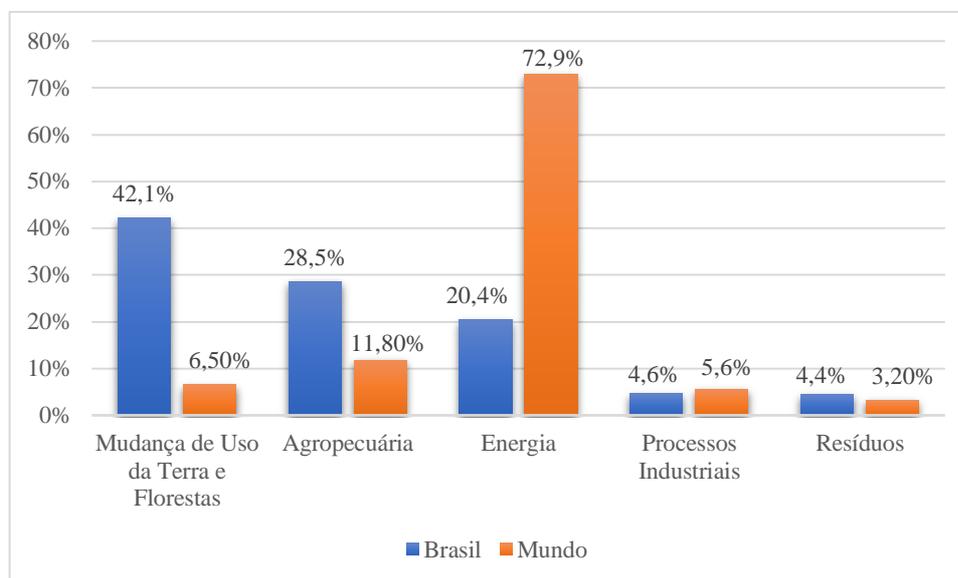


As emissões dos gases de efeito estufa e os compromissos do Brasil e das empresas brasileiras com as mudanças climáticas

Com o intuito de inventariar as emissões de GEE no mundo, o IPCC padronizou e classificou as atividades potencialmente emissoras nos seguintes setores: energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e florestas e resíduos (IPCC, 2006). Quando se comparam os setores mais representativos de acordo com a média mundial e os setores mais representativos no Brasil, há uma notável diferença (figura 1).

Tabela 1

Comparação entre os setores emissores de GEE no Brasil e no mundo (2016)



Fonte: Elaborado pelos autores com base em SEEG (2020) e Climate Watch (2020).

Conforme apresentado na figura 1, no Brasil, o setor que mais contribuiu para emissões de GEE foi “mudança de uso da terra e florestas”, correspondendo, em 2018, a aproximadamente 44% do total de emissões (SEEG, 2020). Em tendência oposta, a média mundial desse mesmo setor, em 2016, foi responsável por apenas 6,5% do total das emissões. As elevadas emissões no setor “mudança de uso da terra e florestas” no Brasil são resultado, principalmente, das dinâmicas de desmatamento no bioma Amazônia e Cerrado (SEEG, 2020).

Na média mundial, o setor energético foi, incomparavelmente, o que mais contribuiu para emissão de GEE, correspondendo a 72,9% dos GEE emitidos. Isso ocorre em razão de a matriz energética mundial ser formada, majoritariamente, por fontes fósseis (84,3%): petróleo (33,1%), carvão mineral (27,0%) e gás natural (24,2%) (BP, 2020). No Brasil, embora as fontes fósseis também correspondam à maioria da matriz, proporcionalmente representam menos (53,9%): petróleo e derivados (34,4%), carvão mineral (5,8%), gás natural (12,5%)



(EPE, 2020). Ainda assim, a Petrobras, empresa estatal brasileira de exploração de petróleo e gás natural, está na vigésima posição entre as empresas exploradoras de petróleo, gás natural e carvão mineral que mais emitiram CO₂ entre os anos de 1965 e 2017 no mundo, sendo que as 20 primeiras empresas desse ranking foram responsáveis por, aproximadamente, 35% da emissão de GEE mundial no período (HEEGE, 2018).

