



Ana Carolina da Silva Lemes

**ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO: UM CASO DE
ESTUDO DO PROJETO NORTHERN LIGHTS**

Orientador:

Doutor Flávio Inocêncio

Março /2022



Ana Carolina da Silva Lemes

**ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO: UM CASO DE
ESTUDO DO PROJETO NORTHERN LIGHTS**

Dissertação de mestrado com vista à
obtenção do grau de Mestre em Direito
na especialidade de Direito e Economia
do Mar.

Orientador:

Doutor Flávio Inocêncio

Março /2022

DECLARAÇÃO ANTIPLÁGIO

Declaro por minha honra que o trabalho que apresento é original e que todas as minhas citações estão corretamente identificadas. Tenho consciência de que a utilização de elementos alheios não identificados constitui uma grave falta ética e disciplinar.

Ana Carolina da Silva Lemes



Dedico este trabalho a minha querida mãe Zilda, que sempre me incentiva, acredita no meu potencial e deu todo o suporte para a concretização desse sonho! Dedico também a minha tia Cecília, por todo o amparo que me deu em Portugal, facilitando meus estudos para uma melhor finalização dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a NOVA Law pelo excelente Mestrado em Direito e Economia do Mar, foi uma enorme satisfação fazer parte das aulas e aprender mais sobre a minha mais nova vocação que é o Mar, e tudo que está relacionado a ele. Agradeço ao meu professor Dr. Flávio Inocêncio, que aceitou ser meu orientador nessa jornada, e fez eu aprender ainda mais sobre o mundo do petróleo e gás com toda sua sabedoria e ótima argumentação. Além de todo o conhecimento compartilhado me incentivou na pesquisa desse tema, fazendo eu sentir ainda mais curiosidade e interesse sobre o armazenamento de dióxido de carbono, o que resultou um sentimento de realização e satisfação com a minha dissertação. Agradeço as minhas duas famílias queridas, brasileira e portuguesa, e meu querido namorado Luís, por todo o suporte, apoio, ajuda e paciência. E agradeço a Portugal e aos portugueses, por terem me recebido e acolhido tão bem, fazendo daqui meu segundo lar.

RESUMO

A tese segue uma perspectiva multidisciplinar, baseada nas áreas de direito, economia, gestão, relações internacionais, ciências sociais, políticas, entre outras áreas. Logo no segundo capítulo, é possível ver um breve resumo histórico sobre o surgimento da transição energética, onde através de debates no âmbito das relações internacionais, ciências sociais e políticas, gerou um grande questionamento entre o uso da energia vinda dos combustíveis fósseis, e a preservação ambiental. O interesse económico e a qualidade de vida seguiam caminhos diferentes no cenário mundial do passado, e agora passaram a caminhar lado a lado, após a criação de tratados e leis, levando o capítulo de encontro a uma análise jurídica sobre questões ambientais (direito ambiental) e direito internacional, onde a jurisprudência serviu de arranjo e aperfeiçoamento das leis ambientais futuras. Depois de uma análise histórico-jurídica, o terceiro capítulo traz a grande questão problema da tese, a emissão de carbono excessiva e o aquecimento global, comprovada por inúmeras pesquisas que afirmam que: se a questão ambiental não for tratada como prioridade, o mundo vai entrar em colapso. Para evitar o colapso é preciso tecnologia, investimento financeiro e engenharia, para criar um método que desacelere a emissão e retire o gás carbónico do meio ambiente. A pesquisa termina com um estudo de caso, de uma empresa internacional, a Equinor, responsável pelos primeiros testes da nova tecnologia em grande escala. Apesar do projeto ainda estar em execução, concluímos que o método CCS (Carbon Capture and Storage), é o único que pode retirar em grande escala o CO₂ do ambiente, tendo capacidade de alcançar a meta de NET ZERO até 2050.

PALAVRAS-CHAVE: Captura e armazenamento de carbono (CCS), Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), Aquecimento Global, Equinor, Northern Lights.

ABSTRACT

The thesis follows a multidisciplinary approach, based on the subjects of law, economics, management, international relations, social sciences, policies, among other relevant areas. In the second chapter, it is possible to see a brief historical summary on the emergence of the energy transition, where through debates in the field of international relations, social sciences and policies, generated a great question between the use of energy from fossil fuels, and environmental preservation. Economic interest and quality of life followed different paths in the world scenario of the past, but they began to go hand in hand, after the creation of treaties and laws, leading the chapter against the backdrop of legal analysis on environmental issues (environmental law) and international law, where case law served as an arrangement and improvement of future environmental laws. After a legal and historical analysis the third chapter brings the big issue/ problem of thesis, excessive carbon emissions and global warming, proven by numerous studies that claim that: if the environmental issue is not treated as a priority, the world will collapse. To avoid collapse, it takes technology, financial investment and engineering to create a method that slows emissions and removes carbon dioxide from the environment. The research ends with a case study by an international company, Equinor, responsible for the first tests of this new technology on a large scale. Although the project is still running, we conclude that the CCS (Carbon Capture and Storage) method is the only one that can take CO₂ out of the environment on a large scale, having the ability to reach the NET ZERO goal by 2050.

KEYWORDS: Carbon Capture and Storage (CCS), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Global Warming, Equinor, Northern Lights.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linha do Tempo das Realizações das COPS.....	24
Figura 2- Emissões cumulativas de CO2	35
Figura 3 – Análise de Risco e Aquecimento Global	38
Figura 4 - Características das trajetórias de emissões globais.....	43
Figura 5 - Características das quatro trajetórias ilustrativas modeladas.....	45
Figura 6 - Vínculos indicativos entre opções de mitigação e desenvolvimento sustentável	53
Figura 7 - Descrição por processo ou atividade industrial das grandes fontes de CO2 em todo o mundo, com emissões com mais de 0,1 milhões de toneladas de CO2, “million tones of CO2” (MtCO2) por ano.....	60
Figura 8 - Esquema de possíveis sistemas CCS, que mostram as fontes para as quais o CCS pode ser relevante, o transporte de CO2 e as opções de armazenamento. .	61
Figura 9 - Captura e armazenamento de CO2 de usinas de energia	62
Figura 10 - Opções de armazenamento geológico	64
Figura 11 - Visão geral dos conceitos de armazenamento oceânico.....	67
Figura 12 – Desenvolvimento de Instalações Comerciais de CCS	70
Figure 13 – Instalações de CCS no Mundo em diferentes estágios de desenvolvimento	71
Figura 14 -Estimativas de Custos no CCS.....	73
Figura 15 - Hubs e Clusters CCS	75
Figura 16 – Interligação do Projeto Northern Lights.....	76
Figura 17 – Principais Projetos da Equinor no Mundo	81
Figura 18 – Diferentes estágios dos Projetos aplicados pela Equinor	85
Figura 19 – Northern Lights – Fases do Projeto	88
Figura 20 -Ilustração 3D do esquema da Northern Lights: Poço de confirmação de CO2	89
Figura 21 – Projeto Longship	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ano dos Relatórios de avaliação do IPCC	32
Tabela 2- Relevância dos Riscos	38
Tabela 3- Acordo entre Equinor e Microsoft	94

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AFOLU - Agricultura, Floresta e outros usos da terra
- AIE - Agência Internacional de Energia
- AND - Autoridade Nacional Designada
- AR4 - Quarto Relatório de Avaliação
- AR5 - Quinto Relatório de Avaliação
- BECCS - Bioenergia com captura e armazenamento de carbono
- CCS - Captura e armazenamento de Dióxido de carbono
- CCUS - Captura, utilização e armazenamento de carbono
- CDR - Remoção de Dióxido de Carbono
- CO₂ – Gás Carbônico
- COP - Conferência das Partes
- DACCS - Captura e armazenamento de carbono diretamente do ar
- DACCS - Captura e armazenamento de carbono diretamente do ar
- EOD - Entidade Operacional Designada
- EOR - *Enhanced Oil Recovery*
- ETF - *Enhanced transparency framework*
- FAR - Primeiro Relatório de Avaliação
- GCF - Fundo Verde para o Clima
- GEE – Gases efeito estufa
- GEF - Fundo Global para o Meio Ambiente
- GMST - Temperatura média global da superfície
- GtCO₂ - *gigaton of carbon dioxide*
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- MDL - Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
- MtCO₂ - *million tones of Carbon dioxide*
- NDCs - Contribuições Nacionalmente Determinadas
- ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
- ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
- OMM - Organização Meteorológica Mundial
- ONU - Organização das Nações Unidas

PNUD - Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento Mundial

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RCEs - Reduções Certificadas de Emissões

RFCs - Razões integrativas para preocupação

SAR - Segundo Relatório de Avaliação

SR15 - Relatório Especial sobre o Aquecimento Global de 1,5°C

SRCCCL - Relatório Especial sobre Mudança Climática e Terra

SROCC - Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança

TAR - Terceiro Relatório de Avaliação

UNFCC- Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificação da Tese	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Transição Energética.....	16
2.1.1 Trilema Energético.....	18
2.1.2 Quatro transformações na política energética.....	19
2.2 A Convenção Quadro das Nações Unidas para Alterações Climáticas	21
2.2.1 Conferência das Partes (COP).....	23
2.2.2 Protocolo de Quioto	24
2.2.3 Acordo de Paris.....	26
2.3 A Importância do Direito Ambiental	28
3. CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO	30
3.1 Relatórios de Avaliação do IPCC	31
3.1.1 Relatório especial sobre o impacto do aquecimento global a 1,5°C.....	33
3.2 CCS- Carbon Capture and Storage.....	57
3.2.1 Armazenamento no Fundo Oceânico	66
3.2.2 Global CCS Institute.....	68
4 ESTUDO DE CASO: O Projeto “Northern Lights”	77
4.2 Equinor.....	77
4.3 Northern Lights.....	82
4.3.1 Linha temporal do desenvolvimento da Northern Lights	86
5 CONCLUSÃO	98
6 REFERÊNCIAS	102

1. INTRODUÇÃO

O Gás Carbónico (CO₂), também conhecido como Dióxido de Carbono, é um composto químico gasoso que está presente na atmosfera e é o responsável por provocar graves desequilíbrios no efeito estufa do planeta Terra. Uma característica desse gás é que ele é inodoro e incolor, assim sendo difícil a sua detecção visual. Encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono, o carbono é essencial para a vida no planeta, sendo um dos compostos principais para a fotossíntese. Está presente também no processo de respiração de organismos, plantas e árvores que o liberam para a atmosfera.

As plantas e árvores são compensadoras de dióxido de carbono, o que significa que em condições de calor e seca, elas fecham os poros para impedir a perda de água e começam a realizar a respiração noturna, conhecida como fotorrespiração, onde elas consomem o oxigênio e produzem o dióxido de carbono. A presença do dióxido de carbono na atmosfera não é preocupante, mas sim a sua alta concentração, que gera o efeito estufa que contribui para o aquecimento global.

O termo “aquecimento global” é utilizado para se referir ao aumento das temperaturas atmosféricas e oceânicas a nível global (mudanças climáticas), causado por diversos fatores naturais e humanos, gerando consequências graves para a sobrevivência humana e para o meio ambiente.

O início da Revolução Industrial demandou a utilização de grandes quantidades de petróleo e carvão mineral como fontes de energia para as fábricas (energias que emitem um alto nível de carbono), e devido a isso no final do século XVIII começou a existir uma alta concentração de dióxido de carbono na atmosfera, e desde então tem sido progressivo.

Hoje, cerca de 80% da energia mundial provém de fontes fósseis, e o crescimento populacional continua, o que significa que o mundo exigirá ainda mais energia do que nos dias de hoje, então enquanto trabalhamos para substituir cada vez mais as energias fósseis por renováveis, também teremos que produzir mais energia no geral.

Uma das formas de combater as alterações climáticas é a nomeada Geoengenharia (geoengineering), capaz de desenvolver tecnologias para compensar

parcialmente os impactos. A geoengenharia é uma tecnologia interessante para resolver o problema da libertação de carbono na atmosfera, pois atua no meio ambiente, e demonstra como passar por uma transição energética diminuindo o uso dos combustíveis fósseis.

Para reduzir as emissões de carbono, o primeiro método utilizado foi a chamada transição energética, assunto que inicia o segundo capítulo desta tese. A transição energética foi um meio de pensar em como reduzir o uso de energias fósseis e começar a substituir por energias renováveis que impactassem menos o meio ambiente e emitissem menos carbono para a atmosfera. A partir daí, metas ambiciosas foram definidas com o objetivo de cumprir as “metas climáticas”, estabelecidas no Acordo de Paris.

O Acordo de Paris é um marco no processo multilateral de mudança climática porque, pela primeira vez um acordo vinculativo reúne todas as nações em prol de uma causa comum, para empreender esforços ambiciosos, combater a mudança climática, e se adaptar aos seus efeitos. O fim do segundo capítulo vai de encontro a uma análise jurídica das questões ambientais, pois apresentam desafios significativos para a ordem jurídica internacional tradicional. Em primeiro lugar, representam desafios para as funções legislativas, administrativas e judiciais do direito internacional; em segundo lugar, pela maneira onde os arranjos jurídicos internacionais são atualmente organizados (ao longo das linhas territoriais); e em terceiro, os vários atores que são considerados membros da comunidade internacional e participantes nos vários processos e práticas da ordem jurídica internacional. A partir da jurisprudência desse âmbito o direito vai ganhando forma e aperfeiçoando suas resoluções.

