Neutralidade de carbono: reflexões sobre estratégias e oportunidades para o Brasil

Carbon neutrality: considerations on the strategies and opportunities for Brazil

Cássio Adriano Nunes Teixeira
André Pompeo do Amaral Mendes
Ricardo Cunha da Costa
Arthur Cesar Vasconcelos Koblitz
Elisa Salomão Lage*

* Respectivamente, analista de sistemas, economista, engenheiro e economistas do BNDES.. Este artigo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a opinião do BNDES.

Respectively, systems analyst, economist, engineer and economists at the BNDES. This article is the sole responsibility of the authors, not necessarily reflecting the opinion of the BNDES.

Resumo

Há uma forte mobilização mundial, capitaneada pela Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Convenção do Clima, em prol da neutralização das emissões líquidas de carbono até 2050, com o objetivo de limitar o aquecimento global ao máximo de 2ºC até o fim deste século. No industrializado hemisfério Norte, governos e entidades internacionais traçam programas lastreados em uma alteração radical no sistema mundial de produção e consumo de energia para fazer frente a esse desafio. A partir de uma avaliação sumária dessa alteração e da constatação de sua aderência à realidade dos sistemas de energia e padrões de emissões dos países do Norte, este artigo apresenta uma reflexão sobre as particularidades brasileiras e as oportunidades que podem surgir com a adoção de uma estratégia costurada sob medida para a realidade e as potencialidades do país, sem prejudicar o alcance da neutralidade de emissões e favorecendo a geração sustentável de emprego e renda.

Palavras-chave: Neutralidade de carbono. *Net-zero*. Mudança climática. Pré-sal. CCUS. NBS.

Abstract

There is a strong world mobilization, led by the United Nations (UN), to neutralize net carbon emissions until 2050, aiming to limit global warming to the maximum of 2ºC by the end of this century. In the industrialized North hemisphere, governments and international entities elaborate programs based on a radical change of the world's production and consumption of energy system to meet this challenge. From a brief assessment of this change, which reveals its adherence to the reality of the energy systems and emission patterns of the nations from the North, this article presents a discussion on the Brazilian particularities and the opportunities that might emerge from a strategie custom-made to the reality and potentialities of the country, without compromising the goal of carbon neutrality and contributing to the sustainable generation of jobs and income.

Keywords: *Carbon neutrality. Net-zero. Climate change. Pre-salt. CCUS. NBS.*

Introdução

Existem diversas iniciativas em busca de maior sustentabilidade ambiental, voltadas ao ajuste do atual modo de produção da humanidade, visando reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), a fim de alcançar a neutralidade de carbono. Em agosto de 2021, o Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU) emitiu seu último relatório e cobrou ações imediatas, em escala global, para que não se perca a janela temporal (prestes a se fechar, segundo o relatório) e ainda seja possível limitar o aquecimento médio global ao máximo de 2ºC (IPCC, 2021), conforme estabelecido na 21ª Conferência das Partes (COP 21). O relatório afirma que não cabem dúvidas acerca da influência da atividade humana no aquecimento global e da (in)sustentabilidade ambiental do modo de produção atual.

A discussão sobre preservação ambiental e contenção das mudanças climáticas na ONU não é nova. Em 1972, na Suécia, foi realizada primeira grande conferência da organização para tratar de questões relacionadas ao meio ambiente, que ficou conhecida como Conferência de Estocolmo.[1] O rápido crescimento econômico no pós-guerra e o fenômeno do *baby boom* levaram os cientistas e nações a se preocuparem com a exaustão dos recursos naturais e com "os limites do crescimento", título de livro financiado pelo Clube de Paris. Duas décadas depois, foi realizada no Brasil a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como Rio-92. Naquela ocasião, buscou-se sedimentar o conceito de desenvolvimento sustentável, admitindo-se a necessidade de conciliar

1 Mais detalhes em: https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment. Acesso em: 18 ago. 2021.

desenvolvimento socioeconômico e preservação do meio ambiente e dos recursos naturais por meio de protocolos de intenções.[2]

Na Rio-92, iniciaram-se as assinaturas para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) – ou UNFCCC, do acrônimo em inglês para United Nations Framework Convention on Climate Change –, que abriga o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) na busca de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera. Foram criados o Fundo Verde para o Clima e o Fundo Global para o Meio Ambiente (respectivamente, Green Climate Fund – GCF e Global Environment Facility – GEF, em inglês). Os países envolvidos assumiram compromissos comuns de combate à mudança climática e seus efeitos e, a partir da Rio-92, começaram a ser denominados partes da convenção, de onde se originaram as Conferências das Partes (Conference of the Parties – COP), o órgão máximo da CQNUMC. O Brasil foi o primeiro país a assinar a convenção, que passou a vigorar em 21 de março de 1994, noventa dias após ser ratificada por cinquenta países (OLIVEIRA; MIGUEZ; ANDRADE, 2018). Nota-se, portanto, que as COPs passaram a acontecer depois da Rio-92.

Historicamente, uma das conferências sobre mudanças climáticas de maior destaque foi a 21ª Conferência das Partes (COP21), ocorrida em 2015 em Paris. Ali, os diversos países discutiram saídas urgentes e necessárias para conter o aquecimento global e celebraram o Acordo de Paris, um tratado internacional com responsabilidades legais para os signatários acerca das mudanças climáticas. A

2 Mais detalhes em: https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx. Acesso em: 18 ago. 2021.

principal meta estabelecida nessa conferência foi manter o aquecimento médio na temperatura da Terra, comparado ao período pré-industrial, em no máximo 2ºC, sendo desejável um incremento médio limitado a 1,5ºC até o fim deste século.[3]

Em 2020, deveria ter ocorrido a COP26, mas o evento foi adiado em decorrência da pandemia de Covid-19.[4] No ínterim desse adiamento, para não protelar também o esforço continuado de engajamento mundial necessário ao alcance das arrojadas metas estabelecidas na COP21, a ONU lançou a campanha Race to Zero (UNFCCC, 2020a). Essa campanha logrou consolidar o grande *slogan* da agenda do desenvolvimento sustentável e combate às mudanças climáticas. Trata-se do hoje mundialmente divulgado comprometimento com a neutralidade de emissões líquidas (*net-zero emissions*), cujo objetivo foi mobilizar governos e sociedades para o imenso desafio de neutralizar integralmente as emissões de CO_2 até 2050. Essa neutralidade é vista como essencial para o alcance da meta de limitação do aquecimento médio estabelecida no Acordo de Paris, que, segundo alerta do IPCC (2021), dispõe de uma janela temporal cada vez menor para ser viabilizada.

Ainda em 2020, a campanha Race to Zero conseguiu o engajamento de atores econômicos (países, empresas, cidades, investidores) que perfazem quase 70% do produto interno bruto (PIB) mundial, mais da metade da população mundial e mais de 60% das emissões globais de gás carbônico (UNFCCC, 2020b). Outro fato importante para a agenda

3 Mais detalhes em: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement. Acesso em 18 ago. 2021.

4 A COP 26 foi realizada em Glasgow, no Reino Unido, entre 30 de outubro e 12 de novembro de 2021, sob a chamada: "unir o mundo no enfrentamento ao aquecimento global". Mais detalhes em: https://news.un.org/pt/events/cop26. Acesso em: 4 nov. 2021.

climática foi o reingresso dos Estados Unidos da América (EUA) no Acordo de Paris após a mudança de governo ocorrida no início de 2021.

Tudo isso tem garantido o envolvimento cada vez mais acentuado dos diversos agentes em novos projetos e tecnologias para tornar a matriz energética mundial mais eficiente e limpa. Para além dos discursos, o crescente engajamento dos agentes econômicos e dos governos com a agenda ambiental já vem produzindo significativas transformações na composição da matriz energética mundial e viabilizando, em termos relativos, menores emissões de poluentes. Mesmo assim, a percepção de que os esforços e os resultados obtidos têm sido insuficientes para a contenção da mudança climática e de seus graves efeitos econômicos sobre a vida no planeta tem levado a opinião pública a reivindicar a aceleração de políticas governamentais e o aumento de investimentos em novas tecnologias e infraestruturas necessárias à manutenção de um desenvolvimento econômico mundial ambientalmente sustentável.

Além da mobilização de acionistas, investidores, ativistas e governos em prol de atividades sustentáveis, observam-se financiadores de projetos apoiando, crescentemente, iniciativas de empresas voltadas para reduzir emissões.[5] Agências classificadoras de risco vêm

5 O BNDES tem forte engajamento nessa agenda. A questão do clima passou a estar presente em todas as etapas de análise dos projetos, agindo como vetor no direcionamento do progresso técnico e tecnológico. Com foco em suas entregas para a sociedade, o BNDES desenvolve políticas operacionais com condições diferenciadas (em relação a prazo, taxas ou nível de alavancagem) para produtos sustentáveis ou que colaborem para a transição para uma economia de baixo carbono. Com mais de US$ 30 bilhões em desembolsos, o BNDES foi reconhecido pela Bloomberg como principal financiador de energia limpa do mundo no período de 2004 a 2018 (LEAL; VIANA, 2019). Em 2018, o Banco recebeu ainda, por conta de seu *Green Bond Report*, o prêmio *International Standards of Accounting and Reporting* (ISAR) Honors da ONU. Recentemente, lançou o programa BNDES Crédito ASG para financiamentos, com destinação livre a empresas que se comprometerem a melhorar seus indicadores de sustentabilidade. Mais detalhes em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-credito-asg. Acesso em: 4 nov. 2021.

estudando critérios ambientais, sociais e de governança (ASG ou, em inglês, ESG, de *environment, social and governance*) para incorporar a suas avaliações de risco.[6] Investidores, gestores de ativos e credores utilizam essas informações para tomar decisões e comparar empresas a seus pares no setor avaliado. Em 2019, quase 130 bancos, responsáveis por ativos no total de US$ 47 trilhões, assim como o European Investment Bank (EIB), comprometeram-se a alinhar seus negócios ao Acordo de Paris. O Banco Mundial já havia declarado o aumento de sua meta de investimentos relacionados ao enfrentamento da mudança climática de 28%, em 2020, para 35% até 2025 (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Delineado todo esse cenário, é preciso questionar: como o Brasil pode se posicionar diante do caminho que vem sendo sugerido no hemisfério Norte para dar conta da crise climática? Neste artigo, será apresentada uma reflexão preliminar acerca de questões que deveriam ser abordadas pelo país no enfrentamento do problema. É preciso comparar a situação das emissões em países industrializados com a do Brasil – um país ainda em desenvolvimento e de renda média-baixa – para cotejar as respectivas particularidades que devem servir de base às estratégias de contenção do aquecimento global, seja no caso mundial, seja no caso brasileiro.