O compromisso realizado pelo Brasil na ratificação do Acordo de Paris, em setembro de 2016, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), prevê metas quantitativas de mitigação das mudanças climáticas para os anos de 2025 e 2030³. No ano da assinatura do Acordo de Paris, o Brasil já apresentava uma redução de aproximadamente 24% com relação ao ano de referência (2005). Contudo, entre 2016 e 2019 as emissões de GEE totais aumentaram cerca de 4,5% no país (SEEG, 2020), o que deixou a meta mais distante, perfazendo uma redução de apenas cerca de 17% com relação ao ano base.

Para atingir essas metas de redução de GEE, nas NDCs apresentadas em 2016, o Brasil explorou as seguintes contribuições: quanto à matriz energética brasileira, afirmou que pretende aumentar a participação de bioenergia sustentável; quanto ao setor florestal e à mudança do uso da terra, focou em medidas como a diminuição do desmatamento, a restauração e o reflorestamento; quanto ao setor energético, citou a expansão das energias renováveis e os ganhos de eficiência energética; quanto ao setor agrícola, dispôs sobre o desenvolvimento da agricultura sustentável; quanto ao setor industrial, focou em medidas de eficiência energética, promoção de tecnologias limpas e infraestrutura de baixo carbono; quanto ao setor de transportes, citou medidas de eficiência e melhoria de infraestrutura (Brasil, 2016).

É interessante observar que, dentre as medidas voltadas a remover o CO₂ da atmosfera, as únicas contempladas diretamente na NDC brasileira são a restauração e o reflorestamento. No setor de energia, não há menção a tecnologias que limitem a emissão de GEE da energia proveniente de fontes fósseis, como é o caso do CCUS ou BECCS. Já no setor industrial, como as medidas mencionadas são bastante amplas, poderia caber a utilização do CCUS para a redução dos GEE.

As empresas também têm um papel essencial no combate às mudanças climáticas, de forma que sem o comprometimento delas com a redução dos GEE dos seus negócios dificilmente as metas de redução mundiais serão atingidas. Estima-se, por exemplo, que cerca de 71% das emissões de GEE entre os anos de 1988 e 2015 foram decorrentes de atividades das 100 maiores empresas produtoras de combustíveis fósseis (CPD, 2017).

Nesse sentido, com o objetivo de contribuir para o conhecimento sobre GEE emitidos no território brasileiro, muitas empresas do país divulgam seus inventários de emissões de

³ Redução das emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, e redução das emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (BRASIL, 2016).



GEE. Em 2019, 156 organizações, membros do Programa Brasileiro GHG Protocol, divulgaram inventários (148 completos e 8 parciais). Juntas, elas representam 14,8% das emissões nacionais (escopo 1) e 14% do consumo elétrico nacional da rede (escopo 2) (FGVces, 2020). Discorre-se, a seguir, sobre três dessas empresas que publicaram os inventários de GEE, definidas em razão de estarem em setores que emitem tradicionalmente muitos GEE: a Petrobras (maior empresa do setor fóssil no Brasil), a Vale (maior mineradora brasileira) e a Votorantim cimentos (maior produtora de cimento no Brasil).

De acordo com o inventário de GEE apresentado, a Petrobras emitiu, em 2019, 59 milhões tCO₂-eq, considerando os escopos 1 e 2 (Petrobras, 2020). Além de apresentar o inventário de GEE, a Petrobras também participa da *Oil and Gas Climate Initiative* (OGCI), consórcio de empresas do setor de petróleo e gás que tem como objetivo acelerar a resposta da indústria às mudanças climáticas. Os membros se comprometeram a investir, coletivamente, mais de 1 bilhão de dólares em soluções para descarbonizar o setor de petróleo e gás, e também o setor industrial e o de transportes. Dentro do portfólio de projetos da OGCI, há sete voltados para a captura, o armazenamento ou o uso do CO₂ (OGCI, 2020). Além disso, entre os dez compromissos com a sustentabilidade publicados no plano estratégico da Petrobras, tem-se a proposta de reinjeção de aproximadamente 40 MM toneladas de CO₂ até 2025, em projetos de CCUS (Petrobras, 2020).

