

Estruturação de Conceitos e Ferramentas para Formatação de um Mercado de Descarbonização no Setor Eletroenergético Brasileiro

C T. Junqueira, *USP*, M. M. Udaeta, *USP*, V.T. Nascimento, *USP* A. L. Municio, *USP* and D. S. Ramos, *USP*

Abstract--Este trabalho tem como objetivo analisar as estruturas de mercados de descarbonização, conceituando alguns dos principais métodos de incentivos às práticas sustentáveis, visando a adaptação dos conceitos à realidade brasileira. A entrada das fontes renováveis e o desenvolvimento energético sustentável são inexoráveis para o futuro de uma sociedade ambientalmente harmoniosa. A agência internacional de energia (EIA) estima que 80% da demanda de energia elétrica nos EUA será suprida por energias renováveis [1]. Países desenvolvidos lideram essa transição via políticas de incentivo à sustentabilidade. Nações vanguardistas na transição energética lideram o processo devido às instituições e sociedade civil atuantes que pressionam os governos na busca da descarbonização da matriz. Mesmo as fontes de energia renovável sendo as usinas de geração de energia mais baratas em grande parte do globo [1] a estruturação de mercados e ferramentas pró-descarbonização, podem acelerar o processo da transição energética. Políticas organizadas centralizadamente, podem ser capitais em uma mudança rápida estabelecendo uma sociedade mais sustentável durante a mudança para uma matriz limpa. Este trabalho visa mostrar métodos consagrados para uma aceleração da descarbonização da matriz energética brasileira, conceituando alguns dos principais métodos de incentivos. Estes métodos serão descritos e analisados com exemplos internacionais de aplicações bem sucedidas das medidas em questão, e analisadas à luz de iniciativas de políticas sustentáveis existentes no Brasil. Como conclusão, estabelece-se políticas mais aderentes à realidade do país. A formatação de um mecanismo de carbono é um desafio dado à interação com inúmeros agentes de diferentes setores produtivos. Se implementada adequadamente, a precificação do carbono fornecerá um caminho para uma sociedade sustentável. Sendo um incentivo para que agentes públicos, empresas e consumidores realizem mudanças em investimentos, gastos e comportamentos na direção de alternativas mais ambientalmente eficientes.

Index Terms-- Carbon Pricing, Decarbonization Strategies, Energy Trade Systems, Renewables Energy, Sustainability.

I. INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris foi adotado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). Isso significa que, a partir de então, o mundo tem um novo acordo global para combater as mudanças climáticas. O objetivo maior do Acordo de Paris é manter o aumento da temperatura média global a bem menos que 2 °C acima dos níveis pré-industriais e envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C. Esse objetivo está associado ao nível de mudança climática que, entendido pelos governos como minimamente seguro, possibilitaria um desenvolvimento econômico satisfatório para as nações [2]. A implementação do Acordo significa um passo importante na reorientação da economia mundial. O crescimento econômico terá de se dissociar, de uma vez por todas, do aumento de emissões. Abrindo espaço para políticas de descarbonização que visam um desenvolvimento sustentável e uma transição para consumo de energia mais eficiente e renovável. As externalidades do consumo energético sem compromisso com a sustentabilidade, trouxeram grandes desafios ambientais. Uma externalidade é caracterizada pelos impactos (positivos ou negativos) gerados pelo desempenho de uma atividade em partes não diretamente relacionadas à atividade, que não se refletem em seus custos. A poluição é um caso clássico de externalidade negativa, com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) sendo seu mais famoso exemplo. Nos últimos anos, foram estabelecidas as bases para uma transformação em direção a uma economia de baixa emissão de carbono. Diversos países, incluindo o Brasil, iniciaram trajetórias rumo à neutralidade das emissões de carbono, tendo as emissões ligadas à geração de energia como uma das frentes principais para atingir o objetivo. O setor elétrico brasileiro tem significativa participação de energias renováveis e fontes de baixa emissão de gases do efeito estufa no suprimento da energia elétrica do país. As energias renováveis, principalmente hidrelétricas, eólicas e fotovoltaicas, somadas à energia nuclear alcançam impressionantes 85% de fontes não emissoras de gases do efeito estufa (GEE), na matriz elétrica brasileira [3]. O setor elétrico brasileiro também tem desenvolvido progressivamente instrumentos e práticas de planejamento e gestão que

C. T. Junqueira is with Universidade de São Paulo (USP) and Casa dos Ventos Energias Renováveis (e-mail: claudiotjunqueira@gmail.com).
M. M. Udaeta is with GEPEA/USP (e-mail: udaeta@pea.usp.br)
V. T. Nascimento is with GEPEA/USP (e-mail: viviane.tavares@usp.br)
A. L. Municio is with GEPEA/USP (e-mail: alba.leduchowicz@upc.edu)
D. S. Ramos is with USP (e-mail: dorelram@usp.br)

consideram os benefícios ambientais das fontes que inserem os aspectos socioambientais positivos ao longo do processo decisório a fim de ampliar seus padrões de sustentabilidade. A conversão da Medida Provisória nº 998, na Lei nº 14.120/2021, de 01/03/2021, representou grande avanço para o setor elétrico, consolidando alterações importantes no sentido de reduzir subsídios e trazer benefícios ao consumidor de energia elétrica. Dentre seus avanços, destaca-se o comando legal para que o Poder Público Federal defina diretrizes para a implementação de mecanismos para a consideração dos benefícios ambientais no setor, em consonância com mecanismos para a garantia da segurança do suprimento e da competitividade. Que culminaram no decreto Nº 11.075, de 19 de maio de 2022, que estabelece as diretrizes de um mercado de carbono regulado e multisetorial no país.