6 O Banco Central do Brasil (BCB), por meio da Resolução 4.327, de 25 de abril de 2014, estabeleceu diretrizes que tornam obrigatória também a gestão do risco climático pelas instituições financeiras em seus negócios. Tal resolução determina que elas criem sua Política de Responsabilidade Socioambiental – PRSA (BRASIL, 2014). Essa regulamentação foi recentemente revisada pelo BCB para explicitar o conceito de risco climático, entre outros aprimoramentos, originando a Resolução 4.945, de 15 de setembro de 2021, que terá vigência a partir de julho de 2022 (BRASIL, 2021a). Em uma posição de vanguarda no Brasil, o BNDES desenvolveu sua PRSA já em 2010, antes da obrigatoriedade imposta pelo BCB.

Além desta introdução, será registrada, na próxima seção, uma ideia do desafio que se impõe globalmente para que seja atingida a neutralidade de emissões líquidas até 2050. Um caminho de solução, estabelecido a partir do padrão mundial de emissões, é brevemente mostrado na terceira parte do artigo. Na quarta seção, faz-se um resumo do panorama de emissões brasileiras para, em seguida, adentrar a discussão do tema principal. A última seção é reservada às considerações finais.

O desafio imposto ao mundo na busca de emissões líquidas zero até 2050

A busca por manter o aquecimento médio global em no máximo 2ºC, com o esforço declarado de tentar limitá-lo a 1,5ºC, como estabelecido no Acordo de Paris, decorre de estudos que indicam ser esse o limite a partir do qual as mudanças climáticas atingiriam um ponto de não retorno (*tipping point*), comprometendo, muito além dos modos de vida e de produção, a própria existência humana no planeta. Como o aquecimento global observado decorre, fundamentalmente, da ação humana (IPCC, 2021) – em virtude das emissões de GEE a partir da era industrial, sobretudo derivadas da forma até então adotada de consumo de combustíveis fósseis –, a solução que vem sendo desenhada mundialmente, capitaneada pelos países industrializados, prescreve uma drástica e radical alteração nos sistemas de produção e consumo de energia. Essa alteração perpassa evitar que tais sistemas emitam GEE, ou, caso o façam, garantir que sejam capazes de compensá-las por meio da captura de um volume de CO_2 equivalente ao emitido, garantindo emissões líquidas zero até 2050, como estabelecido no

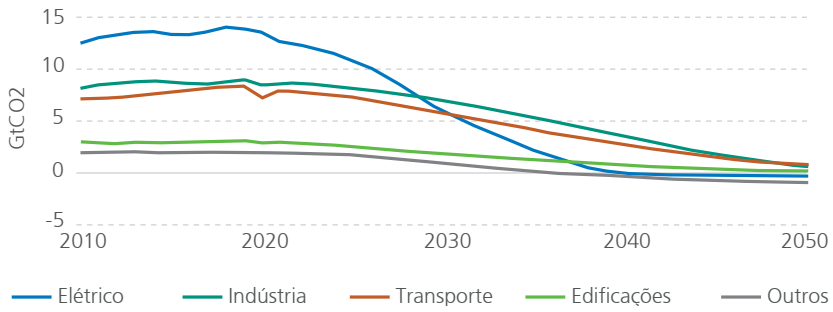
cenário chamado de *net-zero emissions*, detalhado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2021).

Considerando uma população mundial de 7,8 bilhões de pessoas em 2020 e prevendo que ela alcance 9,7 bilhões em 2050 – quase dois bilhões a mais de consumidores de energia –, espera-se que o PIB global seja até lá mais do que o dobro do atual, crescendo em média a 3% ao ano (a.a.). Apesar disso, para atender as metas climáticas já em 2030, esse crescimento precisará ser suprido por uma quantidade de energia inferior em 50 exajoules aos 600 exajoules consumidos anualmente até o início da pandemia de Covid-19. Entre 2030 e 2050, o consumo de energia deverá permanecer restrito ao patamar de 550 exajoules anuais, o que significa que, ainda nesta década, deverá ser reduzido em cerca de 8%. Para continuar atendendo as demandas de energia da população mundial, em constante crescimento, será necessário buscar maior eficiência energética. Por exemplo, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 – cuja meta 7.1 estipula: "até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno aos serviços de energia"[7] – já seria um enorme desafio se pudesse ser realizado sobre as bases atuais do sistema de energia mundial. No entanto, mudanças profundas e inovações disruptivas terão que emergir, pois, de um lado, o consumo de energia elétrica precisará crescer[8] significativamente até 2050 e, de outro, a geração mundial de eletricidade deverá reduzir em 60% suas emissões de CO_2 até 2030, gerando emissões líquidas negativas até 2050, conforme apresentado no Gráfico 1 (IEA, 2021).

7 Disponível em: https://sdgs.un.org/goals/goal7. Acesso em: 18 ago. 2021.

8 Tanto em termos absolutos quanto em termos relativos, dado que um dos pilares para o alcance das emissões líquidas zero em 2050 é uma maior eletrificação da economia, deslocando o uso de energia fóssil.

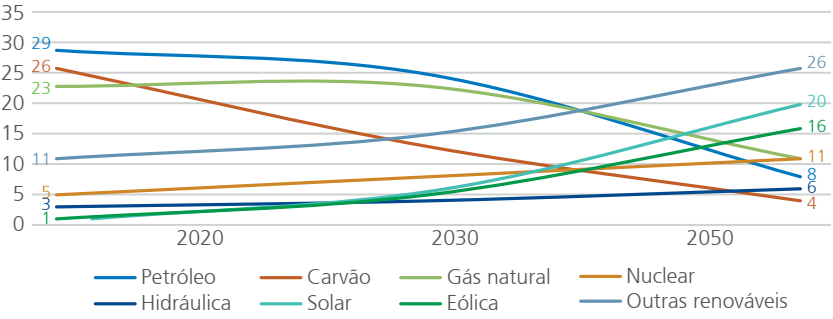
Gráfico 1 • Queda nas emissões de CO_2 por setor, no cenário IEA *net-zero emissions*



Fonte: IEA (2021).

Trata-se de um cenário de forte redução do uso de fontes primárias de energia fóssil, significando, inclusive, que o pico de demanda por petróleo já teria ocorrido em 2019. O somatório da participação das fontes fósseis – petróleo, gás natural e carvão – na geração de energia decairá de 78%, em 2020, para 23%, em 2050, ao passo que as fontes eólica e solar crescerão de 2% para 36% no mesmo período. Outras fontes renováveis (por exemplo, etanol, biometano, biodiesel etc.) passarão de 11% para 26%, em 2050 (Gráfico 2).

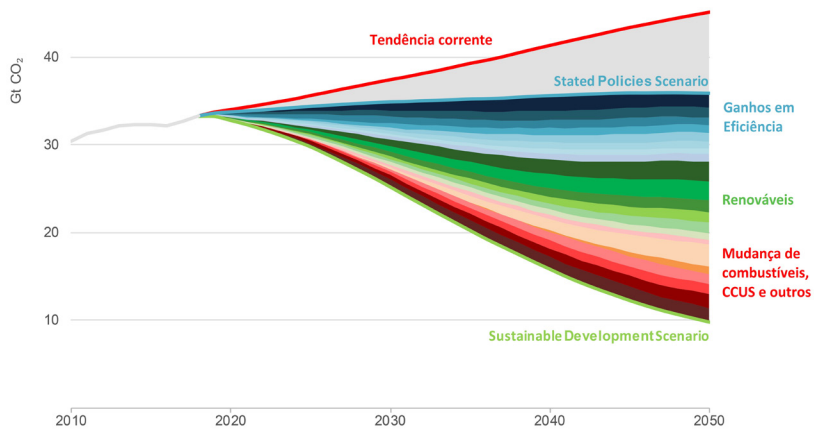
Gráfico 2 • Participação (%) das fontes primárias de energia, cenário IEA *net-zero emissions*



Fonte: Elaboração própria, com base em IEA (2021).

Não é difícil imaginar que o cenário de emissões líquidas zero impõe à humanidade um desafio econômico, tecnológico e social gigantesco. Para que se tenha uma ideia desse desafio, em seu relatório de 2020, a IEA trazia também um cenário um pouco menos drástico do que o de *net-zero emissions*. O chamado *sustainable development scenario* (SDS) admitia um volume de emissões de 10 $GtCO_2$ em 2050, o que corresponde a apenas 30% do volume emitido em 2019 ou 20% do volume que se projeta emitir até lá, cerca de 50 $GtCO_2$, caso não haja inflexão na tendência de emissões aferida antes da pandemia de Covid-19, como se vê no Gráfico 3 (IEA, 2020a).

Gráfico 3 • Emissões relacionadas a energia e reduções propostas no cenário IEA SDS



Fonte: IEA (2020b).
Notas: Sustainable development scenario (SDS) = cenário de desenvolvimento sustentável; Stated policies scenario = cenário de políticas declaradas.

A redução do nível de emissões a menos de 80% da tendência projetada para 2050 já suscitava discussões quanto a sua real factibilidade. Em decorrência da pandemia de Covid-19, houve uma queda de aproximadamente 8% nas emissões relacionadas à energia em 2020.

O alcance da meta de manter o aquecimento global limitado a no máximo 2ºC, a partir das premissas existentes no *sustainable development scenario*, requer que até 2050, a cada ano, ocorra uma redução nas emissões equivalente ao que se observou com a pandemia em 2020 (DNV GL, 2020a). Vale repisar que para o cenário *net-zero emissions* o esforço requerido é ainda maior.

Importante reconhecer que, nos últimos anos, já foram colocadas em prática, em diversos países, iniciativas alinhadas ao objetivo de diminuir as emissões de GEE, por exemplo: (i) apoio ao progresso tecnológico dos motores a combustão interna; (ii) desenvolvimento de combustíveis derivados de petróleo menos poluentes; (iii) difusão do uso de biocombustíveis; (iv) substituição de combustíveis fósseis mais poluentes por gás natural; (v) expansão do mercado de carros elétricos; (vi) significativa substituição da geração termelétrica a carvão por gás natural, sobretudo nos EUA e na China; (vii) penetração da geração de eletricidade eólica e solar; e (viii) aumento de eficiência energética.

Contudo, em um contexto em que a demanda de energia é crescente ao longo dos anos para atender às necessidades humanas, não obstante o avanço obtido até aqui por meio de fontes de energia renovável e eficiência energética, o que se observa é o agravamento da situação climática – reiteradamente registrado pelo IPCC, inclusive em seu último relatório (IPCC, 2021). Por essa razão, o engajamento com a agenda climática vem se tornando mais ostensivo, surgindo usualmente até nas mídias de massa, em peças de propaganda das mais diversas companhias, que explicitam seus compromissos com emissões líquidas zero até 2050 e ressaltam sua adesão à agenda ASG. Da mesma forma, diversos governos têm evidenciado em seus planejamentos energéticos iniciativas concretas visando o enfrentamento da questão.

Porém, existe um consenso de que, para se alcançar emissões líquidas zero até 2050, não será factível nem suficiente se valer apenas do crescimento do uso de fontes renováveis, do aumento na eficiência energética, da eletrificação mais expressiva e do uso de bioenergia sustentável. Também é consenso que o mundo não poderá prescindir dos combustíveis fósseis. Portanto, para resolver a porção das emissões ainda não equacionada, durante um período de transição energética, duas rotas tecnológicas deverão atuar como verdadeiros catalisadores da redução de emissões a partir de meados da década de 2030: o uso do hidrogênio como energético e as tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS, do inglês *carbon capture, utilization and storage*).[9] Ambas removem o carbono (antes ou depois da combustão) para equacionar parte do problema decorrente dos setores de difícil descarbonização.[10] Para isso, essas rotas tecnológicas precisam de rápido avanço em seu desenvolvimento e aplicabilidade econômica (DNV, 2021).