A mineradora Vale, por seu turno, emitiu, em 2019, 12,6 milhões tCO₂-eq, somando os escopos 1 e 2 (Vale, 2020). A Vale possui um compromisso ambicioso de se tornar carbono neutra em suas operações (escopos 1 e 2) até 2050. Outros compromissos relacionados às mudanças climáticas são os seguintes: adoção de um preço interno (*shadow price*) de carbono de US\$ 50 a tonelada de CO₂ equivalente, a ser utilizado nos estudos de viabilidade econômica de projetos; e adoção de um preço interno de carbono de US\$ 10 a tonelada de CO₂ equivalente, para sequestro de carbono em projetos de restauração florestal e reflorestamento. Com relação às metas socioambientais da Vale na Agenda 2030, destacam-se: a recuperação e proteção de 500.000 hectares de áreas degradadas além das nossas fronteiras; e 100% de autoprodução de energia limpa globalmente. Não há no relatório de sustentabilidade publicado pela Vale em 2019 qualquer menção a projetos de CCS ou CCUS (Vale, 2020).

A Votorantim Cimentos, uma das maiores empresas do setor de materiais de construção no mundo e integrante do grupo Votorantim S.A., foi responsável pela emissão de aproximadamente 19,9 milhões tCO₂-eq nos escopos 1 e 2 das suas operações⁴ em 2019 (Votorantim, 2020). A empresa tinha como meta reduzir a intensidade de emissões por tonelada de cimento em 25% até 2020 em relação a 1990. Além disso, almeja também

⁴ As emissões de escopo 1 abrangem as operações do Brasil e das Cimentos VCNA, VCEAA e VCLatam a partir da abordagem de consolidação.





diminuir o uso de combustíveis fósseis nas suas fábricas de cimento, alcançando o índice de 30% de combustíveis não fósseis. Em razão das iniciativas das empresas voltadas à sustentabilidade, em 2019 foi possível contratar uma linha de crédito rotativo, denominada *Sustainable Committed Credit Facility*, com provisões atreladas a indicadores de sustentabilidade e com taxa variável, a ser definida conforme indicadores de desempenho da companhia, baseados em metas de sustentabilidade. O preço do carbono também está sendo considerado para a análise de viabilidade de projetos na empresa (Votorantim, 2020).

Existe uma tendência de que cada vez mais empresas, além de publicar os seus inventários de emissões de GEE, apresentem metas para a diminuição de GEE e outros projetos voltados para a sustentabilidade. A tendência de precificação de carbono também está sendo considerada por muitas empresas para a análise de futuros projetos. Considerando este contexto atual, é importante que as empresas estudem a possibilidade de inserir o investimento em CCS dentro do seu portfólio de projetos.

Reflexões para o desenvolvimento do CCS no Brasil

Setores brasileiros que podem se beneficiar da utilização do CCS

O Brasil tem, em diversos setores, potencial para desenvolver e implementar projetos de CCS. Dentre os que podem considerar o investimento nessa tecnologia no Brasil, citam-se o setor de energia (com BECCS e/ou petróleo e gás natural) e o setor industrial.

O setor de petróleo e gás natural é o que está mais associado ao CCS, e esta constatação também é verdadeira para o Brasil, cujo maior projeto tem como característica a injeção de CO₂ no campo de Lula, no pré-sal, para recuperação avançada de petróleo (EOR) proveniente do processamento de gás natural extraído desse campo. Embora este seja um dos arranjos mais comuns, existem discordâncias quanto à classificação de projetos CCS-EOR como sustentáveis. Por exemplo, enquanto os Estados Unidos, por meio do Seção 45Q, estão ajudando a financiar projetos de CCS-EOR com a concessão de créditos fiscais no valor de 35 dólares por tonelada métrica de CO₂ armazenada, o *Climate Bonds Initiative*, em sua taxonomia, entende que projetos de extração de petróleo são incompatíveis com a emissão de títulos verdes (CBI, 2020a).