Após o laudo do IPCC sobre o possível colapso global devido ao aquecimento global, muitas empresas intensificaram suas pesquisas para encontrar de fato um método de remoção ou compensação de carbono no meio ambiente. Existem várias tecnologias para capturar CO₂ a partir dos combustíveis fósseis, e esse é o tema que vai iniciar o nosso terceiro capítulo, pois trata do método utilizado para tentar se obter um resultado em grande escala. A interação entre tecnologia, ambiente e exploração de fósseis, criou o CCS, processo que ajuda a retirar grande quantidade de gás carbônico da atmosfera. Existem vários tipos de CCS, mas trabalhamos nesse capítulo com o método que é utilizado pelas grandes indústrias e usinas elétricas, por serem grandes emissoras de carbono. Essas indústrias iniciaram os testes para

capturarem o carbono emitido nas combustões dos fósseis. A importância do CCS, é para a diminuição ou mitigação das emissões dos gases efeito estufa.

Para entender melhor o procedimento dessa indústria, se inicia no quarto capítulo um estudo de caso da empresa Equinor, estatal de petróleo e gás da Noruega, equivalente a Petrobras do Brasil, uma empresa no ramo de energia, e estão com um projeto para a captura de carbono chamado “*Northern Lights*”, um projeto que se destaca dentre os outros, devido seu avanço, investimento e escala. O projeto está em andamento e promete ser um grande sucesso devido a sua alta precisão e tecnologia de capturar o carbono e armazená-lo em formações geológicas e no fundo do oceano.

O quinto e último capítulo fala sobre a conclusão desse projeto e se esse método de tecnologia vai ser eficiente para retirar o maior número de carbono da atmosfera até 2050, prazo em que o relatório da Agência Internacional de Energia, estabeleceu como preciso para a mudança.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral dessa dissertação foi explicar a necessidade da transição energética e verificar um método que minimize os impactos de gás carbônico no meio ambiente.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos que procuramos definir são:

- Identificar um método de compensação de carbono;
- Estudar o método de captura e armazenamento de carbono do meio ambiente;
- Analisar o método de captura e armazenamento de carbono por meio do estudo de caso, projeto “*Northern Lights*”, realizado por uma empresa norueguesa chamada Equinor.

1.3 Justificação da Tese

A captura de carbono é um dos mecanismos disponíveis com capacidade de utilizar energia fóssil enquanto limita, ao mesmo tempo, as emissões de carbono,

impedindo que essas sejam liberadas na atmosfera. Isso porque é impossível haver uma transição rápida para fontes de energia limpas que possam permitir que cheguemos ao NET ZERO em 2050, como mencionado no relatório da Agência Internacional de Energia.

Com a proibição do uso de fósseis, seria impossível de se atingir as emissões negativas de carbono em poucas décadas, mas já com seu uso parcial, e a captura das emissões, é possível haver uma transição bem-sucedida. Esse é o plano da maior parte dos países do mundo que já possuem promessas de NET ZERO, uns para 2040, uns para 2050, e outros para 2070. Ao abrigo do Acordo de Paris, os países já adotaram promessas unilaterais, para chegar ao NET ZERO. Importante salientar que o termo NET ZERO, não significa emissões zero, e sim o ser “neutral” em termos de carbono para impedir que haja o aquecimento global. A captura de carbono pode ser um dos mecanismos fundamentais para chegarmos a esse mundo de NET ZERO.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura dessa dissertação consiste inicialmente num breve resumo histórico sobre os combustíveis fósseis, como foi seu uso ao longo dos anos e como se intensificou após a Revolução Industrial, criando a necessidade de uma transição energética, para o uso de combustíveis renováveis e menos emissores de CO₂.

A acumulação de gases efeito estufa na atmosfera gerou um grave problema de aquecimento global, que começou a preocupar os países em relação a qualidade de vida humana, e das gerações futuras. Com isso o Direito entra como o grande regulador, a Convenção Quadro das Nações Unidas e todos os protocolos que a implementam até o Acordo de Paris, servem para os países se unirem através de um acordo jurídico vinculativo para tomarem medidas de modo a evitar/mitigar as mudanças climáticas. Essas medidas fazem com que o Direito ambiental seja dos mais relevantes e importantes no cenário internacional.

2.1 Transição Energética

Nos últimos dois séculos o sistema energético moderno foi marcado pelo uso significativo e crescente do petróleo, carvão e gás natural, os chamados combustíveis fósseis. O carvão foi substituindo gradualmente a madeira e a biomassa no século XIX, durante a Revolução Industrial, e logo após a Segunda Guerra Mundial foi superado pelo petróleo, que ficou conhecido como a fonte de energia dominante do mundo.¹

Atualmente as energias renováveis estão entre as fontes de energia que mais crescem no cenário mundial, mas devido seu processo lento e demorado, levam tempo para ganhar relevância no *mix* global energético, o que faz com que os combustíveis fósseis ainda sejam a energia predominante, fornecendo cerca de 80% do consumo mundial.² As mudanças energéticas podem ser consideradas como adições energéticas e não transições, porque mesmo que o carvão tenha perdido relevância no mercado em relação ao petróleo e gás natural, ele ainda continua a ter uso.³

Tendências como o consumo de energia, crescimento populacional, aumento da riqueza, movimentação da economia, entre algumas outras questões sociais, aceleraram após a Segunda Guerra Mundial, pois a exploração de combustíveis fósseis desencadeou um período calmo energético, transformando sociedades humanas e valores culturais em democracias menos violentas.⁴ Hoje nos deparamos com essa crescente marca de “aceleração” no nosso meio ambiente, onde a economia cada vez mais transgride limites, que acabam por fornecer conforto e segurança para a humanidade, e ao mesmo tempo ameaçando o funcionamento dos ecossistemas e desencadeando as mudanças climáticas.⁵

Estudantes da área de Ciências Sociais e Relações Internacionais por muito tempo negligenciaram as questões energéticas, pois os debates sobre políticas energéticas ganharam espaço, e o petróleo e gás foram cada vez mais introduzidos

¹ GRAAF, Thijs Van de.; SOVACOOOL, Benjamin K. - Global energy politics, p. 14.

² Instituto E+ Transição Energética. - Manual de termos e conceitos: Transição Energética, p. 7.

³ YORK, Richard; BELL, Shannon. E. - Energy transitions or additions? Why transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy, p. 40 – 41.

⁴ STEFFEN, Will.; BROADGATE, Wendy.; DEUTSCH, Lisa.; GAFFNEY, Owen.; LUDWIG, Cornelia. - The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration, p. 82.

⁵ STEFFEN, Will.; BROADGATE, Wendy.; DEUTSCH, Lisa.; GAFFNEY, Owen.; LUDWIG, Cornelia. - The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration, p. 91.

na geopolítica mundial. O conceito de segurança energética se tornou um negócio atrativo, rentável e gerando grande escopo de trabalho. O neomercantilismo, liberalismo, ambientalismo, igualitarismo, foram visões criadas pelos vários *stakeholders* a partir das discussões sobre o sistema energético, refletindo em diferentes ideologias, visões de mundo, de negócio, sistemas de valor e poder (*soft e hard power*).⁶

Uma situação em comum, é que mesmo existindo todas essas ideologias, não significava o acesso igual ao sistema energético para todos os países. Foi polarizada no cenário mundial, portanto os Estados mais ricos, tinham melhores opções de investimento e desenvolvimento de energia. Com mais tecnologia, mais gasto de energia, mas esses excessos começaram a ter influência para afetar diretamente as riquezas naturais do mundo: a natureza e seus ecossistemas.⁷

A temperatura média global começou a aumentar nas últimas décadas, e junto a isso os impactos das mudanças climáticas. Para conter essas alterações, a utilização de combustíveis fósseis começou a ceder palco para um modelo mais sustentável, as fontes renováveis.⁸ Antes, a competição entre os Estados para se tornarem cada vez mais tecnológicos na utilização dos combustíveis fósseis, se tornou uma corrida para a transição energética mais sustentável.

O processo de transição energética se intensificou, motivado pelo aumento dos custos de recuperação de recursos fósseis, propiciando o avanço de tecnologias de aproveitamento das renováveis. É crescente a conscientização de que a transição engloba também a adequação de outros setores da economia para fontes mais limpas, através da migração para a utilização de biocombustíveis e de processos de eletrificação, principalmente na mobilidade e na indústria, como princípio básico para que os impactos da mudança climática sejam travados de forma significativa.⁹

A evolução das tecnologias e o aumento de escala de produção de equipamentos menos poluentes como, turbinas eólicas (*onshore e offshore*), painéis solares, veículos elétricos, trazem rivalidade para o mercado face as opções relacionadas às indústrias e sistemas de energia movidos a combustíveis fósseis e emissores de gases efeito estufa (GEE).¹⁰

⁶ STRINE, Leo. - Toward Fair and Sustainable Capitalism, p. 3.

⁷ ROMEIRO, Ademar, R. - Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica.

⁸ SRINIVAS, Krishna, R. – Climate Change, technology transfer and intellectual property rights, p. 1-5.

⁹ SRINIVAS, Krishna, R. – Climate Change, technology transfer and intellectual property rights, p. 6-9.

¹⁰ Instituto E+ Transição Energética. - Manual de termos e conceitos: Transição Energética, p.5.

Os termos “transições energéticas” podem ser compreendidos como a transição de fontes de energia de alto carbono e altas quantidades de uso de energia, para uma energia de fontes de baixo carbono e diminuição do consumo de energia.

Este é um entendimento dominante, impulsionado por um discurso antropocêntrico pós político.¹¹ No entanto, pouco representa a realidade das transições energéticas, na maior parte dos países do sul global. Muitos países ainda dependem de técnicas antigas (tradicionalistas) de fontes de energia poluentes e mais perigosas, como o uso da querosene para iluminação e madeira ou carvão para cozinhar. A partir desse ponto, surgiu um debate de urgência versus justiça para as regiões do sul global, que basicamente refere a mitigação de GEE e formas mais limpas de energia, combinado ao acesso a energia e progresso no desenvolvimento humano como a redução da pobreza, melhoria da qualidade de vida, gênero e equidade racial. Esses dois pontos foram reunidos na última década através da descentralização de pequena escala das tecnologias de energia renovável.¹²

2.1.1 Trilema Energético

O Conselho Mundial de Energia criou uma ferramenta para avaliar a capacidade de um país em promover a energia sustentável por meio de três dimensões, o chamado: Trilema Energético. Sistemas de energia saudáveis são ambientalmente sustentáveis, equitativos e seguros, apresentando um trilema cuidadosamente equilibrado e gerenciado entre as três dimensões. Conservar esse equilíbrio no cenário de rápida transição para sistemas descentralizados, descarbonizados e digitais é desafiador com o risco de trocas passivas entre prioridades igualmente críticas.¹³

Os líderes energéticos gerenciam as demandas concorrentes do trilema. O Índice Mundial do Trilema de Energia é uma medição anual da performance do desempenho do sistema nacional de energia em cada uma das três dimensões: A Segurança Energética, que mede a capacidade de uma nação atender a demanda energética atual e futura de forma transparente, ou seja, à dependência do país, das

¹¹ TAVARES, Felipe, B. - Política Energética em um contexto de transição: A construção de um regime de baixo carbono, p. 26-34.

¹² KUMAR, Ankit; HÖFFKEN, Johanna; POLS, Auke. – Dilemmas of energy transitions in the global south: balancing urgency and justice, p. 4.

¹³ MALTA, Sérgio. - O trilema da energia elétrica, p. 1-2.

importações líquidas para o consumo total de energia, da diversidade na geração de energia e do armazenamento de energia; A Equidade Energética, que avalia o potencial de um país de fornecer acesso universal de energia confiável, acessível e abundante para o uso comercial e doméstico. Está relacionado ao acesso da população à eletricidade e aos preços da energia elétrica, do diesel e da gasolina; e Sustentabilidade Ambiental, que está relacionada à intensidade energética, à geração de eletricidade de baixo carbono e às emissões de CO₂ per capita.¹⁴

O Índice Mundial do Trilema de Energia classifica atualmente o desempenho energético de 128 países nas três dimensões com base em dados globais e nacionais, incluindo áreas recomendadas para melhorias na coerência política, e inovação de políticas integradas, ajudando a desenvolver sistemas de energia bem regulados. Seu objetivo é relatar *insights* sobre o desempenho energético relativo de um país no que diz respeito às três dimensões.

Após o fornecimento dos dados o índice ressalta os desafios de um país no equilíbrio do Trilema e oportunidades de melhorias no cumprimento das metas energéticas agora e no futuro. O índice serve como veículo de comunicação aos formuladores de políticas, líderes energéticos e o setor de investimentos e financeiros, as tendências de cada país ao longo do tempo.¹⁵

2.1.2 Quatro transformações na política energética

Estamos à beira de quatro grandes transformações na política energética global, que além de perturbar a maneira como produzimos e consumimos energia, também transformará nossas economias, sociedades e sistemas políticos ao longo da jornada. Os choques anteriores das transformações energéticas serão sentidos também nas futuras salas de reuniões corporativas, gabinetes políticos, e famílias individuais.¹⁶

Essas transformações têm implicações importantes na forma como é estudada e definida a política global de energia. No passado, a política energética global tem

¹⁴ WORLD ENERGY COUNCIL. - Trilema energético: segurança-equidade-sustentabilidade, uma perspectiva nacional.

¹⁵ WORLD ENERGY COUNCIL. – World energy trilemma index.