Outras regiões que iniciam os projetos de descarbonização, podem ser utilizadas como exemplos para a formatação de um mecanismo. Metcalf [4], verificou os impactos dos impostos sobre o carbono no crescimento do PIB e no emprego na Europa, usando dados empíricos do Banco Mundial coletados desde o início dos anos 1990. O estudo concluiu que, embora os efeitos positivos do imposto sobre o crescimento do PIB e a criação de empregos não sejam estatisticamente significativos, não existem evidências para afirmar o contrário, ou seja, de que os impostos possuem efeitos negativos no crescimento do PIB e na geração de empregos. Então, uma transição energética via mecanismos de descarbonização pode conduzir a um desenvolvimento sustentável sem impacto econômico significativo às sociedades que aplicam políticas de descarbonização.

II. MÉTODOS DE DESCARBONIZAÇÃO

As emissões dos gases do efeito estufa são comumente divididas em 3 escopos principais, baseados na definição sugerida em [5] que tem como segregação o grau de gerenciamento das companhias. Tipo 01: Emissões de GEE de escopo 1 são aquelas que ocorrem diretamente das facilidades de uma organização. São altamente gerenciáveis pela companhia e podem ser facilmente contabilizados. São as emissões geradas na elaboração dos serviços ou produtos fornecidos pela empresa nas suas facilidades, ou ainda a emissão advinda da frota gerenciada pelas companhias. Tipo 02: As emissões de escopo 2 são emissões indiretas de GEE associadas à energia elétrica, vapor ou calor utilizado nos processos produtivos de uma organização. Não estão aparentes no dia a dia das atividades produtivas do agente, não são fáceis de contabilizar mas estão associadas às fontes primárias de recursos utilizados nas atividades produtivas. Tipo 03: O escopo 3 se refere às emissões de atividades não desempenhadas diretamente, porém impactadas indiretamente, pela influência da organização em sua cadeia de valor. Principalmente as emissões associadas às atividades desempenhadas por stakeholders na cadeia de valor, seja anteriores ou posteriores à atividade central da companhia em questão.

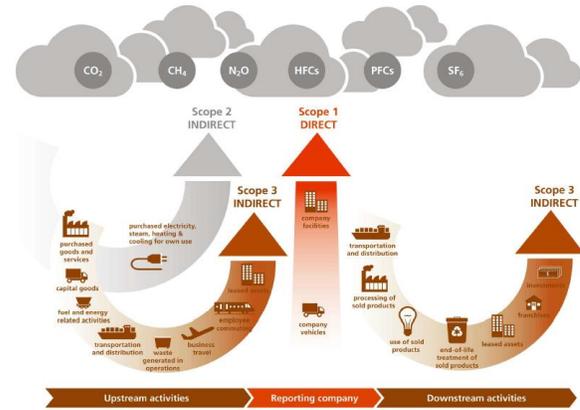


Fig. 1. Escopo de Emissão. Adaptado de [5].

Na literatura estudada, existem diferentes abordagens para promover a redução de emissões de gases do efeito estufa, uma primeira macrodivisão é sobre forma de atuação da política proposta, que pode ser considerada direta ou indireta [6]. Tais abordagens variam entre aquelas mais explícitas sobre o controle direto das metas de redução de emissões impostas à atividade, até aquelas que se baseiam em mecanismos de mercado, que penalizam ou beneficiam os agentes de formas mais branda, a partir de um compromisso, aliando algum nível de incentivos ou penalizações financeiras, atuando indiretamente na emissão de cada setor. Importante ressaltar que as ferramentas não são mutuamente excludentes, e podem ser utilizadas juntas em várias situações, para acelerar a redução em setores específicos ou propiciar a independência de regiões menores dentro de um país, respeitando metas globais. As principais metodologias estudadas, são descritas.

A. Imposições Legais

Consistem em legislações ou regulamentações específicas que exigem certa redução de emissões associada a atividades pré-determinadas, penalizando severamente os agentes em caso do não cumprimento. É uma medida direta, bastante intervencional nas atividades produtivas. As imposições ignoram o fato de que diferentes agentes têm diferentes sensibilidades e custos de produtividade associados para reduzir as emissões. Portanto, essa política não leva em consideração a especificidade de cada agente, estes que têm diferentes incentivos para poluir, ou evitar a poluição, sem uma lógica financeira para que os agentes busquem soluções inovadoras para reduzir o custo global para atingir a meta de forma compartilhada. As metas podem ser atingidas utilizando essa ferramenta, mas de uma forma não otimizada, desconsiderando uma atuação conjunta do mercado para uma alocação comunitária. Essa política pode produzir resultados rápidos à descarbonização, mas pode não ser sustentável no longo prazo, propiciando um efeito conhecido como fuga de emissões. A fuga de emissões se refere à situação que pode ocorrer quando, por conta dos custos relacionados às políticas climáticas, empresas transferem suas atividades para outras

jurisdições com regulações mais brandas. Em última análise, isso pode até levar a um aumento nas emissões globais de GEE. E alteração do cenário social-econômico da região.