Esse setor, que é de grande relevância para a segurança energética brasileira, é também um dos que mais contribuem para o aumento dos GEE na atmosfera no mundo. Todavia, embora estejam sendo pensadas alternativas para a substituição dessas fontes, como a utilização de carros elétricos e a introdução do hidrogênio na matriz energética, a transição energética não será imediata e serão necessários anos, possivelmente décadas, para que seja concluída. Em especial, com relação ao gás natural, projeta-se que essa fonte terá uma grande importância na garantia de fluxos de energia, auxiliando no desenvolvimento



das energias renováveis (Valentine, Brown e Sovacool, 2019). Desse modo, mesmo que já haja uma projeção de redução do uso de petróleo e gás natural no futuro, os projetos de CCS associados a esse setor podem ser avaliados principalmente para o período de transição energética, para uma redução mais imediata das emissões.

Nesse contexto, poderiam surgir títulos verdes de transição, ou políticas governamentais que visassem o curto e médio prazo para o setor (com impostos, subsídios ou regulamentações específicas). O Brasil poderia, por exemplo, inspirar-se na política canadense para o setor de carvão, que trata com mais rigor as emissões das novas plantas de carvão mineral ou das que atingiram o fim da sua vida útil. Além disso, uma parte ou a totalidade do financiamento dos projetos de CCS ligados ao setor de petróleo e gás natural poderia vir do próprio setor, como uma forma de diminuição dos GEE por ele emitidos, melhorando a sustentabilidade do negócio. A Petrobras, conforme mencionado anteriormente, já investe em CCS, embora esse investimento se restrinja à associação de CCS com EOR, o que poderia ser expandido pela empresa.

Além disso, a associação da bioenergia com o CCS – BECCS – é citada por diversos acadêmicos (e.g. Cox e Edwards, 2019; Moreira et al., 2016) e pelo IPCC (IPCC, 2018) como uma das soluções para a mitigação das mudanças climáticas, em razão de o projeto resultar em emissões negativas. Contudo, considerando que o setor de bioenergia está entre as fontes de baixa emissão de GEE e que já existe um apoio para o seu desenvolvimento, para que o país alcance uma matriz mais limpa (conforme declarado na NDC brasileira), não há incentivo para que o próprio setor invista no BECCS, a não ser que haja uma compensação financeira para tanto. É uma situação diferente da do setor de petróleo e gás, no qual há uma pressão internacional para que o uso dessas fontes seja reduzido ou que se emita menos GEE nos processos de produção. Por este motivo, acredita-se que, para que o BECCS se desenvolva no Brasil em larga escala, o governo precisaria incentivar fortemente esses projetos ou o preço do carbono teria que ser mais atrativo.

No Brasil, uma das principais possibilidades para o BECCS é a sua utilização na produção de etanol, o qual advém da cana-de-açúcar. Calcula-se que atualmente seria possível eliminar 27,7 milhões de toneladas de CO₂ decorrentes da fermentação da cana-de-açúcar, o que corresponde a aproximadamente 5% das emissões da produção energética do país (Moreira, 2016). Moreira et al. (2016) trazem como possibilidades de financiamento do BECCS as seguintes políticas: o compartilhamento do custo do combustível etanol e da bioeletricidade com os consumidores desse combustível; o compartilhamento do custo do combustível etanol e da bioeletricidade com todos os consumidores de combustível para carros leves e de eletricidade; o subsídio para produtores de bioenergia (definindo um preço para o carbono); e moratória fiscal dos acréscimos nos preços em decorrência do BECCS. Além dessas políticas citadas, a emissão de títulos verdes e o financiamento de projetos (ao





menos projetos-piloto) por meio de fundos climáticos também são alternativas para o financiamento da tecnologia. De acordo com Cox e Edwards (2019), para tecnologias de emissões negativas, uma alternativa de desenvolvimento seria haver uma diversidade de políticas que incentivassem a tecnologia concomitantemente.