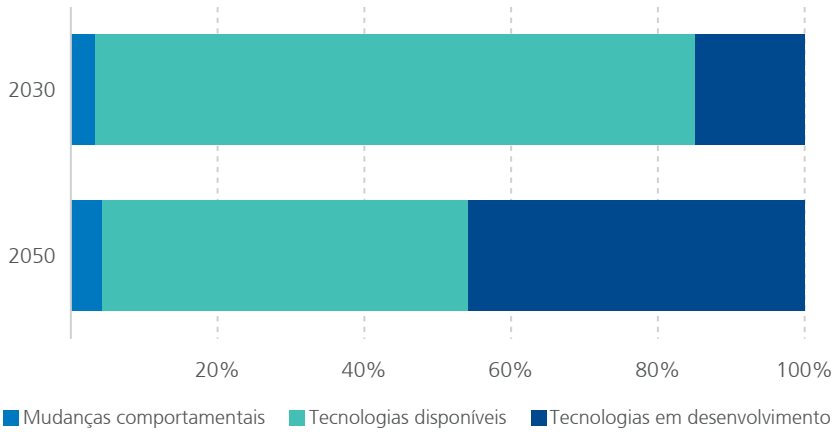
O cenário *net-zero emissions* da IEA declara que a humanidade depende de um impulso sem precedentes às tecnologias limpas até 2030, o que requer, de forma geral, aplicações imediatas e em grande escala das diversas tecnologias já disponíveis e garantia da maior eficiência energética possível. Embora todas as tecnologias requeridas para os cortes necessários de emissões até 2030 já estejam disponíveis, para alcançar as metas previstas para 2050, ainda

9 As tecnologias de CCUS têm o objetivo de capturar o CO_2 de grandes fontes emissoras, como termelétricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis ou biocombustíveis, assim como diretamente da atmosfera (*carbon direct air capture technologies*). Um breve resumo sobre CCUS pode ser visto em Teixeira e outros (2021).

10 Atualmente, a combinação de produção de hidrogênio a partir da reforma do gás natural com captura de carbono (hidrogênio azul) apresenta custos inferiores aos de produção de hidrogênio (verde) por eletrólise a partir de energias renováveis (IEA, 2019).

há pelo menos metade das tecnologias em fase de demonstração ou prototipagem (Gráfico 4). Isso torna mandatória a aceleração dos esforços de inovação e desenvolvimento até o final da década atual, exigindo o incremento e a priorização dessas iniciativas, bem como a execução de todos os recursos já disponíveis, públicos[11] e privados, na miríade de projetos em andamento (IEA, 2021).

Gráfico 4 • De onde virá a redução de emissões de CO_2 até 2050, cenário *net-zero emissions*



Fonte: IEA (2021).

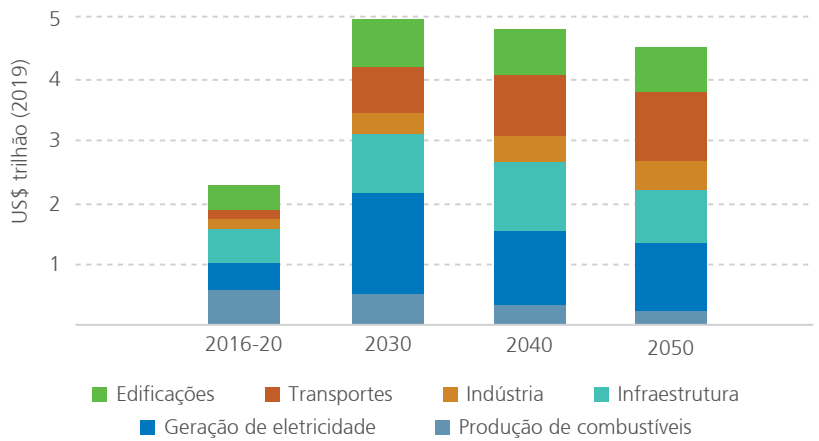
Para a profunda mudança proposta no sistema de energia, os investimentos precisam passar dos atuais 2,5% do PIB global para uma média anual de 4,5% na década de 2030, podendo retornar ao patamar de 2,5% até 2050. Em valores absolutos, seriam em torno de

11 A despeito dos US$ 25 bilhões de recursos públicos já previstos em orçamentos de diversos governos, é necessário que tal orçamento seja de US$ 90 bilhões e que esteja disponível tão logo quanto possível para completar os projetos de demonstração e desenvolvimento previstos antes de 2030, que garantirão o desenvolvimento tecnológico ainda necessário ao alcance das metas para 2050 (IEA, 2021).

US$ 5 trilhões de investimento por ano na década de 2030, US$ 4,8 trilhões por ano na década de 2040 e US$ 4,5 trilhões por ano na década de 2050 (Gráfico 5). A maior parte desses recursos será aplicado na geração e nas redes de distribuição de eletricidade, bem como nos equipamentos elétricos destinados ao usuário final, que precisarão ser mais eficientes energeticamente (IEA, 2021).

As velocidades de penetração de novas tecnologias serão diferentes em função do nível de desenvolvimento das economias. Em países de renda mais baixa, em que a infraestrutura não está bem estabelecida, tecnologias disponíveis que não exigem alterações radicais nos canais de distribuição e comercialização (*drop in*) podem ser mais adequadas. Entretanto, os países industrializados, principalmente aqueles que não dispõem de muitos recursos naturais, podem entender que uma mudança radical na estrutura produtiva é capaz de gerar maior dinamismo para suas economias.

Gráfico 5 • Investimento anual médio no sistema de energia por setor, no cenário *net-zero emissions*



Fonte: IEA (2021).

É certo que a elaboração dos cenários traçados para orientar e coordenar os programas para o enfrentamento da crise climática mundo afora consideram os compromissos assumidos pelos diversos países nos acordos internacionais, dos quais a ONU é paraninfa nas diversas COPs. No entanto, é muito importante não perder a perspectiva da centralidade europeia e estadunidense no desenvolvimento e difusão de tal agenda, que espelha a particularidade de seus próprios problemas e oportunidades, tanto econômicos quanto competitivos, que naturalmente buscam defender. Portanto, as rotas de soluções traçadas para orientar as profundas transformações tecnológicas e de infraestrutura nas mais diversas indústrias e setores da economia, embora busquem a neutralidade de carbono, por certo não são neutras, estando naturalmente eivadas de interesses estratégicos e econômicos dos polos em que se originam.

Na próxima seção, será abordado o panorama das emissões mundiais para que se compreenda o esforço trilionário do programa de transformação do sistema de geração e consumo de energia para a contenção do aquecimento global.

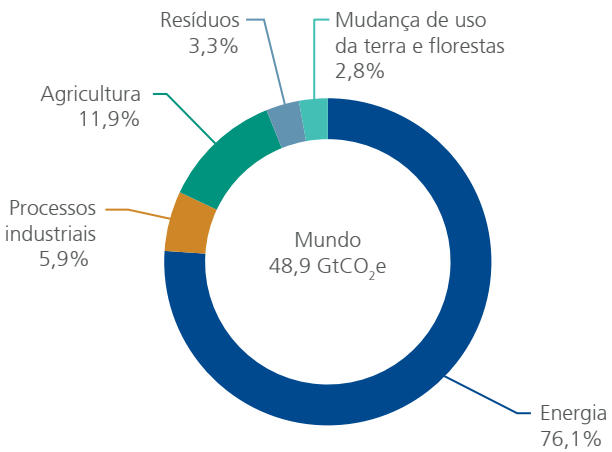
Padrão de emissões no mundo: necessidade de reconfiguração do sistema energético

As principais fontes primárias de energia do mundo são fósseis. Como mostra o Gráfico 2, em 2020, o petróleo respondeu por 29% do provimento mundial de energia, o carvão, por 26% e o gás natural, por 23%. A utilização dessas fontes, sobretudo na geração de eletricidade, nos transportes e na indústria nos ditos países

industrializados, faz com que esses setores respondam por mais de 80% das emissões globais.

A realidade das emissões no hemisfério Norte, pelo peso que detêm as economias com os maiores PIBs e as maiores demandas de energia, reproduz-se no retrato setorial das emissões mundiais, no qual se vê que o setor de energia, que engloba a geração de eletricidade, a calefação de edificações, os transportes e a manufatura, é responsável por 76,1% das emissões de carbono equivalente (Gráfico 6).

Gráfico 6 • Emissões mundiais de CO_2 equivalente por setor em 2018



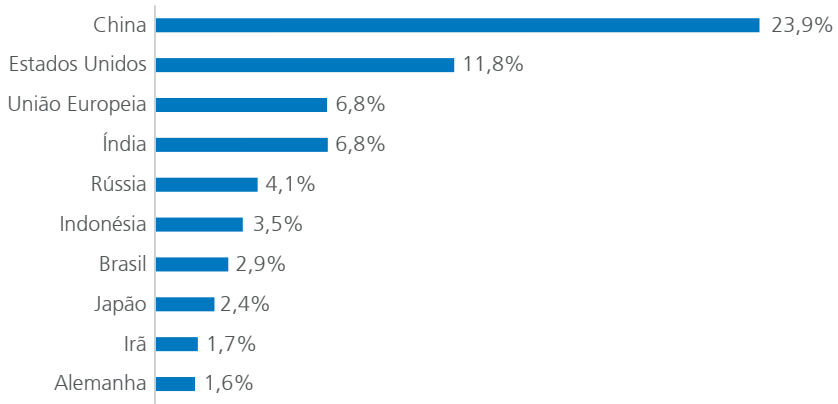
Fonte: Climate Watch (2021).

No Gráfico 7 estão listados os dez maiores responsáveis pelas emissões globais. Assim como no Gráfico 6, foram utilizados os dados do *Climate Watch*, uma plataforma *on-line* e aberta, mantida pelo World Resource Institute,[12] que compila as emissões a partir das Contribui-

12 Mais detalhes em: https://www.climatewatchdata.org/about/description. Acesso em: 13 ago. 2021.

ções Nacionalmente Determinadas (NDC).[13] Como franqueia informações de todos os países, mesmo que os últimos dados disponíveis sejam de 2018, optou-se por utilizar essa fonte para delinear um pouco mais o foco dos organismos internacionais na redução de emissões, com base no remodelamento do setor de energia mundial.

Gráfico 7 • Dez maiores emissores de CO_2 equivalente em 2018



Fonte: Elaboração própria a partir de Climate Watch (2021).

Nota: Os dados sobre a União Europeia já desconsideram as emissões do Reino Unido. Embora a Alemanha já esteja computada na União Europeia, isoladamente, como país, ocuparia a décima posição.