B. Imposto sobre Emissões

A ferramenta de descarbonização via a criação de um imposto por emissões, busca uma redução dos níveis de emissões estabelecendo um preço por unidade de CO₂e, ou tCO₂e emitida. Também chamada de imposto sobre o carbono. Em geral, essa medida é realizada visando a diminuição do consumo de combustíveis fósseis, limitando a intensidade de emissões de cada gás, para diferentes setores produtivos, e taxando de forma proporcional ao nível de emissão do agente. Este é um mecanismo governado pelo preço do imposto cobrado e a sensibilidade dos agentes a ele, onde não há garantias sobre o nível de redução de emissões resultante. O preço cobrado pelo imposto deve ser alto o suficiente para induzir um nível mínimo de redução, mas não tão alto a ponto de causar consequências adversas para a economia e aceitação pública. Um dos maiores desafios dos elaboradores da política é a valoração do imposto. A receita advinda da política pode ser utilizada para ações que visam impactar o meio ambiente de forma positiva, ou pode ser redistribuída aos agentes com menores emissões por meio de desoneração de impostos.

O conceito do imposto sobre emissões pode ser demonstrado utilizando o exemplo da Suécia. O imposto sueco aparece como o mais alto do mundo, correspondendo a aproximadamente 114 EUR/tCO₂e em 2021. O imposto incide sobre o consumo de combustíveis fósseis, principalmente para aquecimento e transporte, e é calculado com base na intensidade de carbono de cada combustível. Atualmente, o imposto cobre 40% das emissões nacionais de GEE. Existem setores isentos da tributação desde o seu início, a fim de proteger a competitividade econômica. No entanto, a maioria dos setores isentos foram cobertos pelo sistema de comercialização de emissões europeu - EU ETS, que será explorado posteriormente. As principais críticas ao método são justamente sobre a existência de isenções. A primeira é sobre a eficiência da política de tributação, que é prejudicada pelo fato de determinados setores estarem fora de seu escopo de regulação. Por exemplo, as indústrias de aço e materiais de construção são isentas do imposto. Os críticos defendem a redução do valor da alíquota e o aumento da sua abrangência setorial, de forma a garantir maior eficiência. A segunda grande crítica é que as indústrias cobertas pelo imposto têm um custo associado às suas emissões significativamente mais alto do que aquelas não cobertas pelo imposto, que estão sob o escopo do EU ETS (já que os preços das permissões nunca, até 2020, haviam excedido o imposto sobre o carbono). Causando a redução da competitividade, do mercado internacional, das empresas suecas englobadas pelo mecanismo. Os efeitos positivos apontados são que não há evidências de efeitos adversos do imposto sobre o crescimento econômico do geral do país. Na verdade, o crescimento médio anual do PIB de 1991 a 2018 foi de 2,2%, contra 2,5% nos EUA. Desde a implementação do imposto, estima-se uma

redução de 27% nas emissões de gases com efeito de estufa, principalmente atribuível a reduções associadas ao aquecimento residencial, ao setor dos transportes e à indústria [7].

C. Sistema de Comercialização de Emissões

O sistema de comércio de emissão ou *Energy Trade System* (ETS), possui como princípio estabelecer um nível permitido de emissões por agente, e criar um mercado de trocas por essas permissões para as emissões, de forma a atingir uma meta global de redução de emissões ao longo dos anos. Também chamo de sistema de limite e troca, ou, *Cap and Trade*. As permissões e as metas devem ser revistas em períodos determinados de tempo, chamados períodos de controle. O período de controle é o período ao fim do qual as permissões devem ser canceladas proporcionalmente às emissões verificadas do agente regulado. De acordo com a experiência internacional, usualmente adota-se um ano.

A comercialização em um sistema de comércio de emissões pode ser realizada (a) via leilões periódicos e (b) via comércio bilateral entre os agentes – que pode, ou não, se dar em um ambiente organizado para comercialização. Limites de preços também podem ser adotados, por meio de mecanismos que inserem ou retiram permissões do mercado, guiados por gatilhos de preços para evitar um sinal econômico deturpado.

Diferentes setores recebem diferentes níveis de permissões, baseados em *benchmarks* que são utilizados para definir o montante de permissões, por unidade produzida, que serão alocadas gratuitamente para diferentes agentes de um setor (ou atividade) da economia. Caso suas emissões sejam verificadas abaixo de suas respectivas permissões ao fim do período, essas são liquidadas. Além disso, os agentes devem comprar créditos caso suas emissões excedam o nível de permissões, também chamado de *allowances*. As permissões também podem ser aposentadas, um agente pode cancelar voluntariamente suas *allowances*. Deste modo, voluntariamente, o agente contribui para uma meta mais ambiciosa do mecanismo e impulsiona a redução de emissões.

Uma dificuldade no sistema de *cap and trade* é o tratamento das usinas renováveis. Por sua geração não ser associada à emissão de gases de efeito estufa, os geradores renováveis – especialmente eólicas, solares e hidroelétricas – não possuem obrigações em um sistema de comércio de emissões e, portanto, não recebem permissões de emissão nesses mecanismos. Desta forma ficando impossibilitadas de participar do mecanismo, em alguns mercados, estes geradores são elegíveis para a originação de créditos de compensação de emissões (*offsets*). Neste caso, cada MWh de energia elétrica produzido por estes geradores poderia originar uma fração de um crédito de compensação, proporcionalmente a algum fator de emissões de referência – em tCO₂e/MWh. Então esses *offsets* podem ser adquiridos por agentes ‘poluidores’ que ultrapassaram as metas de emissão.