O setor industrial também é um possível candidato a desenvolver projetos de CCS, principalmente quando existe uma dificuldade de se substituir o processo de produção de algum insumo por outro com menos emissão de CO₂, como é o caso da indústria de cimento (Bui et al., 2018). O setor de produção de cimento é responsável por aproximadamente 5% da emissão global de CO₂ (IEA, 2020), tornando-se uma indústria-chave na diminuição dos GEE. Embora haja um desafio de manutenção da competitividade das empresas com o aumento dos custos para a diminuição das emissões de CO₂ (Bui et al. 2018), ao mesmo tempo, há uma pressão, inclusive de investidores, para que essas empresas contribuam para o combate às mudanças climáticas. Por este motivo, diversas empresas já apresentaram planos para a redução das emissões, como é o caso da Votorantim Cimentos, já mencionada. Assim, embora o CCS não esteja dentro do portfólio de soluções da empresa, futuramente pode constituir um projeto, a depender das políticas públicas brasileiras e internacionais, podendo, inclusive, ser parcialmente financiado pela própria empresa.

Para a adoção em larga escala do CCS no Brasil, algumas barreiras precisariam ser superadas. Algumas delas são a falta de incentivos governamentais, o custo elevado da tecnologia, a lentidão com que novos materiais passam da fase de laboratório para a escala de projeto piloto, a dificuldade de monitoramento do armazenamento (Bui et al. 2018) e a possibilidade de rejeição da tecnologia pela população (Netto et al., 2020), entre outras. Entretanto, ainda que as barreiras existam, elas não são intransponíveis, principalmente se houver interesse governamental para o desenvolvimento da tecnologia.

Adoção de um posicionamento governamental brasileiro sobre CCS

As NDCs brasileiras, submetidas em 2016, ainda que indiquem as metas de redução de emissões almeçadas para 2025 e 2030 (37% e 43% respectivamente, com relação às emissões de 2005), sinalizaram de forma ampla as medidas efetivas que precisarão ser tomadas para que sejam de fato cumpridas (Brasil, 2016). Por sua vez, as NDCs subsequentes, apresentadas em 2020, foram ainda mais omissas com relação às metas setoriais e aos meios para o atingimento das metas (Brasil, 2020). Portanto, faz-se necessário um planejamento mais concreto para que dentro o CCS seja considerado, ou não, como parte da estratégia do país.

Para um posicionamento sobre o CCS e para definir quais seriam os setores em que essa tecnologia seria mais viável, o Brasil poderia tomar como exemplo a União Europeia e



criar uma taxonomia para especificar em quais contextos ele poderia ser considerado um projeto sustentável. Clareza e consistência maiores com relação a esse posicionamento trariam mais segurança para investidores e empresas que avaliam o investimento em CCS, mas que podem ter receio de adotar uma tecnologia que não receberá o suporte do país.

Nesse ponto, ressalta-se que o que se propõe neste artigo é que o governo brasileiro adote um posicionamento e defina quais são as medidas prioritárias para o cumprimento das NDCs, e não necessariamente que o CCS seja definido como uma dessas medidas. Existem diversas alternativas para a mitigação das mudanças climáticas, e elas precisam ser levadas em consideração para a definição da governança climática brasileira.

Uma dessas alternativas para o cumprimento das NDCs seria focar no setor que mais contribuiu para as emissões brasileiras, a “mudança de uso da terra e florestas”, especialmente em decorrência do aumento do desmatamento da floresta amazônica. Além disso, internacionalmente, há uma pressão para que o Brasil direcione esforços para a preservação da Amazônia, o que se intensificou com os incêndios ocorridos em 2020 (Stuenkel, 2020). Logo, existe uma urgência de que o país priorize medidas de combate ao desmatamento, assim como considere medidas de reflorestamento, as quais podem ter um papel importante na redução das emissões anuais e trazer efeitos positivos para a biodiversidade (Kerdan, Giorola e Hawkes, 2019).

Por outro lado, devem-se avaliar os custos relacionados ao CCS em oposição a outras opções disponíveis para a redução dos GEE. Há diversos estudos cujos resultados demonstram que o atingimento das metas de redução de GEE seria menos custoso em cenários em que o CCS fosse aplicado em larga escala (Bui et al., 2018). Vale destacar que o desenvolvimento da tecnologia de captura e armazenamento de carbono também pode oportunizar uma futura utilização do CO₂ como insumo para aplicações como mineralização, utilização biológica, alimentação e bebidas, meios de armazenamento de energia e processos químicos (Zhang et al. 2020). Se o CO₂ vier a ter um valor comercial relevante no futuro, o domínio da tecnologia de captura de CO₂ pode ajudar a alavancar o desenvolvimento do Brasil.