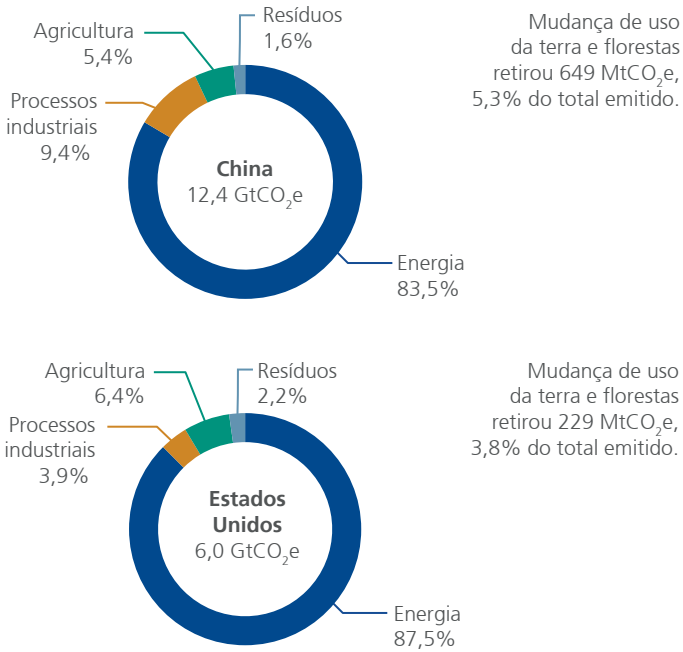
Dos 195 signatários[14] do Acordo de Paris, os dez maiores emissores responderam, em 2018, por mais de 65% das emissões mundiais, como se observa no Gráfico 7. Apenas os quatro maiores foram responsáveis praticamente pela metade delas. No outro extremo, é necessário

13 A NDC é o principal instrumento de comunicação dos compromissos individuais assumidos pelos países que fazem parte do Acordo de Paris. Mais detalhes em: http://antigo.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/712-mudanca-no-clima. Acesso em: 13 ago. 2021.

14 A União Europeia, com seus atuais 27 países, conta como um signatário do acordo.

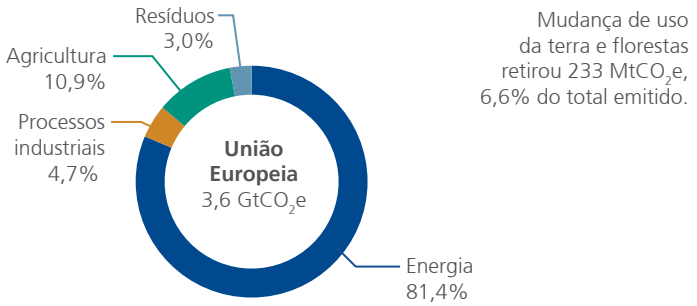
agregar os setenta menores[15] emissores para chegar a 1% do total de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) emitido em 2018 (CLIMATE WATCH, 2021). O Gráfico 8 demonstra como se distribuem as emissões dos três maiores emissores, que, vale notar, utilizam seu manejo de uso da terra e das florestas como meio de capturar carbono.[16] Mais adiante, será visto que a mudança do uso da terra e de florestas, desafortunadamente, é o setor responsável pela maior parte das emissões no Brasil, sobretudo por conta do desmatamento.

Gráfico 8 • Distribuição de emissões brutas por setor dos três maiores (China, EUA e UE) emissores em 2018



15 Com a ressalva de que seis deles integram a União Europeia, logo, suas emissões de fato já estão computadas em conjunto. Mas, em uma listagem aberta por todos os países, apareceriam no rol dos setenta menores emissores: Bulgária, Croácia, Estónia, Lituânia, Luxemburgo e Malta.

16 Por exemplo, por meio de reflorestamento.



Fonte: Elaboração própria a partir de Climate Watch (2021).

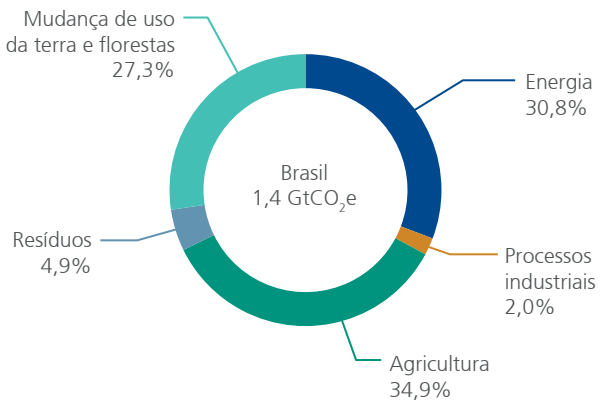
O peso do setor de energia no volume de emissões desse grupo de países justifica o esforço delineado na agenda do hemisfério Norte, preconizando uma drástica redução das emissões nos setores de geração elétrica, de transporte e da manufatura, como materializado no cenário *net-zero emissions*, que projeta uma queda da ordem de 60% das emissões do setor elétrico já em 2030. Ou seja, é necessário buscar uma redução expressiva das emissões, mesmo com o aumento significativo da geração de eletricidade para substituir parte da demanda atendida por fontes fósseis – por exemplo, pela substituição dos veículos a combustão interna por modelos elétricos.

Em tal cenário, embora se projete uma expressiva diminuição do uso do gás natural, do petróleo e do carvão, eles continuarão bastante relevantes, garantindo o provimento, respectivamente, de 11%, 8% e 4% da energia primária demandada (Gráfico 2). Contudo, a utilização desses combustíveis fósseis precisará ocorrer com uma intensa adoção das tecnologias de CCUS ou de outra alternativa de sequestro de carbono.

O panorama de emissões no Brasil

A realidade enfrentada pelo Brasil é radicalmente diferente do quadro mundial apresentado neste trabalho, embora o país ocupe a sétima posição no *ranking* de maiores emissores. O perfil nacional de emissões é registrado no Gráfico 9, considerando a mesma base de dados apresentada para os três maiores emissores (Gráfico 8).

Gráfico 9 • Participação dos setores no perfil das emissões brutas brasileiras em 2018



Fonte: Elaboração própria a partir de Climate Watch (2021).

Diferentemente do que ocorre no quadro mundial, o setor de energia brasileiro não aparece em primeiro lugar, mas sim a agricultura. Até mesmo sob essa aferição, o peso das emissões do setor de energia no Brasil mal se aproximaria da metade da média mundial, de 76,1% (Gráfico 6).

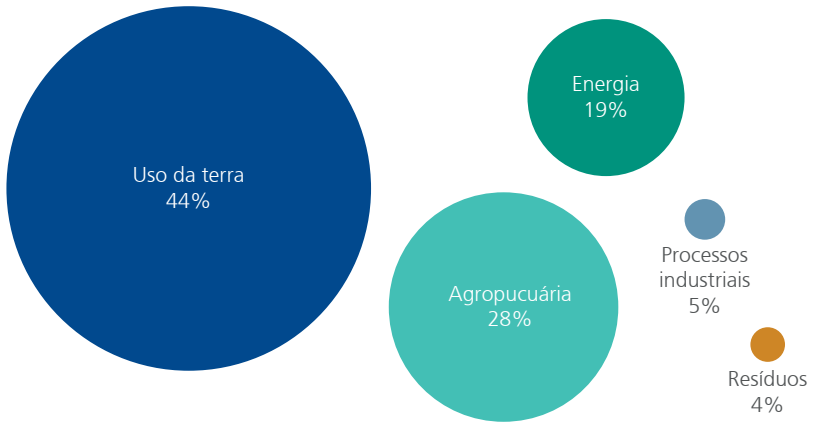
O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) traz medições mais recentes e acuradas sobre o

Brasil, mostrando um quadro de emissões de GEE mais diverso ainda do que revelam os gráficos apresentados com o panorama mundial. O SEEG (2020) apurou 1,98 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($GtCO_2e$) em 2018, valor 40% superior ao registrado pelo Climate Watch (2021).[17] Mais do que isso, a classificação das emissões nos diversos setores, agora já considerando dados de 2019, quando o Brasil emitiu 2,17 $GtCO_2$, revela que o setor de energia aparece em terceiro lugar. O maior responsável pelas emissões foi a categoria mudança de uso da terra e florestas (*land-use change and forestry* – LUCF, na sigla em inglês), com 44% do total, e que tem no desmatamento seu principal componente. Em seguida, veio a agropecuária, responsável por 28% das emissões e, só depois, o setor de energia, com 19%. Na sequência, vieram os processos industriais, 5%, e, por último, resíduos, 4% (Gráfico 10).

A evolução do perfil de emissões brasileiras, estratificada pelos setores, pode ser vista no Gráfico 11, no qual se observa significativa melhora entre os anos de 2004 e 2011, resultante da evolução relacionada à mudança de uso da terra e florestas, exatamente o setor mais significativo.

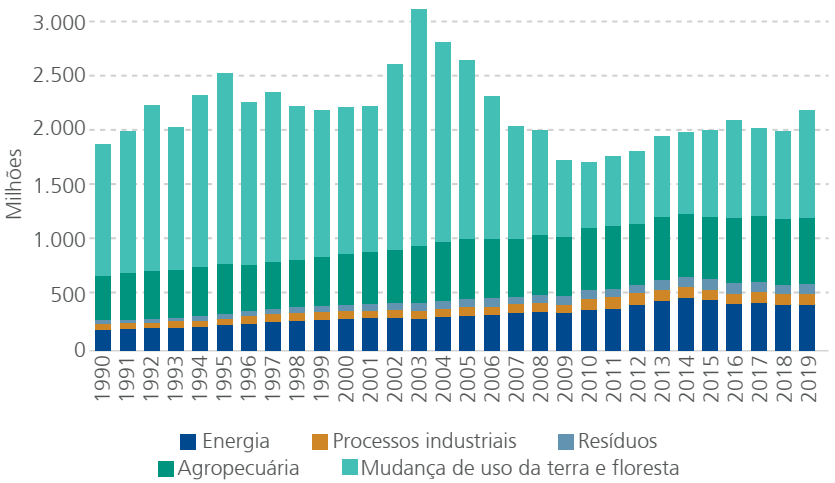
17 Alguns fatores explicam a diferença entre os valores das emissões brasileiras apuradas pelo SEEG e pelo Climate Watch. Há distinções metodológicas entre as duas fontes, como, para citar um único e específico exemplo, a utilização pelo SEEG, para a conversão de outros poluentes em CO_2 equivalente, do potencial global de aquecimento (GWP, da sigla em inglês) de 100 anos a partir do IPCC Assesment Report 5 (AR5), e não do AR4, como faz o Climate Watch. A metodologia completa do SEEG pode ser avaliada em Azevedo e outros (2018).

Gráfico 10 • Participação dos setores no perfil das emissões brutas brasileiras em 2019



Fonte: Adaptado de SEEG (2020).

Gráfico 11 • Emissões de gases de efeito estufa no Brasil entre 1990 e 2019 ($MtCO_2e$)



Fonte: SEEG (2020).