A ferramenta tem se mostrado eficiente em diversas localidades, as principais dificuldades têm sido a sensibilidade dos preços das permissões e o tratamento dos *offsets*. Os preços devem ser altos o suficiente para o incentivo de atingimento das metas, mas não altos demais que onerem demasiadamente os agentes nos períodos de liquidação. As compensações via geração renovável trazem a possibilidade de

agentes que não atingiram as metas individualmente, compreendem certificados de redução. Alguns países têm imposto limites de aquisição de *offsets* por agentes para evitar a compra indefinida de certificados de redução.

D. Certificados de Energia Limpa / Compensações de Carbono

Um certificado de energia limpa é um instrumento de mercado que representa cada MWh produzido a partir da geração de eletricidade renovável, que pode ser reivindicado pelo seu possuidor. Os certificados são emitidos quando um megawatt-hora (MWh) de energia elétrica é gerado e entregue à rede elétrica a partir de um recurso de energia ambientalmente favorável. Atividades com impacto ambiental positivo podem ser certificadas e utilizadas para redução das metas de emissões voluntárias. A demanda por certificados de eletricidade surge quando os supridores de energia e grandes consumidores são obrigados a comprar certificados para uma determinada proporção, ou totalidade, de seu consumo de energia elétrica.

As emissões de certificados podem ser realizadas sem um mercado local bem estabelecido, órgão certificadores globais podem certificar projetos com impactos positivos e esses certificados podem ser comercializados de forma voluntária, e são principalmente adquiridos por consumidores de energia que acreditam que a aquisição dessa energia gera valor para empresa independente de um mercado regulado.

Uma compensação de carbono é uma redução nas emissões de gases de efeito estufa utilizada, para fins contábeis, para compensar as emissões feitas em outros lugares. Um crédito de compensação de carbono representa a redução das emissões de gases de efeito estufa equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono (tCO₂e). Os créditos de compensação de carbono são criados de acordo com os padrões de certificação, que fornecem orientações e requisitos que os desenvolvedores de projetos devem seguir para originar tais créditos. Uma vez criados, os créditos podem ser vendidos livremente no mercado. Pode ser desejável utilizar auditorias para prevenir a dupla contabilização: que um mesmo MWh de energia elétrica seja utilizado para originar certificados de energia limpa em diferentes mecanismos – como diferentes mecanismos voluntários.

E. Subsídios para Energias Renováveis

Um método para descarbonização da matriz é o estabelecimento de subsídios para empreendimentos de geração de energia renovável. Seja esse subsídio uma fonte de receita adicional ou isenção de despesas, oferecida pelo governo para tecnologias selecionadas que promovem a transição energética. Isso pode ser feito por meio de descontos nas tarifas da rede, isenções de impostos, melhores condições de financiamento, pagamentos diretos proporcionais à produção de energia. Essas políticas podem ser bastante importantes para iniciar o desenvolvimento das tecnologias sustentáveis em uma dada região mas devem ter um período determinado para não criar assimetrias no mercado.

III. EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Diversos países, principalmente os mais desenvolvidos,

possuem uma ou mais iniciativas de descarbonização implementadas. A figura 2, adaptada de[5], mostra as políticas em vigência em diversas localidades.

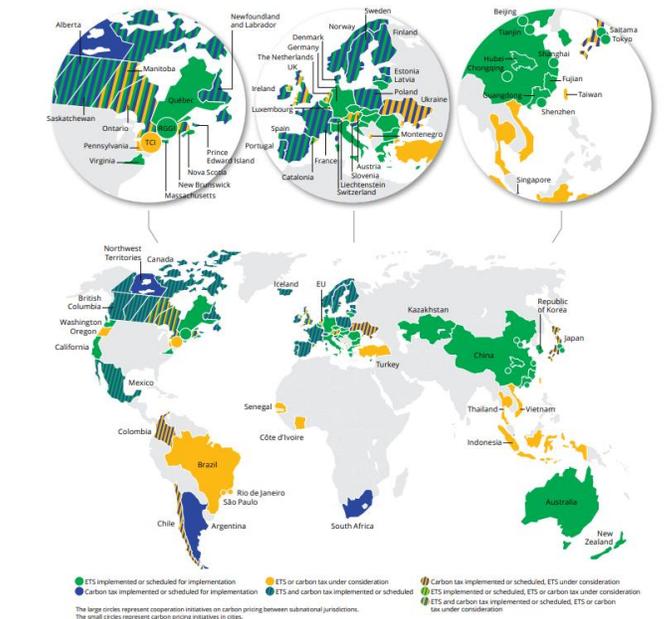


Fig. 2. Escopo de Emissão. Adaptado de [5].

Muitos países da Europa, por exemplo, possuem além do sistema de comércio de emissões vigente em toda região o EU ETS, alguma outra política específica. A seguir daremos alguns exemplos de políticas implementadas com sucesso.