Em verdade, as duas estratégias para mitigação dos GEE são possíveis e não necessariamente excludentes. O Brasil, contudo, precisa definir uma posição com relação a estas e outras várias alternativas existentes, por meio de um planejamento para o cumprimento das NDCs brasileiras.

Conclusão

Um plano para a atenuação das emissões de GEE precisa ser debatido urgentemente pelo governo brasileiro, em cumprimento do Acordo de Paris, do qual o país é signatário. Se



as emissões mundiais continuarem a aumentar, a crise climática tenderá a piorar e as medidas necessárias para controlá-la precisarão ser ainda mais intensas e custosas. Diante de tal cenário, discutiram-se neste artigo possíveis políticas públicas e estratégias para financiar o desenvolvimento da captura e do armazenamento de CO₂ como alternativa para a mitigação das mudanças climáticas.

Conforme pôde ser visto no decorrer do trabalho, a viabilidade de projetos de CCS, na maioria das vezes, está atrelada a uma forte política pública de apoio à tecnologia, seja por meio de taxação de CO₂, subsídios, financiamento de fundos ou regulamentações específicas, entre outras alternativas. Ademais, discutiu-se a possibilidade de emissão de títulos verdes para projetos de CCS e, embora isso ainda esteja em uma área cinzenta, vislumbra-se que seja uma opção para a facilitação de financiamento.

No Brasil, o CCS pode ser utilizado em diversos setores, sendo os seguintes alguns dos mais promissores: o setor de petróleo e gás, a fim de atenuar suas emissões no período de transição energética, momento no qual o setor ainda será essencial para a manutenção da segurança energética do país; o setor de bioenergia com o BECCS, tendo este relevância em razão das emissões negativas; e o setor industrial, como forma de mitigar emissões que de outra forma seriam de difícil solução. Contudo, para que o uso desta tecnologia seja difundido, precisa estar dentro de um planejamento do governo brasileiro para o cumprimento das NDCs, algo que ainda está muito aquém do necessário. O Brasil tem o potencial de se tornar um país modelo em questões relacionadas à sustentabilidade, papel que durante anos foi nutrido e que pode ser retomado, desde que medidas mais contundentes sejam tomadas por este e futuros governos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP) e da SHELL Brasil através do Research Centre for Gas Innovation - RCGI (FAPESP Proc. 2014/50279-4), sediado na Universidade de São Paulo, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Anna Luisa Abreu Netto agradece especialmente ao Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP). A autora Drielli Peyerl agradece o apoio financeiro do Processo de subvenção 2017/18208-8 e 2018/26388-9 da FAPESP.