Portanto, se na média mundial os setores de geração de eletricidade, indústria e transporte respondem por mais de 80% das emissões, no Brasil, eles são responsáveis apenas por 24% (SEEG, 2020) ou 32,8% (CLIMATE WATCH, 2021), ao passo que mudanças no uso da terra e florestas são dominantes, com 44% (SEEG, 2020). Esse fato deveria ensejar reflexões sobre a velocidade para transformar o sistema energético mundial e a adequação dessa estratégia para que o Brasil enfrente o desafio da mudança climática. Sem deixar de colaborar efetivamente com a meta de emissão líquida zero até 2050, o país pode buscar medidas que possibilitem a majoração dos benefícios socioeconômicos em todos os setores, evitando eventualmente sobrepesar aqueles que se apresentam como os maiores responsáveis pelas emissões tão somente no cenário mundial. Assim, o país evitaria, por puro mimetismo, implementar medidas de forma precipitada, deixando de considerar adequadamente suas vantagens competitivas e de priorizar os segmentos mais relevantes para a redução das emissões nacionais. A seguir, são esboçados alguns parâmetros para essa reflexão.

Engajamento do Brasil para o alcance mundial das emissões líquidas zero até 2050

É importante afirmar que não se trata, aqui, de defender uma estratégia brasileira que conflite com as necessárias medidas globais de combate ao aquecimento planetário. Ao contrário, trata-se de pontuar questões que deveriam nortear o posicionamento do país, dadas as suas caraterísticas e vantagens particulares, frente à agenda mundial de alteração do sistema energético.

Com a descoberta das enormes reservas de petróleo e gás na província do pré-sal, o Brasil passou a deter, potencialmente, uma riqueza de trilhões de dólares indutora de emprego, renda e impostos. À primeira vista, por conta dos grandes desafios no enfrentamento do aquecimento global, pode parecer que a monetização integral de todo esse potencial em reservas não faz sentido. Mas um mundo neutro em carbono não é sinônimo de um mundo sem utilização de combustíveis fósseis. Como já abordado, a demanda por petróleo e gás natural continuará existindo, embora em volumes menores, devendo as emissões consequentes de sua utilização ser neutralizadas com CCUS e soluções baseadas na natureza, como o reflorestamento. Certamente, haverá uma disputa pela participação mundial no fornecimento e uso sustentável do petróleo e do gás natural requerido no futuro. Como economia em desenvolvimento, o Brasil não deveria abrir mão dessa riqueza potencial nem adotar uma oneração exagerada sobre seu setor de energia e industrial, sobretudo porque já dispõe de um posicionamento energético extremamente sustentável nos termos da agenda climática.

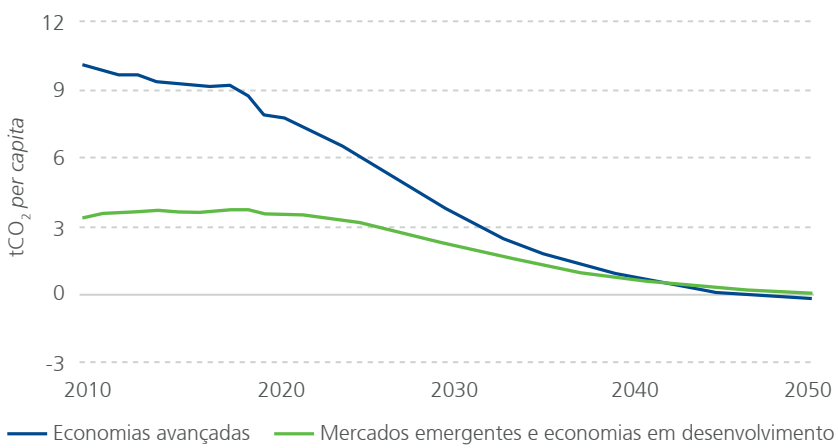
É vital o diagnóstico correto das principais causas de emissões brasileiras e a adoção de políticas e estratégias eficazes à superação dos desafios. Como vimos, no Brasil, a causa determinante das emissões de GEE é a atividade de mudança de uso da terra e florestas. Seu equacionamento apresenta complexidades e custos muito menores do que buscar a transformação do complexo sistema de produção, transporte e uso de energia. Mas o mais surpreendente no caso brasileiro é que a aplicação de soluções nesse setor pode complementar iniciativas que serão obrigatórias para outros, na medida em que tiverem que compensar suas emissões inevitáveis de carbono, como será visto. Diante do Brasil está a possibilidade de retomar a vanguarda que já ocupou em termos de políticas ambientais e de

sustentabilidade climática, e, mais ainda, de desenvolver e fortalecer seu posicionamento no novo setor de energia que será delineado para o mundo, nas cadeias produtivas globais e no desenvolvimento de novas tecnologias.

O setor de energia

Um aspecto crucial a ser levado em consideração, indicado pela própria IEA (2021), diz respeito, compreensivelmente, à menor pressão temporal para que as economias em desenvolvimento equacionem as emissões sob sua responsabilidade, pois partem de um patamar menos elevado. Diferentemente, as chamadas economias avançadas, com infraestruturas bastante desenvolvidas e parques industriais complexos, são cobradas à rápida e significativa diminuição *per capita* de suas emissões (Gráfico 12).

Gráfico 12 • Emissões globais líquidas de CO_2 *per capita* no cenário IEA *net-zero emissions*



Fonte: IEA (2021).

As emissões *per capita* precisarão decrescer de aproximadamente 8 tCO_2, em 2020, para 3,5 tCO_2, em 2030, e para 0,5 tCO_2, em 2040, nas economias avançadas. Nas demais, espera-se que essa redução vá de 3,3 tCO_2, em 2020, para 2,5 tCO_2, em 2030, convergindo para 0,5 tCO_2 em 2040. Observa-se na Tabela 1 que, emitindo 2,09 tCO_2 (em 2019), o Brasil já apresenta emissões *per capita* inferiores à média esperada para os próximos dez anos.

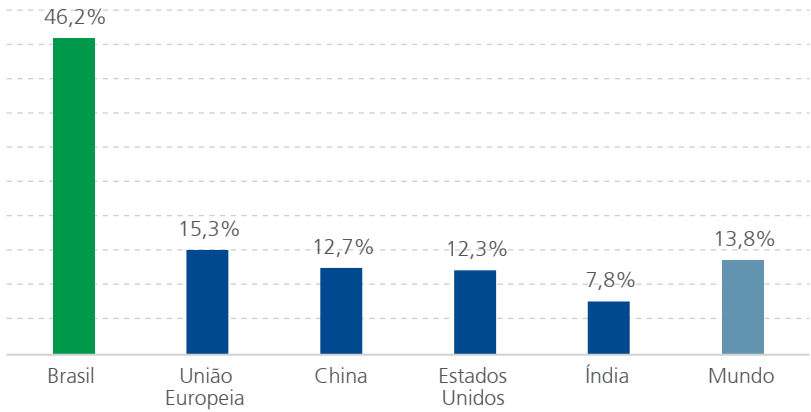
Tabela 1 • **Indicadores dos três maiores emissores globais e do Brasil**

Ano-base: 2019	China	EUA	União Europeia	Brasil
Emissão de CO_2 *per capita*/ano	6,85	15,09	6,60	2,09
Consumo de energia *per capita*	98,8	287,6	136,8	58,8
PIB *per capita* (dólar corrente)	16.772,84	65.279,52	46.496,77	15.388,23

Fonte: World Bank (2021a), BP (2020).

A emissão *per capita* do Brasil é muito inferior à dos EUA, da União Europeia (UE) e da China, bem como nosso PIB *per capita* é o menor deles. Sem contar, também, a baixa intensidade de energia de nossa economia, indicada pelo menor consumo *per capita*. É destacada a enorme diferença do Brasil em qualquer um desses indicadores, exceto em relação ao PIB *per capita* da China, que tem população mais de seis vezes superior a nossa. Além disso, o Brasil é o país que conta com a matriz energética mais limpa e renovável, como se vê no Gráfico 13, composta por 46,2% de energia renovável, frente apenas 15,3% no caso da segunda mais bem colocada, a UE. A partir de tamanhas diferenças, pode-se concluir pela necessidade de o Brasil adotar uma estratégia diferente dos demais países para os anos que nos separam da neutralidade mundial de emissões.

Gráfico 13 • Participação das renováveis na matriz energética



Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2020a), US-EIA (2021), Eurostat (2021) e Ritchie (2020).

Esse gráfico corrobora o que já foi apresentado no Gráfico 10, que revela que o setor de energia brasileiro é responsável por apenas 19% das emissões, contra uma média mundial de mais de 76% (Gráfico 6). Lembrando que nesse setor contabilizam-se as emissões provenientes da produção de combustíveis e das atividades que os utilizam, como transportes, indústria e geração de eletricidade. É razoável olhar para o setor industrial e de energia do Brasil com uma lupa diferente daquela compulsoriamente utilizada para o hemisfério Norte, da qual resultam as linhas de ação postas para a transformação profunda do sistema de energia no combate ao aquecimento global.

Não obstante ser o segundo maior PIB mundial[18] e a maior emissora global, a China não se comprometeu a zerar suas emissões líquidas até 2050, planejando a neutralidade apenas para até 2060. Além

18 Embora em 2019 ocupasse, em termos de PIB *per capita*, apenas a 102ª posição no *ranking*, à frente do Brasil, que está na 113ª posição (WORLD BANK, 2021a).

disso, indicou que emitirá, até 2030, 30% a mais do que vem fazendo, seguindo seu ritmo de desenvolvimento e de busca pelo aumento da riqueza e da melhoria do bem-estar social de sua população.

O enfrentamento ao aquecimento global, por meio da proposta da intensa transformação no sistema de energia, impõe um desafio econômico, tecnológico e social gigantesco para a humanidade, favorecendo, sob um discurso mais restrito, a interpretação do senso comum de que o desafio climático será equacionado com a eliminação do uso dos combustíveis fósseis. Não parece haver dúvidas de que a dependência desses combustíveis será consideravelmente reduzida, mas o sistema mundial de energia ainda dependerá deles por décadas. Começa a ficar claro o consenso de que será impossível o equacionamento da questão climática sem o envolvimento da indústria de petróleo e gás (P&G) na transição para uma economia de baixo carbono, pois não existe ainda um único combustível que substitua o petróleo a contento. O progresso técnico não tem como superar esse fato imediatamente, por mais que se projete um vigoroso desenvolvimento de tecnologias renováveis disruptivas. Além disso, as economias industrializadas sopesam sua riqueza sobre infraestruturas rígidas e densas malhas industriais que não comportam substituições ou profundas alterações em curto espaço de tempo.