A. Canadá: Imposto sobre Emissões e Sistema de Comercialização de Emissões

O Marco Pan-canadense de Precificação da Poluição por Carbono, lançado em outubro de 2016, estabeleceu a precificação de emissões a nível nacional. Ele dá às províncias e territórios a flexibilidade para desenvolver seus próprios sistemas de precificação de emissões, ao mesmo tempo que descreve critérios mínimos que os sistemas de precificação devem atender a nível nacional. Para províncias com emissões de GEEs acima do limite, o marco estabelece as seguintes opções: (i) pagar o preço do carbono ao Governo por meio de uma taxa sobre as emissões excedentes ou (ii) comprar permissões de outros participantes. Nas jurisdições que optam por adotar o sistema federal, os recursos são devolvidos diretamente aos governos.[8] Em jurisdições que não atenderam aos padrões de rigor federal para reduzir a poluição de carbono, os rendimentos são devolvidos por meio de precificação de poluição por carbono. O país mescla os mecanismos de imposto sobre emissões de carbono e um mecanismo de *cap and trade*.

Com bastante autonomia às províncias de definição de metas de regulações, mas sempre obedecendo dos tetos estipulados pelo governo federal. O resultado já obtido com o mecanismo mostra manutenção das emissões com um crescimento do PIB [9]

B. União Européia: Imposto sobre Emissões e Sistema de Comercialização de Emissões

Muitos dos países da União Européia estabeleceram um sistema de taxação por emissões de carbono. As metas variam para cada participante e podem ser cobradas sobre diferentes tipos de gases de efeito estufa, adaptadas à realidade de cada um dos integrantes do bloco.

O *European Union Emission Trading System* (EU ETS) é o sistema de comercialização de emissões em vigência. O mecanismo limita o volume total de emissões de GEE da União Europeia, é o maior e mais antigo sistema de comércio de emissões cobrindo mais de 12.000 instalações industriais e de geração de energia elétrica em 31 países [6]. Contabilizando diversos períodos de controle e fases de aplicação que são cada vez mais audaciosos. Neste mecanismo, o comércio de permissões é ilimitado e a utilização de créditos de compensação (*offsets*), não é permitida desde a Fase 4. Existem leilões de permissões realizados em uma rodada única, com lance fechado e de preço uniforme por agente. Multas são impostas e aplicadas para empresas que não apresentam os certificados no prazo. À medida que EU ETS avançava para fases mais ambiciosas, por meio da redução linear aplicada no limite de emissões (e permissões liberadas para negociação), os preços subiram conforme figura 3.

C. Califórnia: Sistema de Comercialização de Emissões

A Califórnia emitiu, no ano de 2019, 418 MtCO₂ de gases de efeito estufa [10], em sua maior parte por conta da queima de combustíveis fósseis para transporte, usos energéticos na indústria e para a geração de energia elétrica. O estado americano possui metas ambiciosas para redução das emissões e estabeleceu um ETS a partir de meados de 2011. O comércio de permissões é permitido, enquanto o empréstimo de períodos de controle futuros é proibido. A utilização de créditos de compensação é permitida, porém atualmente restrita a, no máximo, 4% das obrigações individuais e com restrições sobre a origem da fonte. Tem-se observado uma queda na emissão de GEE após a aplicação das políticas apresentado emissário de emissões pelo governo do estado. [11].

D. México: Certificados de Energia Limpa

Em 2014, com a modernização do setor elétrico mexicano, o país adotou uma configuração de três produtos para seus leilões centralizados: energia, capacidade e certificados de energia limpa. O país estabeleceu um mercado de certificação de energias renováveis. Um esquema de apoio destinado a aumentar a produção de eletricidade renovável. Os geradores renováveis recebem um certificado por MWh de produção por um período estabelecido, que podem ser comercializados. O principal objetivo dos certificados é criar uma fonte de receita para geradores renováveis, favorecendo as taxas de retorno dos investimentos, e incentivando uma maior participação renovável na matriz de geração. Uma vez que os certificados são negociados separadamente da capacidade e da energia, o excesso ou a falta deles não impactam diretamente os preços dos outros produtos

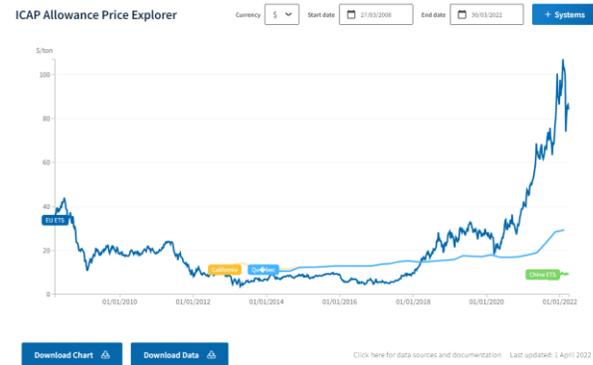


Fig. 3. Preços das Permissões Mundialmente [11].

IV. INICIATIVAS DO MERCADO BRASILEIRO

O Brasil possui iniciativas que visam a descarbonização da matriz energética, e qualquer nova proposição de mecanismos deve avaliar as interações com as políticas existentes bem como buscar os pontos positivos e negativos de cada mecanismo. Algumas são comentadas a seguir.

A. Renova Bio

A Lei nº13.576, de 26 de dezembro de 2017, foi criada para atender aos termos do Acordo de Paris, e pode estabelecer as diretrizes para o Renova Bio, mecanismo para incentivo da produção de biocombustíveis no país. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) para a comercialização de combustíveis renováveis, e em seguida, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis definiram metas obrigatórias individuais para cada distribuidora de combustíveis em função de sua participação de mercado. Estabelecendo percentuais mínimos de aquisição de biocombustíveis na forma de dos CBIOs.