¹⁶ BOLTON, Patrick; KACPERCZYK, Marcin T. - Global Pricing of Carbon-Transition Risk, p. 7-8.

sido o sinônimo da luta pelo petróleo, do jogo de poder entre países ricos em petróleo, companhias petrolíferas privadas e países de consumo ocidental.¹⁷

A mudança climática é afrontosa, e representa uma ameaça existencial à vida como a conhecemos em nosso planeta. Inúmeros relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), demonstraram a necessidade urgente de descarbonizar a economia global, tornaram-se mais alarmantes sobre as consequências trágicas para nossos ecossistemas se não nos atentarmos aos seus avisos.¹⁸ As mudanças climáticas são culpadas pelas muitas atividades humanas, incluindo agricultura e desmatamento, mas de longe o principal culpado é a queima intensiva de combustíveis fósseis. Os mesmos são responsáveis por 80% das emissões de dióxido de carbono, e o setor energético também é uma fonte chave de outros gases de efeito estufa, como o metano. Então, para reparar as mudanças climáticas, é preciso mudar a forma como produzimos e consumimos energia. A mudança climática é principalmente um problema energético.¹⁹

A partir da metade do século XX, com o avanço do conhecimento científico, vários países iniciaram o processo de busca por modelos de desenvolvimento que integrem a preservação do meio ambiente e minimizem os impactos negativos causados pela ação antrópica no planeta. Ficou evidente que o problema do aquecimento no planeta está diretamente ligado à dependência global dos combustíveis fósseis, e a partir dessa conscientização, o mundo vem caminhando na direção da redução das emissões dos gases de efeito estufa.²⁰

Em 1972, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Conferência de Estocolmo, foi a primeira reunião global sobre o tema, trazendo grandes debates sobre as questões referentes ao meio ambiente. Sua declaração oficial designou a premissa de que as gerações futuras e a população mundial teriam o direito irrevogável de viverem em um ambiente com saúde e sem degradações resultantes da ação humana do planeta.²¹

¹⁷ GRAAF, Thijs Van de.; SOVACOOOL, Benjamin K. - Global energy politics, p. 14.

¹⁸ SILVÉRIO, Amanda, C. - Planeta em ebulição: mudanças climáticas frente à responsabilização civil ambiental: pressupostos e paradigmas na sociedade de risco, p. 753-754.

¹⁹ GRAAF, Thijs Van de.; SOVACOOOL, Benjamin K. - Global energy politics, p. 15.

²⁰ FERREIRA, Patrícia, M. – Alterações climáticas e desenvolvimento. Fundação fé e cooperação, p. 31 – 33.

²¹ LAGO, André. A. C. D. - Estocolmo, Rio, Joanesburgo - O Brasil e as três conferências ambientais das nações unidas, p. 19.

2.2 A Convenção Quadro das Nações Unidas para Alterações Climáticas

Após a Conferência de Estocolmo, no Rio de Janeiro, em 1992, representantes de 179 países consolidaram uma agenda global para minimizar os infortúnios ambientais mundiais, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.²² Na Rio 92, cresceu a ideia do desenvolvimento sustentável, buscando um modelo de crescimento econômico e social aliado à preservação ambiental e ao equilíbrio climático em todo o planeta.

Nesse contexto, foi elaborada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, onde foram definidos os compromissos e obrigações para todos os países Parte, para garantir o cumprimento e os recursos financeiros para custear as despesas.²³ A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC)²⁴ tem o propósito de:

Artigo 2º

“O objectivo final desta Convenção e de quaisquer instrumentos legais que a Conferência das Partes possa vir a adoptar é o de conseguir, de acordo com as disposições relevantes da Convenção, a estabilização das concentrações na atmosfera de gases com efeito de estufa a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. Tal nível deveria ser atingido durante um espaço de tempo suficiente para permitir a adaptação natural dos ecossistemas às alterações climáticas, para garantir que a produção de alimentos não seja ameaçada e para permitir que o desenvolvimento económico prossiga de uma forma sustentável.”²⁵

As anomalias indicadas pelo IPCC e a tendência do aquecimento global, foram pontos importantes para que a Convenção estipulasse como seu principal objetivo

²² FERREIRA, Adriano. F.; TAVARES, Dagmar, B.; MONTEIRO, Kayla, S. - A evolução do direito ambiental na seara internacional sob o prisma dos tratados e convenções internacionais, p. 5-8.

²³ BODANSKY, Daniel.; BRUNNÉE, Jutta.; RAJAMANI, Lavanya. - Introduction to International Climate Change Law, p. 2-6.

²⁴ *United Nations Framework Convention on Climate Change*

²⁵ UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, p.4.

estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa (GEE)²⁶ na atmosfera.²⁷ Os países signatários da Convenção, se comprometeram a elaborar uma estratégia global para proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras, com base na equidade e em conformidade com suas respectivas capacidades (Artigo 3º, n. 1)²⁸.

Os países desenvolvidos que participam da Convenção devem tomar o primeiro passo no combate à mudança do clima e seus efeitos, devendo considerar as necessidades específicas dos países em desenvolvimento, em especial os vulneráveis aos efeitos negativos da mudança climática. (Artigo 3º, n. 2)²⁹

Entre os compromissos assumidos por todas as partes ³⁰, estão:

- Implementar programas nacionais e/ou regionais com medidas para mitigar a mudança do clima e se adaptar a ela;
- Elaborar inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa;
- Promover e cooperar na educação, treinamento e conscientização pública em relação à mudança do clima;
- Promover e cooperar em pesquisas científicas, tecnológicas, técnicas, socioeconômicas e outras, em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema do clima;
- Promover o desenvolvimento, a aplicação e a difusão de tecnologias, práticas e processos que controlem, reduzam ou previnam as emissões antrópicas de gases de efeito estufa.

Ainda, os países desenvolvidos se encarregam dos compromissos específicos como: Adotar políticas e medidas nacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar a mudança do clima; transferir recursos tecnológicos e financeiros para países em desenvolvimento; e auxiliar os países em

²⁶ Os maiores gases de efeito estufa causados pela atividade humana são: dióxido de carbono, ozônio troposférico, óxido nitroso e metano.

²⁷ SCHOTT, Fábio Saraiva. A Formulação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e o Protocolo de Quioto e a Posição de Negociação do Brasil, p.1.

²⁸ UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, p.4.

²⁹ UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, p.4.

³⁰ Ministério do Meio Ambiente – Compromissos estabelecidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (UNFCCC).

desenvolvimento, particularmente os mais vulneráveis à mudança do clima, na implementação de ações de adaptação e na preparação para a mudança do clima, reduzindo os seus impactos. (Artigo 4º – Compromissos)³¹.

A Convenção estabeleceu mecanismos operacionais de financiamento para mitigação e adaptação, com intuito de facilitar a transferência de recursos financeiros aos países em desenvolvimento, como o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF)³² e o Fundo Verde para o Clima (GCF)³³.

Os Fundos operam com o apoio de instituições que funcionam como agências implementadoras, como o Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento Mundial (PNUD)³⁴, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)³⁵ e o Banco Mundial. Para fornecer recursos requeridos pelos projetos dos países em desenvolvimento que gerem benefícios ambientais globais, na área da mudança do clima, biodiversidade, proteção da camada de ozônio e recursos hídricos internacionais.

2.2.1 Conferência das Partes (COP)

A Convenção Quadro, possui um órgão supremo chamado “A Conferência das Partes (COP)”³⁶, que reúne anualmente os países Parte nas conferências mundiais. Só podem ser tomadas as decisões se forem aceitas unanimemente pelas Partes, sendo soberanas e valendo para todos os países signatários.³⁷

O objetivo da COP é manter regularidade e tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos que se possa adotar. A COP também é responsável por: Examinar periodicamente as obrigações das Partes e os mecanismos institucionais estabelecidos pela Convenção; promover e facilitar o intercâmbio de informações sobre medidas adotadas pelas Partes para enfrentar a mudança do clima e seus

³¹ UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, p.5.

³² GEF – About us.

³³ Green Climate Fund – About us GCF.

³⁴ PNUD – Objetivos do desenvolvimento sustentável.

³⁵ UN Environment Programme – About PNUMA.

³⁶ A Conferência das Partes (COP), são responsáveis por avançar os objetivos dos Estados na implementação da Convenção Quadro. As diferentes COPs, atingem novos resultados, e os resultados podem se transformar em um novo protocolo, ou seja, os protocolos surgem em parte das COPs. É um mecanismo Intergovernamental para implementar a Convenção Quadro.

³⁷ GAMA, Pollyana, C. F. - A força vinculatória das decisões consensuais das conferências das partes dos acordos multilaterais ambientais, p. 12,13.

efeitos; promover e orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento periódico de metodologias comparáveis, a serem definidas pela Conferência das Partes para elaborar inventários de emissões de gases de efeito estufa por fontes e de remoções por sumidouros; examinar e adotar relatórios periódicos sobre a implementação desta Convenção.³⁸

Figura 1- Linha do Tempo das Realizações das COPS



Fonte: Ministério do Meio Ambiente Brasil³⁹

Os países signatários se reúnem na COP para discutir o progresso de implementação da Convenção Quadro.⁴⁰

2.2.2 Protocolo de Quioto

O Protocolo de Quioto, criado em 1997, implementou um tratado complementar à Convenção Quadro, designando metas de redução de emissões para os países

³⁸ O Secretariado da Convenção possui sede em Bonn, na Alemanha, e são responsáveis por manterem atualizadas todas as informações relativas à Convenção no site da UNFCCC.

³⁹ Na figura 1, são apresentadas apenas 24 COPs (até 2018). A COP25 acabou por ser cancelada em 2019, por questões internas da política do Chile (país que sediaria a reunião). A última COP, COP26, realizada em Glasgow na Escócia em 2021, foi adiada por 1 ano devido a situação do COVID-19.

⁴⁰ VIOLA, Eduardo. O regime internacional de mudança climática e o Brasil, p. 29.

desenvolvidos e os que apresentavam, naquela altura, economia em transição para o capitalismo. O capitalismo é um dos motivos históricos responsáveis pela mudança atual do clima.⁴¹

O Protocolo entrou em vigor 8 anos depois de sua criação, em fevereiro de 2005, devido a exigência da ratificação de pelo menos 55% do total dos países-membros da Convenção, e que eles também fossem responsáveis por, pelo menos, 55% do total das emissões em 1990.⁴²

Entre 2008 – 2012, durante o primeiro período de compromisso, os 37 países industrializados e a Comunidade Europeia comprometeram-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa para uma média de 5% em relação aos níveis de 1990. Em 2013 – 2020, o segundo período de compromisso, as Partes se comprometeram a reduzir as emissões em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990. Cada país teve autonomia de negociar a sua própria meta de redução, em função da sua visão sobre a capacidade de atingi-la no período considerado. Entre os principais emissores de GEE, somente os Estados Unidos não ratificaram o Protocolo, mesmo assim se manteve as responsabilidades e obrigações impostas pela Convenção.⁴³

Para auxiliar os países desenvolvidos e os de economia em transição para o capitalismo, a cumprirem suas metas de limitação ou redução de emissões, o Protocolo de Quioto contemplou três mecanismos de flexibilização: Comércio de Emissões⁴⁴, Implementação Conjunta⁴⁵ e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL)⁴⁶.

Entre os três mecanismos, o Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único que permite a participação dos países em desenvolvimento. Por meio do MDL, um país desenvolvido ou de economia em transição para o capitalismo pode comprar créditos de carbono, denominados como reduções certificadas de emissões (RCEs), em resultado de atividades de projeto desenvolvidas em qualquer país em desenvolvimento que tenha ratificado o Protocolo. Essa possibilidade ocorre desde

⁴¹ SILVA, Maria Luiza, S. Q. – Mudanças Climáticas: Uma análise à luz da Convenção-Quadro das Nações Unidas e do Protocolo de Quioto, p.27, 28.

⁴² ANDRADE, J. C. S; COSTA, P. - Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global, p. 29 – 33.

⁴³ HOVI, J.; SPRINZ, D. F.; BANG, G. - Why the United States did not become a party to the Kyoto Protocol: German, Norwegian, and US perspectives, p. 129-150.

⁴⁴ UNFCCC - Emissions Trading.

⁴⁵ UNFCCC - Joint implementation.

⁴⁶ UNFCCC - Framework convention on climate change.

que o governo do país onde ocorrem os projetos, concorde que a atividade é voluntária e contribui para o desenvolvimento sustentável nacional.⁴⁷

Com vista ao funcionamento do mecanismo, o proponente deve elaborar um documento de seu projeto, aplicando uma metodologia aprovada pelo Comitê Executivo do MDL.⁴⁸ Após a elaboração do documento, o projeto precisa ser autenticado por uma Entidade Operacional Designada (EOD) e aprovado pela Autoridade Nacional Designada (AND).

Quando aprovados e validados, os projetos são submetidos ao Conselho Executivo da UNFCCC para registro. A partir daí é iniciado o monitoramento e a verificação das reduções de emissões do gás de efeito estufa pertinentes ao projeto, para depois serem emitidas as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs).⁴⁹

2.2.3 Acordo de Paris

Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC em Paris, foi adotado um tratado internacional juridicamente vinculativo sobre mudanças climáticas, com o objetivo de “fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas” (Artigo 2.º/1)⁵⁰ e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças.⁵¹

O Acordo de Paris foi adotado por 196 países, em 2015, mas só entrou em vigor em 2016. O compromisso prevê limitar o aquecimento global abaixo de 2°C, ou seja, limitar ao máximo de 1,5° graus Celsius, em comparação com os níveis pré-industriais. Para atingir essa meta de temperatura de longo prazo, os países pretendem atingir o pico global de emissões de GEE rápido, para alcançar um clima neutro em meados do século.⁵²

Para o alcance do objetivo final do Acordo, até 2020, os governos se envolveram na construção de seus próprios compromissos na chamada Contribuições Nacionalmente Determinadas, no inglês como “*Nationally Determined Contributions*” (NDCs)⁵³.