Muitas grandes operadoras de P&G estão engajadas em metas de redução de emissões e de neutralidade climática. Por exemplo, empresas como BP, Chevron, CNPC, Eni, Equinor, ExxonMobil, Occidental, Petrobras, Repsol, Saudi Aramco, Shell e Total, que respondem por cerca de 30% da produção mundial de petróleo e gás, buscam a efetiva redução da pegada de carbono. Muitas já se comprometeram publicamente com a meta de emissões líquidas zero até 2050 (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

No curto prazo, essa indústria continuará concentrada na redução das emissões em seus processos de produção e distribuição, com investimentos em eficiência energética, geração de energias renováveis, captura de carbono etc. Ademais, a indústria tem presente a preocupação quanto à necessidade de compensar suas emissões ao longo de toda a cadeia de valor do P&G (denominadas emissões de escopo 3). Para isso, necessariamente haverá de recorrer a iniciativas compensatórias de emissão (*off-set*), como os chamados projetos de compensação a partir de soluções baseadas na natureza (NBS, do inglês *natural based solutions*), a exemplo do reflorestamento de áreas degradadas, nas quais o Brasil também tem condições de ser bastante competitivo mundialmente.

Mas, se os combustíveis fósseis continuarão a ter papel relevante por muitas décadas, como alcançar a neutralidade de carbono em 2050? A aposta atual está na necessidade de rápido desenvolvimento para viabilizar economicamente a utilização em larga escala das tecnologias de produção e uso do hidrogênio como energético e de CCUS para captura, utilização e estocagem do carbono (IEA, 2021).

Há anos as companhias de P&G são as maiores produtoras e consumidoras de hidrogênio (nas refinarias de petróleo). Atualmente, 17% delas destinam a maior parte de seu orçamento de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) para projetos relacionados a segurança, eficácia e viabilidade de suas aplicações como energético (DNV GL, 2020b).

De forma semelhante, se não forem as maiores, são uma das principais implementadoras das tecnologias de CCUS, ao lado da indústria de amônia e ureia, que utiliza uma corrente gasosa rica em CO_2, gerada no processo de produção do hidrogênio utilizado para produzir fertilizantes (IEA, 2019). A CCUS vem sendo usada com

custo relativamente baixo, desde os anos 1970, em áreas como o processamento de gás natural e a produção de petróleo e de fertilizantes. Até o final de 2020, existiam 21 instalações CCUS no mundo, uma delas da Petrobras, em operação[19] na Bacia de Santos, na qual o CO_2 armazenado é utilizado para a recuperação avançada de petróleo (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

O uso do hidrogênio como energético[20] depende de sua produção, uma vez que é derivado de outros elementos, como a água ou o metano, maior componente do gás natural.[21] Informações detalhadas sobre as formas de produção e uso do hidrogênio, sobre sua cadeia produtiva e sobre a aposta em seu uso como energético podem ser obtidas em IEA (2019). Aqui interessam as formas de produção para as quais o Brasil apresenta oportunidades a serem desenvolvidas. A primeira adstringe-se, em maior grau, à própria cadeia do hidrogênio, obtido por meio de eletrólise da água. A segunda diz respeito à conversão do gás natural em um combustível limpo, o hidrogênio, com a aplicação da CCUS e medidas de compensação das emis-

19 Apenas esse projeto da Petrobras entrou no rol da classificação da IEA dos projetos comerciais de CCUS em grande escala porque ultrapassou a linha de corte da capacidade para ser arrolado, pois tem capacidade de captura anual de 3,0 Mt/ano de CO_2. Contudo, a Petrobras desenvolveu e utiliza essa tecnologia há anos, como no processo de craqueamento catalítico fluido. Mais informações em: https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/desenvolvemos-tecnologia-inedita-que-reduz-emissao-de-gases-que-provocam-o-efeito-estufa.htm. Acesso em: 22 ago. 2021.

20 Com a intensificação da busca pelas emissões líquidas zero e o crescente empenho de governos, o uso do hidrogênio passou a ser mais fortemente considerado em diversos setores, como os produtores de automóveis, os geradores de eletricidade renovável, os produtores de gás industrial, os operadores das redes de eletricidade e de gasodutos, as grandes firmas de engenharia e as companhias de P&G (IEA, 2019).

21 Existem projetos pioneiros na prospecção de hidrogênio em reservatórios geológicos. Se encontrado em quantidades que justificassem economicamente o projeto, poderia ser extraído de modo análogo, por exemplo, à extração de gás natural.

sões residuais. Existe ainda outra possibilidade de conversão do gás natural em hidrogênio, por meio da pirólise a plasma, cuja viabilidade técnica é reconhecida, dependendo tão somente de maior desenvolvimento para obter viabilidade econômica dos projetos. No processo de pirólise, o metano é quebrado em hidrogênio e carbono sólido, sem emissão alguma de CO_2.

Como foge ao tema deste artigo, destaca-se apenas o mínimo para que se perceba a oportunidade que ora existe para o Brasil de participar da cadeia produtiva mundial do hidrogênio. A primeira decorre de sua produção por meio da eletrólise da água, requerendo uma fonte de eletricidade limpa, notadamente solar e eólica.[22] A vocação do Nordeste brasileiro para gerar esse tipo de eletricidade e a relativa proximidade do mercado europeu para eventual exportação do hidrogênio dão o tom da vantagem competitiva do país nesse tipo de produção. No entanto, ainda que o maior componente de custos nesse caso seja o da eletricidade, mesmo que se produza no Brasil a partir de fonte eólica e solar a baixo custo, o desenvolvimento da tecnologia para sua produção em larga escala ainda levará alguns anos para, de fato, tornar a eletrólise da água competitiva. Para exemplificar, em 2020, menos de 0,1% da produção mundial dedicada de hidrogênio ocorreu por essa rota.

A segunda via de produção de hidrogênio, da qual o Brasil pode se beneficiar, é derivada da reforma a vapor do gás natural. Em 2020, mais de 80% de todo o hidrogênio produzido no mundo foi feito dessa forma, atualmente a mais barata. O problema dessa rota é que emite CO_2. Por isso, 10% dessa produção total utilizou

22 O hidrogênio produzido dessa maneira tem sido usualmente referido como hidrogênio verde.

a CCUS atrelada ao processo de reforma a vapor,[23] garantindo a produção do hidrogênio com baixos níveis de emissão, a custos competitivos. O programa de substituição de parte dos combustíveis fósseis a partir da crescente utilização do hidrogênio até 2050 (IEA, 2021), presente na estratégia energética de países como EUA (US-DOE, 2020) e Alemanha (FMEAE, 2020), considera crucial o aumento imediato de sua produção por meio da reforma do gás natural com o uso do CCUS, de forma a ampliar o mercado de hidrogênio e viabilizar o amadurecimento e a redução dos custos de sua produção via eletrólise da água.[24] Outra forma de produzir hidrogênio a partir do metano seria por meio da pirólise a plasma,[25] mas, como afirmado anteriormente, essa via requer maior desenvolvimento para ter viabilidade econômica.

Dadas as características de sua matriz energética, o Brasil conta com grande potencial de produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis de energia, principalmente no Nordeste. Porém, podemos negligenciar nosso potencial de produção de hidrocarbonetos? Não deveríamos fomentar a produção de hidrogênio a partir de gás natural, com baixa emissão e compensação da residual de CO_2, de forma ambiental e economicamente sustentável, favorecendo, com essa via de produção, maior possibilidade de monetização das grandes reservas do pré-sal?

23 O hidrogênio produzido a partir da reforma a vapor do gás natural com captura de carbono tem sido usualmente referido como hidrogênio azul. A tecnologia atual permite captura de mais de 90% do CO_2 emitido no processo. Sem a CCUS, o hidrogênio produzido assim é chamado de cinza.

24 Até 2050, projeta-se que a maior parte de hidrogênio será produzida via eletrólise da água (IEA, 2021).

25 O hidrogênio produzido a partir da pirólise do gás natural, utilizando fonte de eletricidade limpa, vem sendo denominado de hidrogênio turquesa.

É fundamental considerar o papel de destaque da indústria de P&G mundial, com seus pesados investimentos em energias renováveis, eficiência energética e tecnologias CCUS na transição para a economia de baixo carbono. No Brasil, há décadas, esse setor é responsável pela maior parte da formação bruta de capital fixo e, até 2031, projetam-se mais R$ 850 bilhões em investimentos. Portanto, a importância do setor não se restringe a monetizar as reservas de óleo e gás brasileiras que hoje valem trilhões de dólares, mas também tem relação com o direcionamento tecnológico das economias pós-petróleo. É um setor-chave para o progresso, uma vez que o dinamismo dessa indústria arrasta diversos setores da economia.[26]

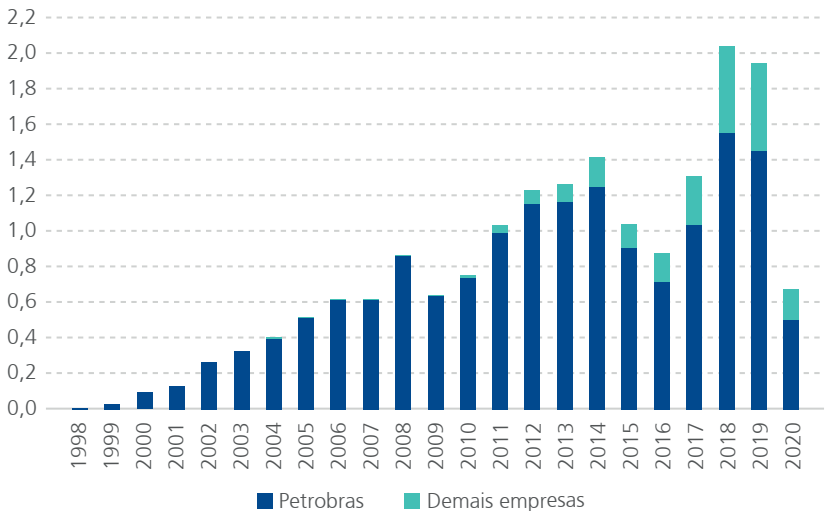
Vale destacar também que o segmento de exploração e produção de P&G é regulado, o que facilita a introdução de determinadas contrapartidas por parte do regulador ainda na fase de licitação dos blocos. Por exemplo, no passado, isso ocorreu por meio da regulação da queima desnecessária de gás natural, ao nível de conteúdo nacional e aos investimentos mínimos em PD&I. Atualmente, observa-se que muitas empresas estão se autoimpondo metas de redução de emissões e de sustentabilidade sem a indução *a priori* por parte dos agentes reguladores.

No caso de investimentos em PD&I, dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) mostram que os valores vêm crescendo com o aumento da produção de campos gigantes e de alta eficiência, ainda que muito afetados pela volatilidade do preço do barril do petróleo. No Gráfico 14, apresenta-se a evolução

26 Considerando-se uma participação média da indústria nacional de 43% no fornecimento de bens e serviços, os investimentos estimados de US$ 33 bilhões apenas no segmento de exploração e produção de petróleo e gás gerariam 544,6 mil postos de trabalhos anuais diretos e indiretos e US$ 11,7 bilhões de renda anual em nossa economia (MENDES, 2018).

do volume de aplicações em PD&I relacionadas à cláusula de investimentos obrigatórios nos contratos de concessão da ANP. Excluindo o ano de 2020, que foi atípico devido à pandemia de Covid-19, as cifras já beiravam os R$ 2 bilhões.[27] Efetivamente, os valores destinados a PD&I podem ser ainda maiores, porque as petroleiras costumam investir além de suas obrigações mínimas e porque há segmentos de sua cadeia produtiva que, embora regulados por autorização (como atividades de *mid* e *down stream*), não têm seus investimentos em PD&I monitorados e contabilizados pela ANP.