Os CBIOs são certificados emitidos por produtores e importadores de biocombustíveis quanto à sua produção e eficiência, que podem ser negociados bilateralmente com as distribuidoras de combustíveis. A compra desses certificados é uma forma de favorecer o crescimento da indústria de biocombustíveis. Cada CBIO equivale a uma tonelada de CO₂e evitada. O Conselho Nacional de Política Energética estabelece metas gerais para a comercialização de combustíveis. Em seguida, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis define metas obrigatórias individuais para cada distribuidora de combustíveis em função de sua participação de mercado. A figura 4 mostra os valores negociados e o preço médio diário comercializado de CBIOs B3.

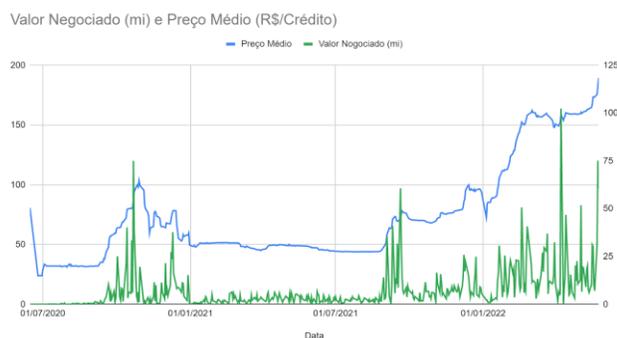


Fig. 4. Preços e Valor Negociado dos CBIOs.

B. PROINFA

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, foi a primeira iniciativa para a entrada de produtores independentes de fontes renováveis da matriz elétrica. A primeira etapa do programa previu a contratação de 3,3 MW de capacidade, distribuídas igualmente entre as fontes eólica, pequenas centrais hidroelétricas e biomassa, com contratos de venda de energia pelo prazo de 20 anos e com custos rateados entre todos os consumidores do Sistema Interligado Nacional, exceto os de Baixa Renda. Para 2022 está previsto um custo de cerca de R\$ 6,38 Bilhões para manutenção do programa, com custo médio da energia contratada de R\$ 569,89/MWh, sendo R\$ 435,37/MWh para pequenas centrais hidroelétricas, R\$ 738,16/MWh para eólicas e R\$ 348,07/MWh para biomassa. Os altos valores são explicados pela viabilização das tecnologias, à época incipientes na matriz, e pela indexação por IGP-M. A vigência dos contratos expirava a partir do início de 2026, mas a Lei nº 14.120, de 1º de março de 2021, trouxe a possibilidade de prorrogação dos contratos em troca de contrapartidas, como a redução do preço e ajuste da indexação, caso interesse aos empreendedores.

C. Desconto nas Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão

Criado pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, consiste no desconto de 50% a 100% nas tarifas de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD) de geradores de energia proveniente de fontes renováveis que atendam determinados limites de potência instalada ou injetada na rede. Estes descontos são extensíveis aos consumidores que comprem essa energia incentivada promovendo isenção de pagamento da tarifa do uso do fio. Os subsídios médios a esses geradores são calculados na tabela 01. Pode-se notar que em 2020 o total de descontos foi da ordem de 5 Bilhões de reais e possibilitaram a geração de aproximadamente 11 GW médios de energia incentivada, mostrando a maturidade e relevância do mercado.

TABELA I
DESCONTO TOTAL E BENEFÍCIO GERADO PELO SUBSÍDIO

Ano	Desconto (bi R\$)	Geração (GWm)	R\$/MWh
2015	1,1	5,6	19,6
2016	1,3	6,8	19,1
2017	2,2	8,1	27,2
2018	3,7	9,6	38,5
2019	3,5	11	31,8
2020	5,0	10,9	45,9

Essa maturidade do mercado foi confirmada pela Lei nº 14.120, de 1º de março de 2021, que estabelece o fim dos descontos nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição. Novas usinas com 12 meses após a entrada em vigor da Lei, e que iniciarem a operação comercial em até 48 meses após a obtenção da outorga – isto é, os últimos geradores elegíveis aos descontos deverão iniciar sua operação comercial até 1º de março de 2026.

D. IREC e REC Brasil

Os Certificados de Energia Renovável (RECs) são instrumentos de mercado que certificam a produção de energia renovável seguida da sua injeção na rede elétrica. Os três padrões REC mais difundidos são o REC norte-americano, as Garantias de Origem Europeias e o padrão REC internacional (I-REC). Um certificado equivale a 1 MWh de energia renovável injetada na rede. No Brasil, a certificação e auditoria dos I-RECs são realizadas pelo Instituto Totum. Esses certificados podem ser emitidos por usinas cujas fontes são hidrelétricas, biomassa, eólica, solar e podem ser adquiridos voluntariamente por consumidores do mercado livre ou regulado como forma de comprovar o uso de energias renováveis.

V. RESULTADOS

Cada mecanismo de descarbonização possui características particulares e devem ser adequados à realidade brasileira e às políticas existentes. De modo que são descritos os princípios identificados como desejáveis para nortear o processo de escolha e implementação de alguma iniciativa no caso brasileiro. É desejável que o mecanismo seja simples de administrar e que o benefício ambiental avaliado seja simples de quantificar. O mecanismo deve beneficiar a sociedade, induzindo a redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou a maior utilização de energia renovável. Os custos de transação envolvidos nas interações dos mecanismos devem ser os menores possíveis, para promover um mercado dinâmico e eficiente. As políticas de incentivo devem ter metas e uma vida útil bem definida. Como visto na experiência internacional, os mecanismos de incentivo funcionam bem quando possuem metas claras e um prazo determinado. Sendo atualizado conforme o amadurecimento do mercado e da análise dos resultados frente às metas pré-estabelecidas.