⁴⁷ ANDRADE, J. C. S; COSTA, P. - Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global, p. 37- 40.

⁴⁸ SIRVINSKAS, Luís Paulo. Manual do direito ambiental, p.483.

⁴⁹ SIRVINSKAS, Luís Paulo. Manual do direito ambiental, p.484.

⁵⁰ PARLAMENTO - Acordo de Paris.

⁵¹ SILVA, Augusto, S; FERNANDES, João Pedro, M. – Acordo de Paris: 2015-2020, p. 4.

⁵² Acordo de Paris (Artigo 2.º/1/a/b/c).

⁵³ UNFCCC – Nationally determined contributions NDCs.

Nas NDCs, os países comunicam as ações que tomarão para reduzir as emissões de GEE, a fim de atingir as metas do Acordo de Paris, e comunicam as ações para construir resiliência e se adaptar aos impactos do aumento das temperaturas.⁵⁴

Aos países que necessitam, o Acordo de Paris fornece uma estrutura para apoio financeiro, técnico e de capacitação. Enquanto aos países desenvolvidos reafirma que devem assumir a liderança na prestação de assistência financeira aos países menos dotados e mais vulneráveis, e encoraja contribuições voluntárias de outras Partes.

Na perspectiva tecnológica o Acordo fala da visão de realizar o desenvolvimento e a transferência de tecnologia para melhorar a resiliência às mudanças climáticas, e reduzir as emissões de gases efeito estufa. Ele estabelece uma estrutura de tecnologia para propiciar orientação abrangente para o bom funcionamento do Mecanismo de Tecnologia. O Mecanismo está acelerando o desenvolvimento e a transferência de tecnologia por meio de suas políticas e implementação.

Não são todos os países em desenvolvimento que possuem a capacidade suficiente para lidar com muitos dos desafios trazidos pelas mudanças climáticas. Como efeito, o Acordo de Paris dá grande ênfase à capacitação relacionada ao clima para os países em desenvolvimento e solicita a todos os países desenvolvidos que ampliem o apoio às ações de capacitação nos países em desenvolvimento.

Para monitorar o progresso do Acordo, os países estabeleceram uma estrutura de transparência aprimorada, no inglês “*Enhanced transparency framework*” (ETF). Sobre a ETF, os países apresentarão relatórios transparentes sobre as ações realizadas e o progresso na mitigação das mudanças climáticas, medidas de adaptação e apoio fornecido ou recebido, a partir de 2024. Também prevê procedimentos internacionais para a revisão dos relatórios apresentados.⁵⁵

As informações fornecidas pela ETF irão suprir o balanço global, que avaliará o progresso coletivo em direção às metas climáticas de longo prazo. O que incentiva

⁵⁴ SILVA, Augusto, S; FERNANDES, João Pedro, M. – Acordo de Paris: 2015-2020, p.4.

⁵⁵ RUVIARO, Eduardo, A; GROSSMANN, Elias. – A importância da estrutura de transparência aprimorada prevista no acordo de Paris para o avanço da governança climática, p.8.

os países, de acordo com as recomendações, estabelecerem planos cada vez mais ambiciosos nas rodadas seguintes.⁵⁶

Até agora o que foi alcançado com o Acordo de Paris, desde sua entrada em vigor, foi a geração de soluções de baixo carbono e novos mercados. Cada vez mais países, regiões, cidades e empresas estão estabelecendo metas de neutralidade de carbono. As soluções de carbono zero (ou carbono negativo), estão se tornando competitivas em todos os setores econômicos. Essa tendência é mais perceptível nos setores de energia e transporte, e criou oportunidade de negócio para os pioneiros.⁵⁷

Em 2030 se espera que as soluções de carbono zero, possam ser competitivas em setores que representam mais de 70% das emissões globais.

2.3 A Importância do Direito Ambiental

Desde a Conferência de Estocolmo, o Direito ganhou uma nova missão, a de proteger o meio ambiente e se fazer justo diante as leis estabelecidas. Os princípios gerais e regras do direito ambiental internacional foram refletidos em tratados, atos vinculativos de organizações internacionais, práticas estatais e *soft law*. Os princípios são gerais porque são potencialmente aplicáveis a todos os membros da comunidade internacional, em toda gama de atividade que eles realizam ou autorizam, e em relação a proteção de todos os aspectos do ambiente.

Com o grande escopo de acordos internacionais e atos, foi possível discernir regras e princípios gerais que tenham amplo apoio e são frequentemente endossados na prática, como:⁵⁸

1. Os Estados possuem soberania sobre seus recursos naturais e a responsabilidade de não causar danos ambientais transfronteiriços.

⁵⁶ RUVIARO, Eduardo, A; GROSSMANN, Elias. – A importância da estrutura de transparência aprimorada prevista no acordo de Paris para o avanço da governança climática, p.12.

⁵⁷ FERREIRA, Patrícia, M. – Alterações climáticas e desenvolvimento. Fundação fé e cooperação, p. 90, 91.

⁵⁸ SANDS, Philippe; PEEL, Jacqueline; AGUILAR, Adriana Fabra; MACKENZIE, Ruth. - Principles of International Environmental Law, p. 187.

(Obrigação refletida no Princípio 21 da Declaração de Estocolmo e princípio 2 da Declaração do Rio);

2. O princípio da ação preventiva;
3. O princípio da cooperação;
4. O princípio do desenvolvimento sustentável;
5. O princípio da precaução;
6. O princípio do poluidor-pagador;
7. O princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada.

Um obstáculo comum desses princípios é sua interpretação, que muitas vezes acabam por ser conflitantes, na ausência de uma autoridade judicial. É difícil estabelecer os parâmetros ou o *status* jurídico internacional necessário de cada princípio ou regra geral. Acabam por ser baseados na lei habitual, de um contexto jurídico internacional, ou seja, as referências são encontradas nos preâmbulos de tratados e outros atos internacionais, e na jurisprudência dos tribunais e tribunais internacionais.⁵⁹

Um exemplo, é o caso de jurisprudência da “*Fundação Urgenda X Países Baixos*”, onde as principais leis do julgamento foram baseadas na Constituição dos Países Baixos e na Convenção Europeia sobre Direitos Humanos. Sobre o caso: “A Fundação Urgenda, um grupo de ambientalistas holandês, junto a 900 cidadãos holandeses processaram o Governo holandês, exigindo que ele se esforçasse mais para prevenir as mudanças climáticas globais. Foi ordenado pelo tribunal em Haia que o Estado holandês limitasse as emissões de GEE à 25% (abaixo dos níveis de 1990 a 2020), considerando a promessa existente do governo de reduzir as emissões em 17% insuficiente para cumprir a contribuição justa do Estado em direção a meta da ONU sobre manter o aumento da temperatura global abaixo de dois graus Celsius. O tribunal concluiu que o Estado tem o dever de tomar medidas de mitigação das mudanças climáticas devido à gravidade das consequências das mudanças climáticas e ao grande risco de mudanças climáticas ocorrerem. Para essa conclusão, o tribunal citou o artigo 21º da Constituição neerlandesa; Metas de redução de emissões da UE; princípios nos termos da Convenção Europeia sobre Direitos Humanos; o princípio "sem dano" do direito internacional; a doutrina da negligência

⁵⁹ SANDS, Philippe; PEEL, Jacqueline; AGUILAR, Adriana Fabra; MACKENZIE, Ruth. - Principles of International Environmental Law, p. 188.

perigosa; o princípio da justiça, o princípio da precaução e o princípio da sustentabilidade incorporado na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas; e o princípio de um alto nível de proteção, o princípio da precaução e o princípio da prevenção incorporado na política climática europeia. O tribunal não especificou como o governo deve cumprir o mandato de redução, mas ofereceu várias sugestões, incluindo negociação de emissões ou medidas fiscais.

Esta é a primeira decisão de qualquer tribunal do mundo ordenando aos Estados que limitem as emissões de gases de efeito estufa por razões que não sejam mandatos estatutários.”⁶⁰ Casos como esse, irão se multiplicar cada vez mais no cenário internacional porque no fundo, é uma nova maneira dos vários grupos de interesse⁶¹ obrigarem os Estados a tomarem medidas sérias, para respeitarem aquilo que voluntariamente concordaram e aceitaram nos tratados, assim como no Acordo de Paris.⁶²

3. CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO

Depois do que foi referido no segundo capítulo é possível perceber que a questão das mudanças climáticas se tornou uma preocupação global, e passou a ser tratada com mais cuidado e atenção. Com o intuito de preservar as gerações futuras e proporcionar uma qualidade de vida digna para o ser humano, o terceiro capítulo desta dissertação vai falar sobre o IPCC, um órgão que veio com a função de atualizar e passar o status atual global do clima, e aconselhar aos Estados de como proceder para a melhor solução possível. Os relatórios de avaliação são uma forma de noticiar

⁶⁰ *Climate Change Litigation Databases – Urgenda Foundation v. State of the Netherlands. Non-U.S. Climate change litigation.*

⁶¹ A sociedade civil está se mobilizando de várias formas sobre as mudanças climáticas (seja por meio de protestos, boicotes, entre outras formas de pressão...). Entre todas as ferramentas, a lei parece se tornar o instrumento preferido do ativismo social. Essas mobilizações e uso da lei se manifestam por meio do “ativismo judicial”, nos Tribunais, tomando a forma de “litígio climático”.

⁶² Outro exemplo de caso é o “Tribunal Distrital de Haia, nos Países Baixos X Royal Dutch Shell”, onde a ação foi baseada nas alegações de que a Shell não reduziu as emissões globais de carbono, com isso, não agiu de acordo com o “padrão de cuidado não escrito” previsto na lei holandesa, ignorando a proteção do meio ambiente e dos cidadãos. Esta decisão se tornou interessante devido os argumentos subjacentes desenvolvidos pelo Tribunal. Afirmou que a Shell deve colocar em prática sua obrigação de redução através da política corporativa de grupo, mais amplo, incluindo suas subsidiárias no exterior.

e informar as pessoas sobre as ações que precisamos evitar e mudar, para chegarmos a uma melhora antes de um colapso natural.

O Relatório especial sobre o impacto do aquecimento global de 1,5°, é o relatório mais específico que trata dos obstáculos questionados dessa dissertação sobre o aquecimento global (todos os dados foram retirados do relatório oficial do IPCC). E o capítulo conclui com a explicação do método CCS, a grande aposta da tecnologia que pode ser responsável por tirar a maior quantidade possível de carbono da atmosfera, e ser o responsável por alcançarmos o NET ZERO.

O método é grande compensador de carbono, pois além de capturar o carbono, também o armazena longe da atmosfera. A tecnologia cresceu tanto que nasceu o CCS Institute, uma organização que passa o status global dos projetos de CCS no mundo, e seus avanços e desenvolvimento.

3.1 Relatórios de Avaliação do IPCC

As Nações Unidas para o meio ambiente, junto à Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um órgão que avalia a ciência relacionada às mudanças climáticas, conhecido como Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

O IPCC foi aprovado pela Assembleia Geral da ONU em 1988⁶³, mas no mesmo ano passou a ser estabelecido pelo OMM junto ao Programa das Nações Unidas sobre o meio ambiente (PNUMA), possuindo 195 países membros.⁶⁴ O Painel é responsável por determinar o estado do conhecimento sobre as mudanças climáticas, auxiliando os formuladores de políticas e contribuindo nas negociações internacionais.⁶⁵ São realizadas avaliações regulares sobre os impactos sociais e econômicos, potenciais riscos futuros e suas implicações, fornecendo também

⁶³ Resolução 43/53 da Assembleia Geral da ONU de 6 de dezembro de 1988.

⁶⁴ “Uma vez estabelecido no final de 1988 e tendo sido indicado como seu primeiro presidente o climatologista sueco Bert Bolin, o IPCC autonomizou-se da WMO e do PNUMA, empoderou-se, tornou-se o palco das disputas de caráter estratégico, e passou a receber considerável pressão externa através dos representantes de empresas, movimentos ambientais e dos governos. A presidência de Bert Bolin mobilizou a comunidade científica no sentido de envolvê-la na preparação dos relatórios dos grupos de trabalho.” - LEITE, J. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, p.656.

⁶⁵ “Dada a visibilidade que o problema das mudanças climáticas adquiria e as tensões que ele concentrava era muito importante ampliar ao máximo a credibilidade científica do IPCC.” - LEITE, J. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, p.656.

opções para a mitigação e adaptações, que seriam discutidas numa possível futura convenção internacional sobre o clima.⁶⁶

Essas avaliações consistem em identificar os acordos realizados entre as comunidades científicas de vários países, sobre tópicos relacionados às mudanças climáticas e onde elas ocorrem com maior intensidade e maior necessidade de observação.⁶⁷ Desde 1988, o IPCC entregou seis Relatórios de Avaliação (Tabela 1), e são os relatórios científicos mais abrangentes sobre mudanças climáticas produzidos no mundo⁶⁸. São neutros, garantem transparência e objetividade, mas não são prescritivos.