Referências

- Acordo de Paris (2015). UN Treaty. United Nations.
https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. (accessed 17 November 2020).
- Asia Pacific Economic Cooperation – APEC. (2005). Building Capacity for CO₂ Capture and Storage in the APEC Region - A Training Manual for Policy Makers and Practitioners. APEC Energy Working Group Project EWG 03/2004T. Prepared by Delphi Group and Alberta Research Council, March 2005.
<https://www.apec.org/Publications/2009/11/Building-Capacity-for-CO2-Capture-and-Storage-in-the-APEC-region-A-training-manual-for-policy-makers>
- Bachelet, M. J., Becchetti, L., & Manfredonia, S. (2019). The green bonds premium puzzle: The role of issuer characteristics and third-party verification. *Sustainability*, 11(4), 1098. <https://doi.org/10.3390/su11041098>
- Beck, B., Cunha, P., Ketzer, M., Machado, H., Rocha, P. S., Zancan, F., ... & Pinheiro, D. Z. (2011). The current status of CCS development in Brazil. *Energy Procedia*, 4, 6148-6151. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.623>
- Beder, S. (2014). Lobbying, greenwash and deliberate confusion: how vested interests undermine climate change. In M. C-T. Huang and R. R-C. Huang (Eds.), *Green Thoughts and Environmental Politics: Green Trends and Environmental Politics* (pp. 297-328). Taipei, Taiwan: Asia-seok Digital Technology.
<https://ro.uow.edu.au/lhapapers/1972>
- Brasil (2016). Intended Nationally Determined Contribution.
<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>
- Brasil (2020). Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC).
[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf)
- British Petroleum – BP (2020). BP statistical review of world energy 2020. London, 69th edition, 2020. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. (accessed 08 August 2020).
- CBI (2020a). Climate Bonds Taxonomy.
https://www.climatebonds.net/files/files/CBI_Taxonomy_Tables_January_20.pdf
- CBI (2020b). Climate Bonds Initiative Green Bond Database Methodology.
https://www.climatebonds.net/files/files/Climate%20Bonds%20Initiative%20Green%20Bond%20Database%20Methodology_Sept2020%281%29.pdf
- CBI (2019). Growing green bond markets: The development of taxonomies to identify green assets.
https://www.climatebonds.net/files/reports/policy_taxonomy_briefing_conference.pdf
- CDP (2017). The Carbon Majors Database: CDP Carbon Majors Report 2017.
<https://6fefcbb86e61af1b2fc4-c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/00/002/327/original/Carbon-Majors-Report-2017.pdf?1501833772>



- Climate Watch (2020). GHG emissions. <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>
- Cox, E.; Edwards, N. R. (2019). Beyond carbon pricing: policy levers for negative emissions technologies. *Climate policy*, 19 (9), 1144-1156. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1634509>
- EPE (2020). Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese/Ano base 2019. Rio de Janeiro: MME/EPE.
- Esposito, R.; Kuuskraa, V. A.; Rossman, C.; Corser, M. M. (2019). Reconsidering CCS in the US fossil-fuel fired electricity industry under section 45Q tax credits. *Greenhouse Gas Sci Technol.* 0,1–14. <https://doi.org/10.1002/ghg.1925>
- European Commission (2020). Taxonomy: Final report of the technical expert group on sustainable finance. Technical report, European Commission. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/taxonomy-final-report-technical-expert-group-sustainable-finance>
- FGV EAESP. (2020, 17 set.). Evento Anual do Programa Brasileiro GHG Protocol. 17 set. 2020. https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u641/apresentacao_ea_ghg_2020.pdf
- Giannaris, S.; Bruce, C., Jacobs, B., Srisang, W., & Janowczyk D. (2020) Implementing a second generation CCS facility on a coal fired power station – results of a feasibility study to retrofit SaskPower's Shand power station with CCS. *Greenhouse Gas Sci Technol.* 10, 506–518. <https://doi.org/10.1002/ghg.1989>
- Global CCS Institute (2019). The Global Status of CCS: 2019. Australia. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/download/>
- Guigon, P. (2010). Voluntary Carbon Markets: How can they Serve Climate Policies?. OECD Environment Working Papers, 19, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5km975th0z6h-en>
- Hasan, M. F., First, E. L., Boukouvala, F., & Floudas, C. A. (2015). A multi-scale framework for CO2 capture, utilization, and sequestration: CCUS and CCU. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 2-21. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.04.034>
- Heede, R. (2019). Carbon Majors: Update of Top Twenty companies 1965-2017. Press release. Climate Accountability Institute. <https://climateaccountability.org/pdf/CAI%20PressRelease%20Top20%20Oct19.pdf>
- Hirsch, E., & Foust, T. (2020). Policies and Programs Available in the United States in Support of Carbon Capture and Utilization. *Energy Law Journal*, 41 (1), 91-126. <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/energy41&div=13&id=&page>
- ICMA. (2018). Green Bonds Principles, Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds June - 2018. <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Green-Bonds-Principles-June-2018-270520.pdf>
- ICMA (2020a), Guidance Handbook - April 2020. <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Guidance-Handbook-April-2020-200820.pdf>