A. Imposições Legais

Os mecanismos de descarbonização via imposições legais, talvez seja o mais simples de implementar, e com baixos custos de viabilização. Uma vez aprovada a legislação e/ou regulamentação, o mecanismo entrará em vigor, e as metas estabelecidas devem ser perseguidas pelos agentes. No

entanto, esse mecanismo, quase autoritário, não permite racionalidade econômica entre os agentes e pode trazer dificuldades grandes alguns setores com maior dificuldade de adaptação. É uma opção para países com políticas energéticas de descarbonização ainda incipientes, não sendo uma alternativa interessante para um país como o Brasil que possui políticas de incentivo ao desenvolvimento do mercado pró descarbonização bem estabelecidas, iniciado há anos. Deve-se ter cuidado ao determinar o escopo de regulação, ou seja, quais setores da economia vão ser abarcados pela política, mecanismo em questão. A definição destes setores, bem como a expansão do escopo de regulação ao longo dos anos, faz parte do planejamento do mecanismo. Uma análise de impacto regulatório avaliando a perda de competitividade dos setores antes e depois da política de emissões, é importante para evitar-se o fenômeno da fuga de emissões.

B. Imposto sobre Emissões

O imposto sobre emissões é uma forma relativamente simples de implantar uma política de descarbonização. A principal dificuldade está na sensibilização dos atores ao valor do imposto para garantia da eficácia do mecanismo. Tem se mostrado uma ferramenta importante para redução dos GEE, no entanto, a verificação dos resultados obtidos nesse método são um desafio para os reguladores, por não garantir metas específicas. Pode ser utilizado como uma política auxiliar para acelerar a transição e ser aplicada a setores específicos, como é utilizado em diversos países da União Europeia. A política deve ser bem delimitada para não interagir com as políticas existentes. Por exemplo, com a política do Renova Bio, onde a tributação das distribuidoras de combustível deve não incidir sobre a parcela dos biocombustíveis. Para aplicação desse mecanismo deve-se também avaliar previamente os possíveis impactos da regulação frente à competitividade econômica dos setores abarcados na política.

C. Certificados de energia Limpa

O mecanismo voluntário, na realidade, já existe no Brasil conforme comentado anteriormente. Portanto, a discussão para sobre um mecanismo mandatário para a comercialização de certificados de energia limpa. Para a implementação de um mecanismo mandatário de certificados de energia limpa há a necessidade de se estabelecer um arranjo institucional para elaborar as regras, implementar e fiscalizar seu funcionamento. Estabelecendo percentuais mínimos das demandas dos consumidores de energia elétrica para aquisição de certificados. É desejável que o desenho destes mecanismos de incentivo se baseie em uma meta de penetração de recursos renováveis na matriz de geração de energia elétrica, uma vez que a limitação das emissões de GEE por esse mecanismo se torna difícil. Para uma prática eficiente, é necessário que seja estabelecida uma vida útil máxima para o mesmo, e que seja encerrado ao atingir sua meta penetração de recursos renováveis. Um desafio para a elaboração do mecanismo no Brasil, é o grande percentual já renovável do país, que pode gerar uma sobreoferta de certificados. Para evitar tal inconveniente, o mecanismo poderá certificar apenas para novas usinas de fontes renováveis, ou abarcar outros setores não apenas o consumo de energia elétrica, estendendo a

necessidade de aquisição de certificados para as demandas energéticas das empresas.

D. Sistema de Comercialização de Emissões

O sistema de comercialização de emissões tem se mostrado um mecanismo eficaz quando bem adaptado aos sinais do mercado, e pode ser uma boa opção para a realidade brasileira. Para a implementação de um sistema de comércio de emissões há a necessidade de se estabelecer um arranjo institucional para elaborar as regras, implementar e fiscalizar seu funcionamento. Em um país com grande penetração de geração de energia elétrica renovável, como o Brasil, o mecanismo deve ser intersetorial abarcando o setor energético de uma forma ampla, para evitar uma sobreoferta de permissões. Deve ser realizado um trabalho para definição dos níveis de permissões por agente e por setor, realizado com grande parcimônia no mercado brasileiro. A definição dos benchmarks para definição das *allowances* deve ser feita consultando o mercado nacional, não apenas importando padrões de outros países, dada as particularidades do consumo e das emissões do Brasil. Outro desafio é o tratamento de *offsets* para evitar a compensação demasiada dos agentes do mercado. Usinas de energia elétrica renováveis já em operação, podem ser excluídas da possibilidade de compensação, incentivando à redução de emissões de GEE e estimulando expansão da matriz renovável para novas permissões.

VI. CONCLUSÕES

A formatação de um mecanismo de carbono é um desafio dado à complexidade devido ao grande número de agentes envolvidos. Especialmente para o Brasil, onde especialmente o setor elétrico já é bastante renovável. O trabalho apresentado, aborda as características dos principais métodos e políticas de descarbonização e citou os desafios de estruturação de um mecanismo de precificação de carbono que considere as especificidades do setor eletroenergético brasileiro. Com base em experiências internacionais e nacionais, foram abordadas questões como o processo de modernização do setor, sinalização correta de preços, impactos distributivos e sobre os custos. Outro tema importante debatido foi a abrangência da precificação, com destaque para as vantagens de uma abordagem multissetorial.