Tabela 1- Ano dos Relatórios de avaliação do IPCC

ANO	RELATÓRIO
1990	Primeiro Relatório de Avaliação (FAR)
1995	Segundo Relatório de Avaliação (SAR)
2001	Terceiro Relatório de Avaliação (TAR)
2007	Quarto Relatório de Avaliação (AR4)
2013/2014	Quinto Relatório de Avaliação (AR5)
2022	Sexto Relatório de Avaliação (AR6)

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Relatório do IPCC

O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC (FAR), desempenhou um papel decisivo no principal tratado internacional para a redução do aquecimento global e destacou a importância da cooperação internacional para enfrentar as consequências

⁶⁶ LEITE, J. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, p. 655.

⁶⁷ “O IPCC, que apenas revê a literatura científica produzida e não encomenda, promove ou financia pesquisas, impulsionasse indiretamente a internacionalização das ciências do clima, até então concentradas nos países centrais e na União Soviética.” - LEITE, J. C. - Controvérsias na climatologia...p.656.

⁶⁸ IPCC - História do IPCC.

das mudanças climáticas.⁶⁹ Após cinco anos, o Segundo Relatório de Avaliação (SAR), forneceu material importante para as decisões e o amparo do Protocolo de Quioto realizado em 1997. O Terceiro Relatório de Avaliação (TAR)⁷⁰, salientou os impactos das mudanças climáticas e a necessidade de adaptação às novas condições do clima. O Quarto Relatório de Avaliação (AR4)⁷¹, publicado em 2007, serviu de base para o acordo pós Protocolo de Quioto, com o objetivo de limitar o aquecimento a 2°C. O Quinto Relatório de Avaliação (AR5)⁷², foi responsável por fornecer o material científico para o Acordo de Paris.⁷³

O AR6⁷⁴ SYR é o Sexto Relatório de Avaliação, finalizado no início de 2022, sendo baseado em três Relatórios de avaliação de Grupos de trabalho, e em três Relatórios Especiais: O Aquecimento Global de 1,5°C (SR15), que foi solicitado sob o Acordo de Paris, pelos governos mundiais. O relatório especial sobre Mudança Climática e Terra (SRCCL), finalizado em agosto de 2019, e o Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (SROCC), finalizado em setembro de 2019. O intervalo de tempo entre os Relatórios se deveu a pandemia do COVID-19, que acabou por atrasar todo o planejamento para a publicação oficial do Relatório.

3.1.1 Relatório especial sobre o impacto do aquecimento global a 1,5°C.

Com o passar dos anos, os relatórios trouxeram atualizações sobre os assuntos anteriormente tratados, chamando atenção para os principais pontos que precisariam ser revisados, de acordo com as decisões tomadas nas conferências referentes a preocupação com o meio ambiente.⁷⁵

⁶⁹ ANDRADE, J. C. S; COSTA, P. - Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global, p. 32.

⁷⁰ IPCC – Terceiro Relatório de Avaliação.

⁷¹ IPCC – Quarto Relatório de Avaliação.

⁷² IPCC – Quinto Relatório de Avaliação.

⁷³ “A preparação dos relatórios dos três grupos de trabalho, atualmente entrando na sexta rodada, vem envolvendo um número cada vez maior de pesquisadores, sistematizando em seus cinco relatórios (1990, 1995, 2001, 2007 e 2014) o estado da arte do conhecimento das comunidades de cientistas que lidam com o clima e o aquecimento global.” - LEITE, J. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, p. 656-657.

⁷⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change. - Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

⁷⁵ “Cornelius (concelheiro chefe da WWT Internacional) fez uma menção especial à urgência dessas ações: “Cada semestre é importante para as pessoas e para a natureza - esta é a realidade do nosso mundo em aquecimento. Sem cortes rápidos e profundos nas emissões de carbono, enfrentaremos impactos mais severos nos ecossistemas, desde os recifes de corais ao gelo marinho do Ártico e mais

O primeiro relatório especial sobre os impactos do aquecimento global a 1,5°C⁷⁶, foi formulado no contexto e com o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas,⁷⁷ ao aumento do desenvolvimento sustentável e erradicar a pobreza. Esse relatório faz uma reavaliação sobre limitar o aquecimento global à 2,0°C (mencionado no Quarto Relatório de Avaliação), estipulando um novo valor, de 1,5°C, acima dos níveis “pré-industriais⁷⁸”.

Para melhor compreensão do relatório especial sobre aquecimento global a 1,5°C, os formuladores responsáveis subdividiram em quatro partes para ampliar o desenvolvimento do assunto. Primeira parte: Compreendendo o aquecimento global de 1,5°C; Segunda parte: Mudanças Climáticas projetadas, impactos potenciais e riscos associados; Terceira parte: Vias de emissão e transições do sistema consistentes com o aquecimento global de 1,5°C; Quarta parte: Fortalecimento da resposta global no contexto do desenvolvimento sustentável e esforços para erradicar a pobreza.

Compreender o aquecimento global a 1,5°C,⁷⁹ serve para mensurar os prós e os contras de conseguir ou não limitar a temperatura a esse grau. O gráfico do relatório (Figura 2)⁸⁰, mostra emissões acumulativas de CO₂ e uma previsão futura (sem a emissão), que acaba por determinar probabilidades.⁸¹

vida selvagem em risco”. – WWF - Novo relatório do IPCC sobre aquecimento de 1,5°C pede mais esforços para ação climática.

⁷⁶ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

⁷⁷ Segundo Cornelius, o documento (relatório especial sobre os impactos do aquecimento global a 1,5°C) destaca que as promessas existentes sob o Acordo de Paris não são suficientes para limitar o aquecimento a 2°C, muito menos 1,5°C, e quanto mais atrasamos o combate às emissões, maiores os impactos climáticos - alguns dos quais serão irreversíveis - e mais caras serão as soluções. – WWF - Novo relatório do IPCC sobre aquecimento de 1,5°C pede mais esforços para ação climática.

⁷⁸ Pré-Industrial: O período de vários séculos anterior ao início da atividade industrial em grande escala por volta de 1750. O período de referência 1850-1900 é usado para aproximar a temperatura média global da superfície (GMST) pré-industrial.

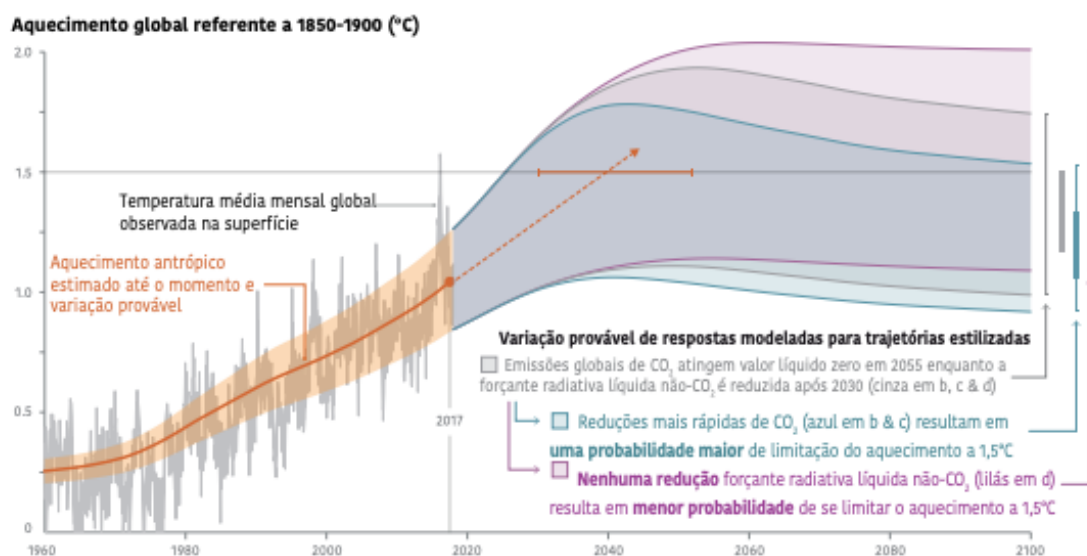
⁷⁹ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 7.

⁸⁰ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 9.

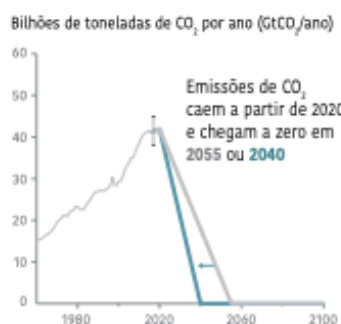
⁸¹ De acordo com Manuel Pulgar-Vidal (líder global da prática de Clima e Energia do WWF), “os governos pediram este relatório. Agora, em posse dele, eles devem atender à ciência para evitar os piores impactos das mudanças climáticas. Limitar o aquecimento a 1,5°C é possível, necessário e urgente. Ultrapassar o 1,5°C não é inevitável, mas não podemos atrasar mais a ação global; acrescentando que a diferença entre ‘impossível’ e ‘possível’ é a liderança política. O que precisamos agora é de um forte compromisso para garantir que vamos enfrentar o desafio que temos pela frente.” WWF - Novo relatório do IPCC sobre aquecimento de 1,5°C pede mais esforços para ação climática.

Figura 2- Emissões cumulativas de CO₂

a) Mudança observada na temperatura global e respostas modeladas para emissão antrópica estilizada e trajetórias de forçante

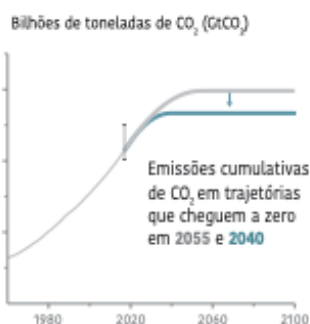


b) Trajetórias estilizadas de emissões globais líquidas de CO₂



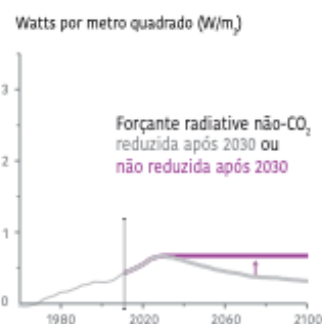
Reduções de emissão de CO₂ mais rápidas e imediatas limitam as emissões cumulativas de CO₂ mostradas no painel (c).

c) Emissões cumulativas líquidas de CO₂



A elevação máxima de temperatura é determinada pelas emissões líquidas cumulativas de CO₂ e forçante radiativa líquida não-CO₂ devido ao metano, óxido nitroso, aerossóis e outros agentes forçantes antrópicos.

d) Trajetórias de forçante radiativa não-CO₂



Fonte: Relatório especial sobre o aquecimento global 1,5°C -IPCC

Alguns pontos conclusivos a partir deste gráfico, mencionado no relatório⁸²:

- As atividades humanas (antrópicas) causaram aproximadamente 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com valores prováveis de 0,8°C a 1,2°C. Caso a taxa atual continue a aumentar neste ritmo, o aquecimento global atingirá 1,5°C entre 2030 e 2052.⁸³ (Figura 2)

⁸² IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

⁸³ LEITE, José. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, p. 653, 654.

- Observando a tendência de aquecimento a longo prazo desde os tempos pré-industriais, a temperatura média global da superfície (GMST), foi de 0,87°C, na década de 2005-2015 (provavelmente entre 0,75°C e 0,99°C) superior ao valor médio do período de 1850-1900. O aquecimento global antropogênico estimado está aumentando atualmente em 0,2°C por década, devido as emissões do passado e as em andamento.⁸⁴
- Foram detectados ao longo do período, cerca de 0,5°C de aquecimento global em alguns extremos climáticos e meteorológicos. A avaliação foi baseada em várias linhas de evidência de estudos desde 1950.⁸⁵
- O aquecimento causado pelas emissões antropogênicas do período pré-industrial até o presente, continuará por séculos a milênios e seguirá causando mudanças a longo prazo no sistema climático, como a elevação do nível do mar e outros impactos associados, mas estes por si só, é improvável que causem um aquecimento global de 1,5°C.⁸⁶
- Conseguiremos chegar a emissões líquidas zero quando todas as emissões de GEE que ainda forem causadas pelo homem alcançarem equilíbrio com a remoção de gases da atmosfera (um processo conhecido como remoção de carbono). A temperatura máxima atingida, é determinada pelas emissões antropogênicas globais líquidas acumuladas de CO₂ das décadas anteriores.⁸⁷
- Se chegarmos ao aquecimento global de 1,5°C, os riscos relacionados ao clima para os sistemas naturais e humanos serão desastrosos. Esses riscos dependem da magnitude e da taxa de aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento, vulnerabilidade, escolhas e implementação de opções para adaptação e mitigação.⁸⁸

⁸⁴ NAÇÕES UNIDAS - Até 2024, temperatura global estará pelo menos 1°C acima dos níveis pré-industriais.

⁸⁵ LEITE, José. C. - Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico, P. 653.

⁸⁶ ZERO – Relatório especial IPCC – É preciso intensificar a ação climática.

⁸⁷ É preciso reduzir ao mais próximo de zero possível todas as emissões causadas pela atividade humana (como as de veículos e fábricas movidas a combustíveis fósseis, por exemplo). Depois disso, quaisquer emissões de GEE restantes seriam equilibradas com uma quantidade equivalente de remoção de carbono, por exemplo, restaurando florestas ou através da tecnologia de captura e armazenamento direto do ar (DACs). O conceito de emissões líquidas zero é semelhante à "neutralidade climática".

⁸⁸ FERREIRA, Patrícia, M. – Alterações climáticas e desenvolvimento. Fundação fé e cooperação, p. 28, 29.