- ICMA. (2020b). Guidelines for Green, Social and Sustainability Bonds External Reviews Principles June 2020
<https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/June-2020/External-Review-GuidelinesJune-2020-090620.pdf>
- IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- IPCC 2006, (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC (2005). Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2005. Preparado pelo Grupo de Trabalho III do IPCC.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S.
- Kerdan, I. G., Giorola, Sara, & Hawkes, A. (2019). A novel energy systems model to explore the role of land use and reforestation in achieving carbon mitigation targets: A Brazil case study. *Journal of Cleaner Production*, 232, 796-821.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.345>
- Lino, U.R.A. (2005). Case History of Breaking a Paradigm: Improvement of an Immiscible Gas-Injection Project in Buracica Field by Water Injection at the Gas/Oil Contact. In: SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference., 2005, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: SPE. <https://doi.org/10.2118/94978-MS>
- Longa, F. D., Detz, R., & Zwann, B. (2020). Integrated assessment projections for the impact of innovation on CCS deployment in Europe. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103133>
- Meadowcroft, J. R., & Langhelle, O. (2009). *Caching the carbon*. Edward Elgar Publishing. ISBN: 978 1 84844 412 6
- Moreira J. R. et al. (2016). BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. *Applied Energy*, 179, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.044>
- Netto, A. L. A., Câmara, G., Rocha, E., Silva, A. L., Andrade, J. C. S., Peyerl, D., & Rocha, P. (2020). A first look at social factors driving CCS perception in Brazil: A case study in the Recôncavo Basin. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 98, 103053. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103053>
- Ogihara, A. (2018). Mapping the Necessary Policy Instruments to Unlock the Potentials of Private Finance for Carbon Capture and Storage Technologies. In: *Financing for low-carbon energy transition: Unlocking the potential of private capital*. Editors: Anbumozhi, Venkatachalam; Kalirajan, Kaliappa; Kimura, Fukkunari. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-981-10-8582-6>





- Oil and Gas Climate Initiative – OGCI. (2019). Scaling up action: aiming for net zero emissions. <https://oilandgasclimateinitiative.com/wp-content/uploads/2019/10/OGCI-Annual-Report-2019.pdf>
- Petrobras. (2020). Relatório de sustentabilidade 2019. <https://sustentabilidade.petrobras.com.br/src/assets/pdf/Relatorio-Sustentabilidade.pdf>
- Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, & M.V.Vilariño (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press
- Quarton, C. J., & Samsatli, S. (2020). The value of hydrogen and carbon capture, storage and utilisation in decarbonising energy: Insights from integrated value chain optimization. *Applied Energy*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113936>
- SEEG (2020). Total emissions. https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission.
- Souza, A. L., Andrade, J. C., Alvarez, G., & Santos, N. (2013). Financiamento de carbono no mundo e no brasil: um estudo sobre financiadores, fundos de investimentos e índices de sustentabilidade ambiental em prol de uma economia de baixo carbono. *GEAS*, 2(2), 177-207. <https://doi.org/10.5585/geas.v2i2.71>
- Stuenkel, O. (2020). International pressure can save the Amazon from Bolsonaro. *Financial times*. <https://www.ft.com/content/0f97c674-b7aa-4ec4-8fa1-88b810bc3dc7>
- United Nations Environment Programme - UNEP. (2017). The Emissions Gap Report 2017.
- United Nations Development Programme – UNDP (2016). Carbon Markets. https://www.undp.org/content/dam/sdfinance/doc/Carbon%20Markets%20_%20UNDP.pdf
- U.S. Department of Energy (2019). Internal Revenue code tax fact sheet. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f67/Internal%20Revenue%20Code%20Tax%20Fact%20Sheet.pdf>
- Vale. Relatório de sustentabilidade 2019 (2020). http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/sustainability-reports/Sustentabilidade/Relatorio_sustentabilidade_vale_2019_alta_pt.pdf
- Votorantim Cimentos (2020). Relatório integrado 2019. <https://www.votorantimcimentos.com.br/download/br/integrated-report-2019.pdf>
- Valentine, S. V., Brown, M. A., & Sovacool, B. K. (2019). Empowering the great energy transition. New York: Columbia University Press.
- Zhang, Z. et al. (2020). Recent advances in carbon dioxide utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 109799. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109799>