Gráfico 14 • Obrigação regulatória de investimentos em PD&I (R$ bilhões)



Fonte: Brasil (2020b).

Nesse contexto de alta capacidade das petroleiras de investir em PD&I e de preparação para a transição energética, por que não lhes oferecer alternativas adicionais no sentido de acelerar ainda mais a

27 Parte dos investimentos de PD&I é direcionada para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

mudança em direção a uma economia de baixo carbono? No caso do Brasil, onde a maior fonte de emissões está nas mudanças do uso da terra, por que não envidar maiores esforços para evitar essas emissões e capturar carbono das florestas, conjuntamente com a agenda tecnológica do setor?[28]

Os movimentos das lideranças mundiais mostram que há uma disputa em torno de quais atores continuarão fornecendo energia no futuro, inclusive de origem fóssil, e o Brasil pode viabilizar sua participação nesse jogo geopolítico, de modo ambientalmente sustentável, a partir de variadas[29] fontes de energia. Mais do que aumentar a possibilidade de utilização econômica dos seus recursos energéticos e se tornar um importante fornecedor de hidrogênio no futuro, a participação nessas cadeias internacionais poderia atrair para o país parte do investimento e do desenvolvimento que precisará ocorrer nas cadeias produtivas relacionadas com as diversas formas de produção do hidrogênio e com as tecnologias de CCUS.

Mudança de uso da terra e florestas

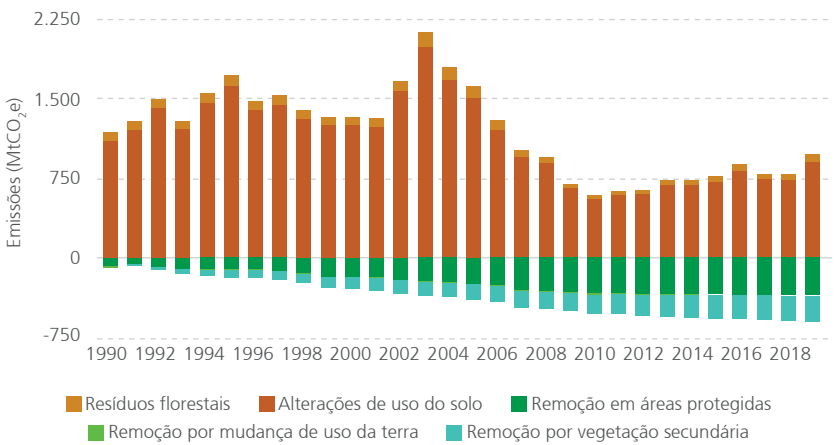
As atividades relacionadas à mudança de uso da terra e florestas são as que mais vêm contribuindo para as emissões brasileiras. Em 2019, representaram 44% das emissões totais, resultando em 968 $MtCO_2e$ lançados na atmosfera. O desmatamento da Amazônia responde pela maior parte dessas emissões (87%), seguido pelo do Cerrado

28 Em 2021, BNDES e Empresa de Pesquisa Energética (EPE) firmaram acordo de cooperação com esse propósito.

29 Embora não tenha sido abordado, fica aqui o registro de que o etanol também é uma fonte promissora para produção, sobretudo distribuída, de hidrogênio no Brasil. Até meados dos anos 2000, em decorrência da alta produtividade e competitividade do etanol de cana-de-açúcar nacional, essa rota tinha destaque nos programas governamentais (LINARDI, 2008).

(6%) e da Mata Atlântica (5%). Naturalmente, o crescimento da vegetação produz significativa absorção de carbono da atmosfera, de sorte que houve contribuição para a remoção de CO_2 em áreas protegidas e onde a vegetação secundária passou a existir após eventual desmatamento. Em 2019, as áreas de florestas protegidas retiraram 359 $MtCO_2e$ da atmosfera, 59% do total capturado, e as de vegetação secundária foram responsáveis por retirar 239 $MtCO_2e$, 40% do total capturado. Com isso, as emissões líquidas desse tipo de atividade fecharam 2019 no patamar de 363 $MtCO_2e$ (SEEG, 2020). O Gráfico 15 ilustra esse quadro.

Gráfico 15 • Emissões e remoções por mudança do uso da terra e florestas



Fonte: SEEG (2020).

Relatos e estudos recentes dão conta de que a Amazônia está deixando de ser um sumidouro e se tornando um emissor líquido de carbono equivalente (COVEY, 2021; PIVETTA, 2020). Além disso, o aumento no volume de desmatamento e queimadas, em 2019 e 2020 (SEEG, 2020), vem impactando negativamente a imagem do Brasil no exterior. Uma melhora no quadro das emissões relacionadas à

mudança de uso da terra e florestas, além de beneficiar a imagem internacional do país, pode gerar oportunidades de negócio, divisas, empregos e riquezas para o Brasil e certamente contribuirá para a questão climática do planeta.

Os dez municípios que são os maiores emissores do Brasil lançaram 172 milhões de toneladas de carbono equivalente (tCO_2e) na atmosfera em 2018. É um volume de emissões equiparável ao de países como Peru, Bélgica ou Filipinas. Sete desses municípios se localizam na Amazônia, e a grande causa das emissões é a mudança de uso da terra, sobretudo decorrente do desmatamento, além da agropecuária. Os outros três da lista são os municípios de São Paulo, que ocupa o quarto lugar, Rio de Janeiro, em nono, e Serra (ES), na décima posição. São Paulo e Rio de Janeiro têm no setor de energia, sobretudo nos transportes, seu maior volume de emissões. Já o município de Serra abriga uma siderúrgica, portanto suas emissões prevalentes se classificam como processo industrial (SEEG, 2021).

É bom destacar que os municípios da Amazônia também são responsáveis por significativa remoção de carbono, já que, em seus enormes perímetros,[30] estão extensas áreas de floresta protegidas, seja em unidades de conservação ou em terras indígenas (SEEG, 2021). O campeão foi Altamira (PA), que retirou 22 $MtCO_2e$ da atmosfera em 2018.

Esse quadro revela a oportunidade existente no Brasil de abrigar projetos de compensação de emissões de carbono que não puderam (ou poderão) ser evitadas, baseados em soluções da natureza. À

30 Altamira, por exemplo, é o município com maior área do Brasil, mais ampla que a do estado do Ceará.

medida que trilharmos um caminho em que o mercado de carbono[31] seja uma das possíveis soluções efetivas, a reconhecida potencialidade do Brasil, não só pelo bioma amazônico, mas também pelo Cerrado, pode nos tornar um dos grandes atores mundiais nesse tipo de solução, tornando o país alvo de investimentos internacionais. Neste ano, o Congresso Nacional aprovou a Lei 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA).

É importante lembrar que, desde 2009, o Brasil ratificou sua adesão à CQNUMC de 1992 e ao Protocolo de Quioto, anuindo ao regime jurídico internacional que trata da proteção climática. Foi instituída nossa Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009, regulamentada pelo Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010, visando estabelecer planos setoriais de mitigação e adaptação à mudança do clima para consolidar uma economia de baixo carbono. A PNMC determina a criação de um mercado brasileiro de redução de emissões (MBRE) para viabilizar a negociação de títulos mobiliários lastreados em emissões de GEE, bem como os Mecanismos de Desenvolvimento

31 Em 2020, mercados de carbono no mundo todo geraram receitas globais de US$ 53 bilhões. Em 2021, 21,5% das emissões globais passaram a ser cobertas por algum instrumento de precificação de carbono em operação. Trata-se de um significativo aumento decorrente do início de operações do mercado de carbono chinês, pois até 2020 apenas 15,1% das emissões mundiais estavam precificadas (WORLD BANK, 2021b).

Limpo[32] (MDL). Em paralelo, na Lei 12.114, de 9 de dezembro de 2009, foi estabelecido o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), regulamentado pelo Decreto 9.578, de 22 de novembro de 2018, com objetivo de viabilizar recursos para projetos, estudos e financiamentos que visem mitigar a mudança do clima e gerar adaptações a seus efeitos (GOMES, 2021).

A concentração de esforços do Brasil para reduzir o nível de emissões do principal setor responsável – mudanças de uso da terra e florestas[33] – é muito menos complexa que intervenções nos sistemas de energia, industrial e de transportes, tendo o condão de provocar efeito extremamente benéfico na geração de emprego, renda e divisas para o país, ao passo que é complementar aos esforços de alguns segmentos chamados de difícil descarbonização, que terão

32 O MDL viabiliza a certificação de reduções de emissões em projetos dos setores energético, de transporte e florestal para negociação de créditos de carbono (uma tonelada de CO_2 é um crédito) com países que tenham firmado metas dentro do Protocolo de Quioto. Há dois tipos de mercados de créditos de carbono: o regulado, vinculado ao Protocolo de Quioto; e o não regulado ou voluntário. Nestes, empresas, governos ou até pessoas físicas voluntariamente implementam projetos de redução de emissões para gerar créditos de carbono, a partir de instrumentos como o REDD+, reconhecidos no âmbito da CQNUMC para recompensar financeiramente países em desenvolvimento, dentre outros, pela redução de emissões provenientes de desmatamento, da degradação florestal e com a conservação e aumento dos estoques de carbono florestal (de onde vem o acrônimo REDD, sendo REDD+ utilizado para registrar a incorporação da conservação e aumento de estoque) (GOMES, 2021). Um dos grandes mecanismos REDD+ no Brasil é o Fundo Amazônia, proposto na COP13 em 2007 e cuja criação foi autorizada ao BNDES em 2008. O fundo já recebeu R$ 3,4 bilhões em doações e teve 102 projetos apoiados, no montante de R$ 1,8 bilhão, dos quais R$ 1,3 bilhão já desembolsado.

33 Abstraindo o fato de a Alemanha integrar a União Europeia arrolada como entidade na lista dos dez maiores emissores, apenas a Indonésia e o Brasil têm emissões vinculadas à mudança do uso da terra e florestas (desconsiderando o Irã, onde são próximas de zero); todos os demais capturaram carbono nesse setor. Em ordem crescente, as emissões totais dos países em 2018 relativas ao uso da terra e florestas, em $MtCO_2e$, foram de: -649,43 (China); -551,32 (Rússia); -233,92 (UE); -229,27 (EUA); -32,05 (Japão); -29,48 (Alemanha); -28,36 (Índia); 0,06 (Irã); 387,94 (Brasil); e 734,28 (Indonésia) (CLIMATE WATCH, 2021).

que empregar soluções de captura para atingir sua neutralidade de emissões na lógica ASG. Além disso, o país pode melhorar sua imagem e recuperar seu prestígio internacional decorrentes da viabilização de soluções de captura de carbono por meio da restauração e preservação de florestas.

Considerações finais

A crise climática e o programa mundial para equacioná-la, aderente à realidade do hemisfério Norte, podem fazer com que o senso comum acredite no desaparecimento dos combustíveis fósseis em breve. Formuladores de políticas públicas e estrategistas podem, equivocadamente, entender que essa tendência é ainda mais verdadeira para o Brasil, dado seu potencial de energias renováveis.