- Já foram observados os impactos do aquecimento global nos sistemas naturais e humanos. Muitos serviços relacionados aos ecossistemas terrestres e oceânicos, precisaram se adaptar devido a mudança.
- Os riscos futuros relacionados ao clima dependem da duração, taxa e pico do aquecimento. Isso significa que se conseguirmos manter a taxa de aquecimento atual ou chegar gradualmente a 1,5°C até 2100, é menos arriscado do que se excedermos rapidamente o pico de aquecimento de 1,5°C. Os impactos podem ser duradouros ou até irreversíveis, tendo a perda de alguns ecossistemas.⁸⁹
- Os riscos futuros relacionados ao clima estão sendo reduzidos pelo aumento e aceleração da mitigação climática de longo alcance, intersetorial e de multinível. A adaptação e mitigação já estão acontecendo, e transformando o rumo do cenário global.

A segunda parte do relatório trata sobre as mudanças climáticas projetadas, os potenciais impactos e riscos associados.⁹⁰ Apresentada abaixo na Figura 3,⁹¹ de forma ilustrativa e não muito abrangente, com as cinco razões integrativas para preocupação (RFCs)⁹², fornecendo uma estrutura para resumir os principais riscos e impactos entre regiões e setores que foram apresentadas no terceiro relatório de avaliação do IPCC.

As RFC esclarecem as implicações do aquecimento global para as economias, pessoas e ecossistemas. A avaliação dos riscos e impactos para cada RFC são baseados assim como no AR5 (literaturas usadas para os especialistas julgarem, para avaliar os níveis de aquecimento global em que os níveis de impacto ou riscos, são indetectáveis (branca), moderados (amarelo), altos (vermelho) ou muito altos (roxo).⁹³

⁸⁹ NAÇÕES UNIDAS - Até 2024, temperatura global estará pelo menos 1°C acima dos níveis pré-industriais.

⁹⁰ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 10.

⁹¹ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p.14.

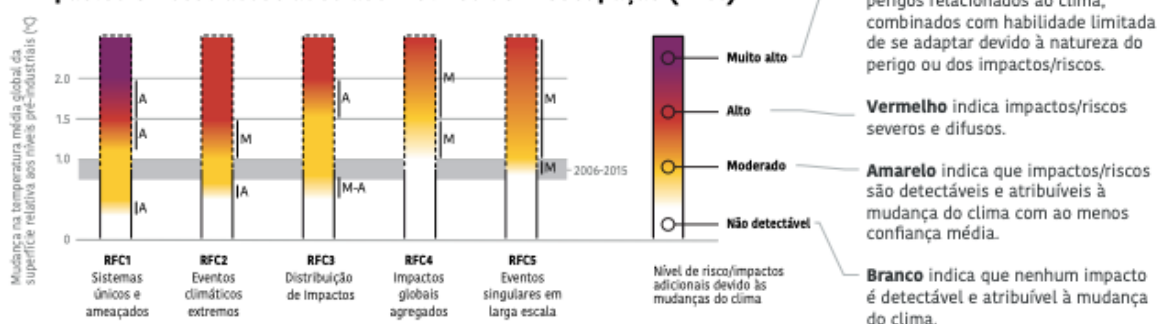
⁹² Five Reasons for Concern (RFCs).

⁹³ YOHE, Gary W. - Characterizing transient temperature trajectories for assessing the value of achieving alternative temperature targets.

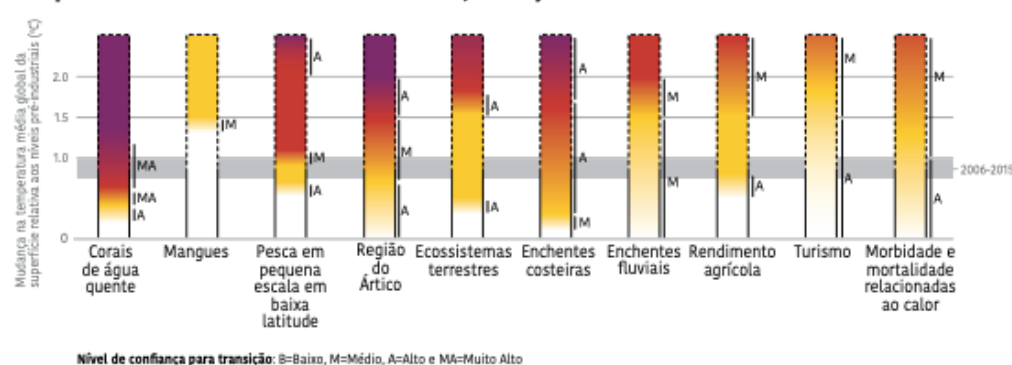
Figura 3 – Análise de Risco e Aquecimento Global

Cinco Motivos de Preocupação (RFCs) ilustram os impactos e riscos de níveis diferentes de aquecimento global para pessoas, economias e ecossistemas através de setores e regiões.

Impactos e riscos associados aos Motivos de Preocupação (RFCs)



Impactos e riscos aos sistemas naturais, manejados e humanos selecionados



Fonte: Relatório especial sobre o aquecimento global 1,5°C -IPCC

Cada RFC presente no gráfico acima (figura 3), possui uma designação. Para melhor compreensão das diferentes áreas que estão a ser afetadas pelo aquecimento global, segue abaixo (tabela 2) o que consiste cada RFC:

Tabela 2- Relevância dos Riscos

Cinco razões integrativas para preocupação	Designação
RFC1	Sistemas únicos e ameaçados: sistemas ecológicos e humanos que possuem faixas geográficas restritas, dependentes por condições relacionadas ao clima e têm alto endemismo ou outras propriedades distintas. Exemplos:

	recifes de coral, o Ártico, povos indígenas, montanha de geleiras e pontos críticos de biodiversidade.
RFC2	Eventos climáticos extremos: riscos/impactos para a saúde humana, meios de subsistência, ecossistemas, eventos climáticos extremos (como ondas de calor, chuvas fortes, seca, incêndios florestais associados e inundações costeiras).
RFC3	Distribuição de impactos: riscos/impactos que afetam desproporcionalmente grupos específicos devido à distribuição desigual, exposição ou vulnerabilidade dos perigos físicos da mudança climática.
RFC4	Impactos agregados globais: danos monetários globais, degradação em escala global e perda de ecossistemas e biodiversidade.
RFC5	Eventos singulares de grande escala: são mudanças relativamente grandes, abruptas e às vezes irreversíveis em sistemas, que são causadas pelo aquecimento global. Exemplos: a desintegração dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica.

Fonte: Elaboração própria com dados retirados da legenda do relatório especial - IPCC⁹⁴

Abaixo segue alguns pontos importantes, interpretados a partir da figura 3, dando suposições e indicando a relevância dos riscos, se serão muito altos, altos, moderados ou não detectáveis. É preciso levar em conta que com o aquecimento global de 2°C, todos os itens possuem riscos muito altos em comparação com 1,5°C.

- Alguns projetos de modelos climáticos já apresentam as diferenças climáticas causadas pelo aquecimento atual e a simulação do aquecimento global de 1,5°C e 2 °C. Essas diferenças aumentam a média da temperatura das regiões

⁹⁴ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

terrestres e oceânicas. Já nas regiões habitadas, nota-se o extremo calor, intensa/ déficit de precipitação, e a probabilidade de seca.⁹⁵

- Os riscos de secas, inundações, ciclones, precipitações intensas ou com déficit, em regiões de alta latitude ou alta altitude do hemisfério norte, leste da Ásia e leste da América do Norte, são projetados para serem mais agressivos em caso do aumento do aquecimento a 2°C em comparação com 1,5°C.⁹⁶
- O aumento médio do nível do mar global é projetado para ser cerca de até 0,1 milímetro, em 2100, se a média do aquecimento for abaixo de 1,5°C. Caso não, o nível do mar continuará além de 0,1mm em 2100. A magnitude e taxa desse aumento também dependerá das futuras vias de emissão de CO₂. Uma taxa mais lenta de aumento do nível do mar, permite uma melhor adaptação dos ecossistemas, dos sistemas humanos e ecológicos, de pequenas ilhas e áreas costeiras baixas.⁹⁷
- Em 2100, mesmo se o aquecimento global for limitado a 1,5°C no século 21, a elevação do nível do mar continuará aumentando devido à instabilidade do manto de gelo marinho na Antártica e/ou perda irreversível do manto de gelo na Groenlândia, que pode resultar em um aumento do nível do mar de longo prazo. Essas instabilidades serão desencadeadas entre o aumento de 1,5°C e 2°C do aquecimento global.⁹⁸
- A exposição de pequenas ilhas, áreas costeiras baixas e deltas, aumentará o risco de inundações, intrusão de água salgada e danos a infraestruturas.

⁹⁵ FERREIRA, Patrícia, M. – Alterações climáticas e desenvolvimento. Fundação fé e cooperação, p. 28, 29.

⁹⁶ FERREIRA, Patrícia, M. – Alterações climáticas e desenvolvimento. Fundação fé e cooperação, p. 44-46.

⁹⁷ Segundo uma notícia do euronews sobre as subidas do nível do mar: “Globalmente, o nível da água do mar está a subir a uma média de cerca de 4,4 milímetros por ano, e esta taxa está a acelerar. A curto prazo, a grande preocupação é como a subida do nível do mar irá aumentar o clima extremo que está a tornar-se mais frequente por causa das alterações climáticas.”- WILKS, Jeremy. – Os perigos da subida do nível do mar.

⁹⁸ Wilks afirma que, “50% da subida do nível do mar acontece porque a água é mais quente e faz com que seu volume aumente, 42% deve-se ao derretimento dos glaciares e das camadas de gelo em locais como os Alpes, a Gronelândia e a Antártida, e 8% têm a ver com alterações no armazenamento da água terrestre. .”- WILKS, Jeremy. – Os perigos da subida do nível do mar.

- Em terra, os impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas, incluem a extinção de espécies e redução de água doce. Das 105 mil espécies estudadas, cerca de 6% dos insetos, 8% das plantas e 4% dos vertebrados devem perder mais da metade de sua área geográfica. Outros impactos relacionados a biodiversidade, são os incêndios florestais e a disseminação de espécies invasoras em outros habitats.
- Aproximadamente 4% da área terrestre global está projetada para sofrer uma transformação de ecossistemas, mas caso o aquecimento seja de 2°C, o risco é projetado para ser 50% a mais do valor. / As consequências associadas ao aquecimento de 1,5°C, projeta riscos para a redução da biodiversidade marinha, pesca e ecossistemas (junto as funções e serviços humanos nessas áreas), já o aquecimento de 2°C, irá reduzir a temperatura do oceano, o aumento da acidez e diminuir os níveis de oxigênio da água.
- Muitas espécies marinhas mudarão as áreas de alcance para latitudes mais altas, o que levará para muitas regiões a perda de recursos costeiros, a redução da produtividade da pesca e da aquicultura, devido a perda de 70-90% dos recifes e corais.
- Foi projetado por um modelo de pesca global, a diminuição na captura anual global para a pesca marinha de cerca de 1,5 milhões de toneladas. E o prejuízo pode chegar até 3 milhões com um aquecimento maior.
- Riscos relacionados ao clima para a saúde, meios de subsistência, segurança alimentar, abastecimento de água, segurança humana e crescimento econômico.
- As populações com maiores riscos são aquelas desfavorecidas, vulneráveis, alguns povos indígenas, comunidades locais dependentes de meios de subsistência agrícolas ou costeiros. As regiões com risco desproporcionalmente mais alto incluem ecossistemas árticos, regiões áridas, pequenos estados insulares em desenvolvimento e países menos desenvolvidos. À medida que o aquecimento global aumentar, projeta-se que aumentará a pobreza e a desvantagem de algumas populações.
- Caso as emissões continuem altas, os riscos para a saúde humana abrangem morbidades e mortalidade relacionadas ao calor e ao ozônio. As ilhas de calor

urbanas amplificam os impactos das ondas de calor nas cidades, facilitando também a transmissão de doenças por vetores como malária e dengue.

- Reduções líquidas nos rendimentos de milho, arroz, trigo e outras safras de cereais, e qualidade nutricional dependente de CO₂ do arroz e do trigo, na África Subsaariana, Sudeste Asiático e Américas Central e do Sul. Projeta-se também as reduções na disponibilidade alimentar (como o gado) no sul da África, no Mediterrâneo, na Europa central e na América do Sul (Amazônia).
- Dependendo das condições socioeconômicas futuras de região para região, pode-se reduzir a proporção da população mundial, induzido pelas mudanças climáticas no estresse hídrico em até 50%.
- Os países nos trópicos e subtropicais do Hemisfério Sul sofrerão os maiores impactos sobre o crescimento econômico, isso exclui os custos de mitigação, investimentos de adaptação e os benefícios da adaptação.
- Desde o relatório AR5 existem linhas de evidência, segundo os formuladores, que os níveis de risco avaliados aumentaram em quatro dos cinco motivos de preocupação (RFCs) para o aquecimento global de 2°C. As novas transições de risco por graus de aquecimento global são de moderado ou alto, para muito alto.

A terceira parte do relatório trata sobre as vias de emissão e transições do sistema consistente com aquecimento global de 1,5°C.⁹⁹ O gráfico a seguir (Figura 4)¹⁰⁰, mostra as características das trajetórias de emissões globais, e em seguida a legenda explicando pontos essenciais.