Se implementada adequadamente, a precificação do carbono fornecerá um sinal de preço de longo prazo. Sendo um incentivo para que agentes públicos, empresas e consumidores realizem mudanças em investimentos, gastos e comportamentos na direção de alternativas mais ambientalmente eficientes. Essas mudanças se traduzem em ações de mitigação, adaptação e sequestro de CO₂, que serão mais vantajosos economicamente ao longo do tempo, fomentando pesquisa, inovação e desenvolvimento de produtos e processos pouco intensivos em carbono, para almejarmos respeitamos as metas de redução de gases do efeito estufa.

VII. REFERENCES

- [1] Energy International Agency (EIA), “Annual Energy Outlook”, 2022.

- [2] Greenpeace, “Revolução Energética - Rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis”, 2016.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética (EPE), “Anuário Estatístico de Energia Elétrica”, 2022
- [4] Metcalf, G. E., & Stock, J. H., “Measuring the Macroeconomic Impact of Carbon Taxes.”, 2020
- [5] World Bank Group, “State and Trends of Carbon Pricing 2020.”,2020
- [6]] European Commission, “EU ETS Handbook”,2015.
- [7] Government Offices of Sweden, “Sweden 's Carbon Tax”,2022.
- [8] Government of Canada, “Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change”, 2016.
- [9] Government of Canada, “Greenhouse Gas Pollution Pricing Act – 2019 Annual Report”, 2019.
- [10] California Senate Bill 32, de 8 de setembro de 2016.
- [11] California Government, “Emission Inventory Activities.”, Air Resource Board.
- [12] International Carbon Action Partnership (ICAP), [ICAP ETS MAP](#)

VIII. BIOGRAPHIES



Claudio Teixeira Junqueira possui graduação (2015) e mestrado (2019) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e MBA em administração de Negócios no Setor Elétrico pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Atualmente realiza doutorado na Universidade de São Paulo (USP) e trabalha como engenheiro na Casa dos Ventos Energias Renováveis onde atua na integração de novas usinas renováveis no sistema elétrico. Tem experiência na área de otimização de sistemas de potência, planejamento energético e operação de sistemas elétricos com alta penetração de fontes não despacháveis.

Miguel Edgar Morales Udaeta possui graduação em Engenharia Elétrica - Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón (1984) - , mestrado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP (1990), doutorado em Engenharia Elétrica pela EPUSP (1997), pós-doutorado em planejamento energético e planejamento integrado de recursos pela USP (1999 e 2003), e, livre-docência pela EPUSP (2012). Atualmente é professor de pós-graduação e pesquisador no GEPEA/EPUSP (Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Possui experiência na área de Engenharia de Energia e Economia de Energia, com ênfase em Planejamento Integrado de Recursos, Cadeia Produtiva do Gás Natural, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, atuando principalmente nos seguintes temas: energia, planejamento energético, desenvolvimento sustentável, análise integrado de recursos, recursos energéticos, energia rural e energia e meio ambiente.



Viviane Tavares Nascimento possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2008). Trabalhou como analista de suporte de sistemas no Banco Itaú Unibanco por cinco anos. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Linguagens de Programação Assembler e Cobol. Especializada em Sistema Operacional z.OS, plataformas transacional CICS e IMS. Possui curso de especialização "MBA em

Inovação Tecnológica em Redes de Computadores", ministrado pelo Laboratório de Redes da Escola Politécnica da USP. Trabalhou desde 2014 como pesquisadora no Laboratório de Sustentabilidade, vinculado à Escola Politécnica da USP, atuando em projetos aliando conceitos de redes de computadores, eficiência energética e desenvolvimento sustentável. Trabalhou em projetos de eficiência energética para redes de computadores até a defesa do mestrado, com foco na gestão de contratos e consumo de energia de Data Centers para entrada em programas de resposta à demanda. Desde 2017 trabalha como pesquisadora junto ao Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automações Elétricas (GEPEA), grupo também vinculado à Escola Politécnica. Nesse período atuou em diferentes projetos, com destaque para o projeto de sistemas de armazenamento integrado à outros fontes energéticas, projeto de P&D ANEEL e uma parceria com a CPFL. Simultaneamente, dedica a pesquisa para a conclusão do doutorado.



Alba Leduchowicz Municio Possui graduação em Grau em Tecnologias Industriais - ETSEIB pela Universitat Politècnica de Catalunya (2015) e mestrado em Master Universitário em Engenharia Industrial pela Universitat Politècnica de Catalunya (2018). Atualmente é da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia de Energia.



Dorel Soares Ramos. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1975), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1988) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1996). Atualmente é Consultor do Grupo EDP Energias do Brasil, onde exerceu cargo de Diretor de Regulação até Março de 2009, tendo sido ainda Diretor Comercial (Aquisição de Energia) e de Regulação das Distribuidoras Bandeirante Energia / Escelsa (Espírito Santo) e Enersul (Mato Grosso do Sul), pertencentes ao mesmo Grupo Empresarial, além de Diretor de Regulação da Holding EDP Energias do Brasil. É Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Sócio Administrador da MRTS Consultoria e Engenharia Ltda. Tem atuado principalmente nos seguintes temas: planejamento de sistemas elétricos, regulação do setor elétrico, comercialização de energia e análise de riscos, geração de energia elétrica e modelagem institucional do setor elétrico