No entanto, vimos que renomadas instituições internacionais, na elaboração de cenários energéticos, mostram que os combustíveis fósseis não deixarão de ser utilizados como fontes primárias de energia, embora sua participação seja decrescente ao longo dos próximos anos. Em algum momento futuro, haverá pressão competitiva na disputa de quem serão os fornecedores do petróleo e do gás natural necessários, acirrada pelas medidas de equacionamento da crise climática.

Dado que o Brasil dispõe de reservas de hidrocarbonetos bastante volumosas e competitivas, neste artigo buscou-se evidenciar as diferenças estruturais entre os sistemas de energia brasileiro e mundial. O aproveitamento de fatores que colocam o Brasil em posição favorável de competitividade, como seu sistema de energia muito mais limpo e renovável que o do resto do mundo, suas grandes reservas de gás natural e seu padrão de emissões, desse modo, deve servir de baliza para evitar mudanças inapropriadas no setor de energia e industrial.

Como economia em desenvolvimento, o Brasil deve buscar um melhor posicionamento de seu setor energético com base em seu potencial de geração de energia renovável, em suas reservas de hidrocarbonetos e na possibilidade futura de ser um fornecedor competitivo de hidrogênio para o mercado mundial, produzido a partir do gás natural com CCUS e compensação das emissões residuais, e via eletrólise da água, utilizando fontes de eletricidade eólica ou solar. Em conjunto com a possibilidade de ser um ator significativo no mercado mundial de energia, o país teria a oportunidade de se inserir nas cadeias produtivas das tecnologias do hidrogênio e da CCUS.

Mas as potencialidades não param por aí. Complementarmente, ao atacar o problema do setor responsável pelas maiores emissões no país (mudança de uso da terra e florestas), com o que haveria contribuição significativa na redução de emissões em nível nacional, o Brasil também tem um enorme potencial para aportar investimentos nacionais e internacionais daqueles segmentos que continuarão sendo emissores de CO_2 e que, por isso, precisarão recorrer a mecanismos de compensação, como as soluções originadas na natureza. O BNDES e a EPE têm trabalhado conjuntamente nesse sentido. Diante do Brasil está a possibilidade de retomar a posição de vanguarda que já ocupou em termos de política ambiental e sustentabilidade climática e, mais ainda, de continuar a desenvolver e fortalecer seu posicionamento no novo setor de energia que será delineado para o mundo. Tudo isso podendo agir como poderosa alavanca para a geração de emprego, renda e riquezas internamente e colaborando com o equacionamento do desafio climático global.

Por fim, cabe uma reflexão no momento de delinear as estratégias para o Brasil a fim de respeitar suas particularidades e diferenças em relação às nações industrializadas. O país conta com um cardápio

diversificado de oportunidades econômicas e ambientais, que outros não têm. É importante mapeá-las no âmbito de uma estratégia de sustentabilidade própria, e não ser um simples seguidor ou importador de soluções que não refletem a realidade e as características brasileiras. A boa estratégia será aquela capaz harmonizar o desenvolvimento econômico, social e a sustentabilidade ambiental. O país só será realmente desenvolvido no futuro quando conciliar esses aspectos de forma equilibrada.

Referências

AZEVEDO, T. *et al*. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. *Nature Scientific Data*, [*S. l.*], maio 2018. Disponível em: https://www.nature.com/articles/sdata201845. Acesso em: 20 ago. 2021.

BP. *Statistical Review of World Energy 2020*. London: BP, 2020. Disponível em: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf. Acesso em: 21 ago. 2021.

BRASIL. *Balanço Energético Nacional 2020*: ano-base 2019. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2020a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 21 ago. 2021.

BRASIL. Banco Central do Brasil. *Resolução 4.327, de 25 de abril de 2014*. Dispõe sobre as diretrizes que devem ser observadas no estabelecimento e na implementação da Política de Responsabilidade Socioambiental pelas instituições financeiras e demais instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil. Brasília, DF: BCB, 2014. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2014/pdf/res_4327_v1_O.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

BRASIL. *Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Revogado pelo Decreto nº 9.578, de 2018. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. *Decreto 9.578, de 22 de novembro de 2018.* Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional

sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. *Lei 12.114, de 9 de dezembro de 2009*. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6o e 50 da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2009a.

BRASIL. *Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009*. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2009b.

BRASIL. *Lei 14.119, de 13 de janeiro de 2021*. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nº 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília, DF: Presidência da República, 2021b. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/norma/33089316/publicacao/33104500. Acesso em: 13 ago. 2021.

BRASIL. *Recursos financeiros das cláusulas de investimentos em PD&I*. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao/investimentos-em-pd-i/recursos-financeiros-das-clausulas-de-investimentos-em-pd-i. Acesso em: 26 ago. 2021.

BRASIL. *Resolução 4.945, de 15 de setembro de 2021*. Dispõe sobre a Política de Responsabilidade Social, Ambiental e Climática (PRSAC) e sobre as ações com vistas à sua efetividade. Brasília, DF: Conselho Monetário Nacional, 2021a. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-cmn-n-4.945-de-15-de-setembro-de-2021-345117266. Acesso em: 8 out. 2021.

CLIMATE WATCH. *Climate Watch Historical GHG Emissions*. Washington, DC: World Resources Institute, 2021. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions. Acesso em: 13 ago. 2021.

COVEY, K. *et al*. Carbon and Beyond: the biogeochemistry of climate in a rapidly changing Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, [*s. l.*], v. 4, 618401, mar. 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.618401/full. Acesso em: 18 ago. 2021.

DNV. *Actionable plans to reduce oil and gas emissions*. Oslo: DNV, 2021. Disponível em: https://www.dnv.com/Publications/actionable-plans-to-reduce-oil-and-gas-emissions-193854. Acesso em: 19 ago. 2021.

DNV GL. *Energy Transition Outlook 2020*: a global and regional forecast to 2050. Oslo: DNV GL, 2020a. Disponível em: https://download.dnvgl.com/eto-2020-download. Acesso em: 19 ago. 2021.

DNV GL. *Heading for hydrogen*: the oil and gas industry's outlook for hydrogen, from ambition to reality. Viken: DNV GL, 2020b. Disponível em: https://www.dnv.com/focus-areas/hydrogen/heading-for-hydrogen.html. Acesso em: 15 abr. 2021.

EUROSTAT. *Where does our energy come from?* European Statistical, [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html?lang=en. Acesso em: 21 ago. 2021.

FMEAE – GERMAN FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY. *The National Hydrogen Strategy*. Berlin: FMEAE, 2020. Disponível em: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html. Acesso em: 23 ago. 2021.

GOMES, T. S. B. O pagamento por serviços ambientais e a política nacional sobre mudança do clima. *In*: GAIO, A. *A política nacional de mudanças climáticas em ação*: a atuação do ministério público. Belo Horizonte: Abrampa, 2021. p. 152-176. Disponível em: https://abrampa.org.br/abrampa/uploads/images/conteudo/A%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas%20em%20A%C3%A7%C3%A3o_%20A%20atua%C3%A7%C3%A3o%20do%20Minist%C3%A9rio%20P%C3%BAblico%20(1).pdf. Acesso em: 23 ago. 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Net Zero by 2050*: a roadmap for the global energy sector. Paris: IEA, 2021. Disponível em: https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050. Acesso em: 18 ago. 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *The future of hydrogen*: seizing today's opportunities. Paris: IEA, 2019.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *The oil and gas Industry in energy transitions*. Paris: IEA, 2020a. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions. Acesso em: 19 ago. 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2020*. Paris: OECD, 2020b.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. *In*: IPCC. *Climate Change 2021*: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

LEAL, R.; VIANA, M. Financiamento do desenvolvimento sustentável: elementos para a contribuição dos bancos de desenvolvimento. *Revista BNDES*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 52, p. 35-66, dez. 2019. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19580/1/PRPer76157_RBNDES_v26n52.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

LINARDI, M. Hidrogênio e células a combustível. *Economia e Energia*, [*s. l.*], Ano XI, n. 66, fev.-mar. 2008. Disponível em: https://ecen.com/eee66/eee66p/hidrogenio_e_celulas_a_combustivel.htm. Acesso em: 27 ago. 2021.

MENDES, A. P. A.; TEIXEIRA, C. A. N.; ROCIO, M. A. R. Petróleo e gás. *In*: PUGA, F. P.; CASTRO, L. B. (org.). *Visão 2035:* Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. p. 53-88. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16209. Acesso em: 23 ago. 2021.

OLIVEIRA, A. S.; MIGUEZ, J. D. Z.; ANDRADE, T. C. M. A. A Convenção sobre mudança do clima e o seu Protocolo de Quioto como indutores de ação. *In*: FRANGETTO, F. W.; VEIGA, A. P. B.; LUEDEMANN, G. (orgs.). *Legado do MDL*: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. Brasília, DF: Ipea, 2018. p. 21-42. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9473. Acesso em: 2 set. 2021.

PIVETTA, M. Amazônia, agora, é fonte de CO_2. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 187, jan. 2020. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/amazonia-agora-e-fonte-de-co2/. Acesso em: 18 ago. 2021.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Energy mix. *Our World in Data*, Oxford, 2020. Disponível em: https://ourworldindata.org/energy-mix. Acesso em: 21 ago. 2021.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. *Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019*. [*S. l.*], 2020. Disponível em: https://

seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf. Acesso em: 13 ago. 2021.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. *Municípios da Amazônia dominam emissão de carbono*. [*S. l.*], 2021. Disponível em: http://seeg8-brasil-municipios-site.herokuapp.com/imprensa. Acesso em: 13 ago. 2021.

TEIXEIRA, C. A. N. *et al*. Gás natural: um combustível chave para uma economia de baixo carbono. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 131-175, mar. 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20781/1/PR_BS_v27_n53_86593_BS.pdf Acesso em: 18 ago. 2021.

US-DOE – US DEPARTMENT OF ENERGY. *Hydrogen Strategy*: enabling a low-carbon economy. Washington, DC: Office of Fossil Energy, 2020. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July2020.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *Race To Zero Campaign*. [*S. l.*], 2020a. Disponível em: https://unfccc.int/climate-action/race-to-zero-campaign. Acesso em: 18 ago. 2021.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *2020 breakthrough year for climate action*. [*S. l.*], 2020b. Disponível em: https://racetozero.unfccc.int/2020-breakthrough-year/. Acesso em: 18 ago. 2021.

US-EIA – US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *US energy facts explained*. Washington, DC: US-EIA 2021. Disponível em: https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/. Acesso em: 21 ago. 2021.

WORLD BANK. *GDP per capita, PPP (current international $)*. Washington, DC: World Bank International Comparison Program, 2021a. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?name_desc=false. Acesso em: 21 ago. 2021.

WORLD BANK. *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. Washington, DC: World Bank, 2021b. Disponível em: http://hdl.handle.net/10986/35620. Acesso em: 24 ago. 2021.