A figura 4, mostra as emissões globais antrópicas líquidas de CO₂, em trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C, com alto *overshoot* (ultrapassagem) e sem ou limitado (menos de 0,1°C) *overshoot*. Toda a gama de caminhos observados neste relatório é representado pela área sombreada. À direita, os gráficos mostram faixas de emissões não-CO₂ para três compostos (metano, carbono negro e óxido nitroso) com grande imposição histórica e uma parte substancial das emissões oriundas de fontes distintas daquelas centrais para a mitigação de CO₂. As áreas sombreadas nos painéis apresentam os intervalos de 5-

⁹⁹ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p.15.

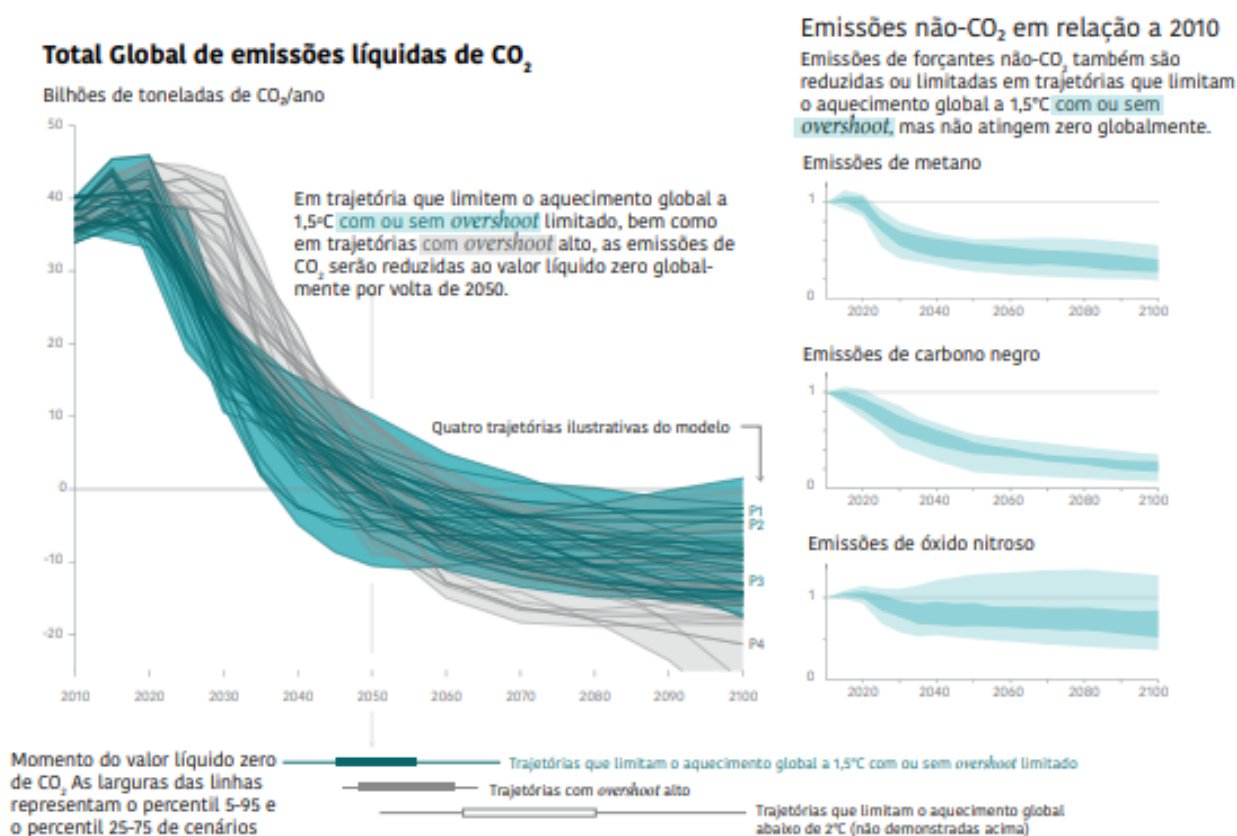
¹⁰⁰ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 16.

95% (sombreamento claro) e a dispersão de dados (sombreamento escuro) de trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C sem ou com limitado *overshoot*.

Na parte inferior da figura 4, o quadro e riscos mostram o momento em que as trajetórias atingem níveis zero de emissões globais líquidas de CO₂ e uma comparação com as trajetórias que limitam o aquecimento global a 2°C, pelo menos com 66% de probabilidade. No painel principal possui quatro trajetórias nomeadas como P1, P2, P3 e P4, e suas descrições estão disponíveis na imagem a seguir (gráfico 4).¹⁰¹

Figura 4 - Características das trajetórias de emissões globais

Características gerais da evolução das emissões líquidas antrópicas de CO₂ e das emissões totais de metano, carbono negro e óxido nítrico em trajetórias modeladas que limitam o aquecimento global a 1,5°C com ou sem *overshoot* limitado. Emissões líquidas são definidas como emissões antrópicas reduzidas por remoções antrópicas. Reduções nas emissões líquidas podem ser alcançadas por meio de diferentes portfólios de medidas de mitigação ilustradas na Figura seguinte



Fonte: Relatório especial sobre o aquecimento global 1,5°C -IPCC

¹⁰¹ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

Essas quatro trajetórias (P1, P2, P3 E P4), foram escolhidas para mostrar uma diversidade de possíveis abordagens de mitigação, no qual variam extensamente em sua energia projetada e uso da terra, bem como suas alegações sobre desenvolvimentos socioeconômicos futuros, incluindo crescimento econômico e populacional, sustentabilidade e equidade. (Figura 5)¹⁰²

É apresentada uma análise das emissões globais de CO₂ antrópicas, para as contribuições no âmbito das emissões de CO₂ de combustíveis fósseis e processos industriais, florestas, agricultura e outros usos do solo (AFOLU) e bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS)¹⁰³. As estimativas dos países são diferentes das estimativas da AFOLU, demonstradas na Figura 5. Abaixo de cada uma das trajetórias, estão listadas as características. As trajetórias ilustram diferenças globais relacionadas as estratégias de mitigação, mas não são estratégias nacionais, centrais e não são requisitadas. À direita estão as faixas interquartílicas (dados dispersos), com ou sem aumento, limitado de 1,5°C.

¹⁰² IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p.17.

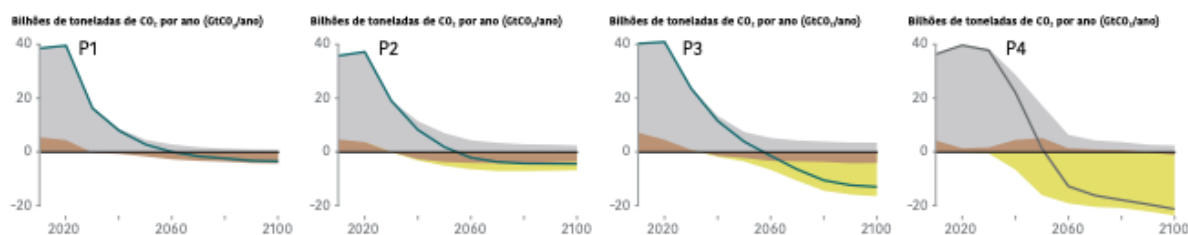
¹⁰³ Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) is emerging as the best solution to decarbonise emission-intensive industries and sectors and enable negative emissions. BECCS is part of the broader CCS technology group. Bioenergy has been used since the dawn of time by humans to produce heat. Today, bioenergy is used to fuel vehicles through bioethanol and provide electricity by burning biomass. - CONSOLI, Christopher. - Bioenergy and carbon capture and storage, p. 3.

Figura 5 - Características das quatro trajetórias ilustrativas modeladas

Estratégias de mitigação diferentes podem alcançar as reduções de emissões líquidas que seriam necessárias para seguir uma trajetória que limita o aquecimento global a 1,5°C, sem *overshoot* ou com *overshoot* limitado. Todas as trajetórias utilizam a Remoção de Dióxido de Carbono (Carbon Dioxide Removal – CDR), mas a quantidade varia de acordo com as trajetórias, assim como as contribuições relativas de Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage* – BECCS) e remoções no setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo (AFOLU). Isso tem implicações para as emissões e várias outras características da trajetória.

Análise das contribuições para as emissões líquidas globais de CO₂ em quatro trajetórias ilustrativas modeladas

● Combustível fóssil e indústria ● AFOLU ● BECCS



P1: Cenário em que inovações sociais, comerciais e tecnológicas resultam em menor demanda de energia até 2050, enquanto os padrões de vida aumentam, especialmente no hemisfério Sul. Um sistema de energia de tamanho reduzido permite uma descarbonização rápida do fornecimento de energia. O reflorestamento é a única opção de CDR considerada; nem combustíveis fósseis com CCS nem BECCS são usados.

P2: Cenário com amplo enfoque na sustentabilidade, incluindo intensidade energética, desenvolvimento humano, convergência econômica e cooperação internacional, bem como mudanças no sentido de padrões de consumo sustentáveis e saudáveis, inovação tecnológica de baixo carbono e sistemas terrestres bem administrados com limitada aceitação social para BECCS.

P3: Cenário meio-termo em que os desenvolvimentos social e tecnológico seguem padrões históricos. As reduções de emissões são alcançadas principalmente pela mudança na forma como a energia e os produtos são produzidos e, em menor grau, pela redução da demanda.

P4: Cenário de uso intensivo de energia e de recursos, no qual o crescimento econômico e a globalização levam à adoção generalizada de estilos de vida intensivos em gases de efeito estufa, incluindo a alta demanda por combustíveis para transporte e produtos animais. As reduções de emissões são alcançadas principalmente por meios tecnológicos, fazendo um forte uso do CDR por meio da implantação de BECCS.

Indicadores globais	P1	P2	P3	P4	Intervalo de Interquartil
	Sem ou com overshoot limitado	Sem ou com overshoot limitado	Sem ou com overshoot limitado	overshoot alto	
Classificação da trajetória					
Mudanças na emissão de CO ₂ em 2030 (% em relação a 2010)	-58	-47	-41	4	(-58,-40)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-93	-95	-91	-97	(-107,-94)
Emissões de GEE de Quioto* em 2030 (% em relação a 2010)	-90	-49	-35	-2	(-91,-39)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-82	-89	-78	-80	(-93,-81)
Demanda final de energia** em 2030 (% em relação a 2010)	-15	-5*	17	39	(-12,7)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-32	2	21	44	(-11,22)
Participação renovável na geração elétrica em 2030 (%)	60	58	48	25	(47,65)
↳ em 2050 (%)	77	81	63	70	(69,84)
Energia primária proveniente de carvão em 2030 (% em relação a 2010)	-78	-61	-75	-59	(-78,-59)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-97	-77	-73	-97	(-95,-74)
de óleo em 2030 (% em relação a 2010)	-37	-13	-3	86	(-34,3)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-87	-50	-81	-32	(-78,-31)
de gás em 2030 (% em relação a 2010)	-25	-20	33	37	(-26,21)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-74	-53	21	-48	(-56,6)
de energia nuclear em 2030 (% em relação a 2010)	59	83	98	106	(44,102)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	150	98	501	468	(91,190)
de biomassa em 2030 (% em relação a 2010)	-11	0	36	-1	(29,80)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	-16	49	121	418	(123,261)
de renováveis não-biomassa em 2030 (% em relação a 2010)	430	470	315	110	(245,436)
↳ em 2050 (% em relação a 2010)	833	1327	878	1137	(576,1299)
CCS cumulativo até 2100 (GtCO ₂)	0	348	687	1218	(550,1017)
↳ dos quais BECCS (GtCO ₂)	0	151	414	1191	(364,662)
Área de terra de culturas bioenergéticas em 2050 (milhões de hectares)	0,2	0,9	2,8	7,2	(1,5,3,2)
Emissões de CH ₄ da agricultura em 2030 (% em relação a 2010)	-24	-48	1	14	(-30,-11)
em 2050 (% em relação a 2010)	-33	-69	-23	2	(-47,-24)
Emissões de N ₂ O na agricultura em 2030 (% em relação a 2010)	5	-26	15	3	(-21,3)
em 2050 (% em relação a 2010)	6	-26	0	39	(-26,1)

NOTA: Os indicadores foram selecionados para mostrar as tendências globais identificadas pela avaliação do Capítulo 2. As características nacionais e setoriais podem diferir substancialmente das tendências globais mostradas acima.

* Emissões de GEE Quioto são baseadas em SAR GWP-100
 ** Mudanças na demanda de energia estão associadas a melhorias em eficiência energética e mudança de comportamento.

Foram retiradas algumas conclusões no relatório especial, sobre os dados na imagem apresentados, referentes as estratégias de mitigação de emissões líquidas de forma a evitar o aquecimento global de 1,5°C:

- As vias que limitam o aquecimento global a 1,5°C com ou sem *overshoot* limitado requereriam transições rápidas e de longo alcance em terra, energia, infraestrutura sistemas industriais. Essas transições em termos de escala são sem precedentes, mas não em termos de velocidade, e require redução de emissões profundas em todos os setores, um vasto portfólio de opções de mitigação e um significativo aumento de investimentos nessas opções.
- Nos sistemas energéticos, trajetórias globais de modelagem, geralmente atendem à demanda de serviço energético com menor utilização de energia, inclusive por meio do aperfeiçoamento da eficiência energética, e apresentam uma eletrificação mais rápida do uso final de energia comparado com 2°C. Projeta-se que as fontes de energia de baixa emissão, em trajetórias de 1,5°C sem ou com *overshoot* limitado, tenham uma participação mais alta antes de 2050. As fontes renováveis são projetadas a suprir 70-85% de eletricidade em 2050. Na geração de eletricidade, a participação da energia nuclear e de combustíveis fósseis com captura e armazenamento de dióxido de carbono (CCS) expande. O uso do CCS concederia que a parcela de geração de eletricidade a partir do gás, fosse por volta de 8% da eletricidade global produzida em 2050, enquanto a utilização de carvão mostra uma redução acentuada em todas as trajetórias e seria reduzida para perto de 0% na geração elétrica. Ainda que reconhecendo os desafios, a diferença entre as opções e as circunstâncias nacionais, a viabilidade política, econômica, social e técnica da energia solar, eólica, e tecnologias de armazenamento de eletricidade melhoraram substancialmente nos últimos anos. Esses progressos sinalizam uma possível transição do sistema na geração de eletricidade.
- Em trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C, com ou sem *overshoot*, é projetado que as emissões de CO₂ da indústria sejam cerca de 65-90% menores em 2050 em relação a 2100. Essas reduções podem ser alcançadas por meio de combinações de tecnologia e práticas novas e existentes, abrangendo eletrificação, hidrogênio, matérias-primas bio-sustentáveis, substituição de produtos e captura, utilização e armazenamento

de carbono (CCUS). Essas alternativas são comprovadas tecnicamente em várias escalas, mas sua implantação em grande escala pode ser limitada pela capacidade econômica, financeira, humana e restrições institucionais em contextos específicos e características particulares de instalações industriais de grande porte. Na indústria, as diminuições de emissões obtidas por meio da eficiência energética e de processos por si só, são insuficientes para limitar o aquecimento.

- Barreiras econômicas, socioculturais e institucionais podem dificultar as transições de sistemas urbanos e de infraestrutura, dependendo das circunstâncias nacionais, regionais e locais das capacidades e da disponibilidade de capital.
- Todas as trajetórias possuem as transições no uso da terra em nível global e regional, mas sua escala depende do portfólio de mitigação implementado. É projetado que terras agrícolas alocadas para a produção de alimentos e rações podem reduzir 4 milhões de km² ou aumentar 2,5 milhões de km², que deverão ser convertidas em um aumento de 0 a 6 milhões de km² de terras agrícolas alocadas para fins de produção energética, e um aumento de 9,5 milhões de km² de florestas até 2050 comparado a 2010.
- Para o período de 2016 a 2050, os investimentos médios anuais relacionados à energia em trajetórias que limitam o aquecimento a 1,5°C, comparados com as trajetórias sem novas política climáticas além das atuais, são estimados por volta de US\$ 830 bilhões. Comparado isso ao total anual de investimentos em fornecimento de energia em trajetórias de 1,5°C de US\$1.460 a US\$3.510 bilhões (em 2010), e investimentos médios totais anuais em demanda de energia de 640 a 910 bilhões (dólares 2010) para o período de 2016 a 2050. Os totais de investimentos relacionados à energia aumentam ao redor de 12% em trajetórias de 1,5°C comparado a 2°C. Os investimentos anuais em tecnologias de baixo carbono e eficiência energética são expandidos em aproximadamente um fator de seis até 2050 comparado com 2015.
- As trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C sem ou com *overshoot* limitado esboçam o uso de “Remoção de Dióxido de Carbono” (*Carbon Dioxide Removal – CDR*), na ordem de 100-1000 GtCO₂ ao longo do século 21. O CDR seria usado para remediar as emissões residuais, e chegar a valores líquidos

negativos de emissões para regressar ao aquecimento global de 1,5°C. A utilização de CDR de centenas de GtCO₂ está sujeita a limitações diversas de viabilidade e sustentabilidade. Diminuições significativas nas emissões no curto prazo e medidas para reduzir a demanda de energia e terra podem limitar a implantação de CDRs a algumas centenas de GtCO₂ sem depender de bioenergia, com captura e armazenamento de carbono.

- As medidas possíveis e já existentes de CDR incluem reflorestamento, florestamento, restauração da terra e sequestro de carbono no solo, BECCS, captura e armazenamento de carbono diretamente do ar (DACCS), intemperismo intenso e alcalinização dos oceanos. Elas delongam amplamente em termos de maturidade, potenciais, riscos, custos, co-benefícios e *trade-offs*¹⁰⁴. Até o momento algumas das trajetórias aplicadas da imagem acima, incluem medidas de CDR além do reflorestamento e BECCS.
- Projeta-se nas trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C sem ou com *overshoot*, a aplicação de BECCS que varia por volta de 0-1, 0-8, e 0-16 GtCO₂ ano em 2030, 2050, e 2100, simultaneamente, enquanto as medidas relacionadas a CDR no setor de Agricultura, Floresta e outros usos da terra (AFOLU) projetam remover 0-5, 1-11, e 1-5 GtCO₂ ano nesses mesmos anos. A demarcação superior dessas faixas de implantação em meados do século excede o potencial de BECCS de até 5 GtCO₂ ano e o potencial de reflorestamento de até 3,6 GtCO₂ ano. Algumas trajetórias evitam a completa implantação de BECCS por meio de medidas do lado da demanda e maior confiança nas disposições de CDR relacionadas a AFOLU. A utilização da bioenergia pode ser alta ou até mais alta quando é excluído o BECCS, comparado à quando é incluído devido ao seu potencial para substituir os combustíveis fósseis intersetorialmente.
- A maior parte das medidas atuais e potenciais de CDR poderia ter impactos positivos sobre a terra, energia, água ou nutrientes, se implementadas em larga escala. A bioenergia e reflorestamento podem competir com outros usos da terra e podem ter impactos significativos nos sistemas alimentares e agrícolas, na biodiversidade e em outras funções e serviços ecossistêmicos. É

¹⁰⁴ Trade-off é um termo da língua inglesa que define uma situação em que há conflito de escolha. Ele se caracteriza em uma ação econômica que visa à resolução de problema, mas acarreta outro, obrigando uma escolha.

necessária uma governança eficaz para limitar tais *trade-offs* e garantir a permanência da remoção de carbono em reservatórios terrestres, geológicos e oceânicos. A sustentabilidade e a viabilidade do uso de CDR poderiam ser aprimoradas por um portfólio de opções utilizadas em escalas significativas, em vez de uma única opção em escala maior.

- Medidas de CDR relacionadas a AFOLU, tais como recuperação de ecossistemas naturais e sequestro de carbono do solo podem oferecer cobenefícios como a melhoria da biodiversidade, qualidade do solo e segurança alimentar local. Se implementadas em grande escala, exigiriam sistemas de governança que possibilitassem o manejo sustentável da terra para conservar e proteger os estoques de carbono da terra e outras funções e serviços ecossistêmicos.

A quarta e última parte do relatório “Fortalecendo a resposta global no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza”¹⁰⁵, enfatiza muitos pontos mencionados na terceira parte, sobre o aquecimento global de 1,5°C com ou sem *overshoot* limitado. (Figura 6)

Algumas observações importantes na quarta parte do relatório:

- As presunções do resultado das emissões globais das atuais ambições de mitigação nacionalmente declaradas, submetidas no Acordo de Paris, levariam a emissões globais de gases de efeito estufa em 2030 de 52 a 58 GtCO₂ ano. Nas trajetórias que refletem essas ambições não limitariam o aquecimento global a 1,5°C, mesmo se suplementados por aumentos muito desafiadores na escala e na ambição de redução de emissões após 2030. Evitar o *overshoot* e a dependência na futura implantação em larga escala da remoção de dióxido de carbono (CDR) só pode ser alcançada se as emissões globais de CO₂ começarem a reduzir muito antes de 2030.
- Conforme diminuição das emissões em 2030, menor é o desafio de limitar o aquecimento global a 1,5°C após 2030 sem ou com *overshoot* limitado. Os desafios de atrasar ações para reduzir as emissões de GEE incluem o risco de

¹⁰⁵ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 21.

escalonamento de custos, aprisionamento tecnológico na infraestrutura emissora de carbono, ativos ociosos e flexibilidade reduzida nas futuras alternativas de resposta no médio a longo prazo. O que pode aumentar impactos distributivos desiguais entre países em diferentes estágios de desenvolvimento.

- Os conflitos evitados da mudança do clima sobre o desenvolvimento sustentável, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades seriam maiores se o aquecimento global for limitado a 1,5°C ao invés de 2°C, se as sinergias (efeitos positivos) entre mitigação e adaptação fossem maximizadas enquanto os *trade-offs* fossem minimizados.
- Os impactos e respostas à mudança do clima estão intimamente ligados ao desenvolvimento sustentável, que equilibra o bem-estar social, a prosperidade econômica e a proteção ambiental. Os chamados “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas” (ODS), adotados em 2015, viabilizam uma estrutura estabelecida para avaliar os vínculos entre o aquecimento global de 1,5°C ou 2°C e as metas de desenvolvimento que incluem erradicação da pobreza, redução de desigualdades e ação climática.
- O apreço de ética e equidade pode ajudar a debater a distribuição desigual de impactos adversos associados aos níveis de aquecimento global, bem como aqueles de mitigação e adaptação, particularmente para populações pobres e desfavorecidas, em todas as sociedades.
- Se cuidadosamente selecionadas as opções de adaptação específicas aos contextos nacionais, juntamente com as condições favoráveis, trarão benefícios para o desenvolvimento sustentável e a redução da pobreza com aquecimento global de 1,5°C, embora *trade-offs* sejam possíveis.
- As alternativas de adaptação que reduzem a vulnerabilidade dos sistemas humanos e naturais têm muitas sinergias com o desenvolvimento sustentável, se bem coordenadas, tais como garantir a segurança alimentar e hídrica, reduzir os riscos de desastres, melhorar as condições de saúde, manter os serviços ecossistêmicos e reduzir a pobreza e a desigualdade. A ampliação do investimento em infraestrutura física e social é uma condição fundamental para melhorar a resiliência e as capacidades adaptativas das sociedades. Essas

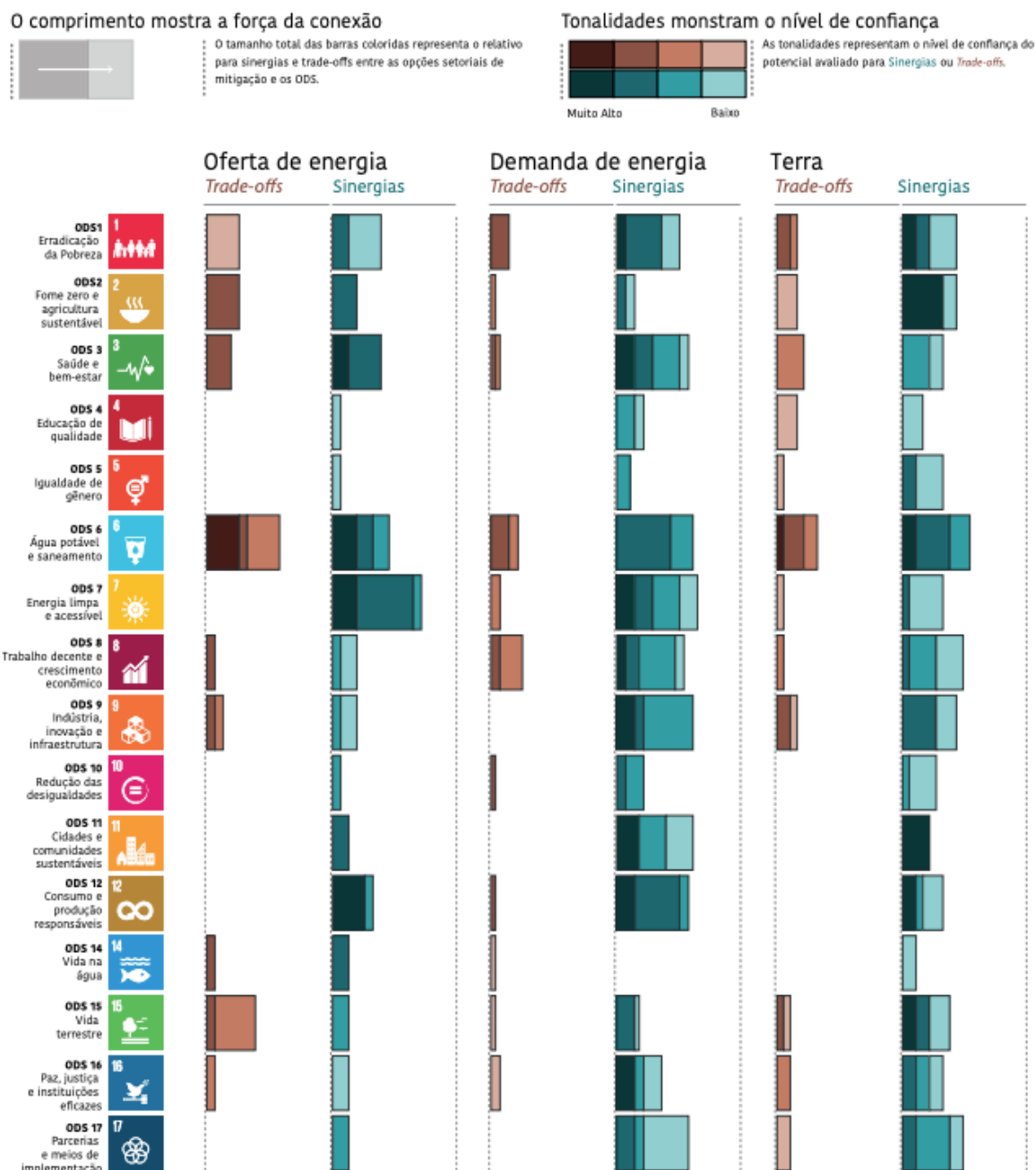
vantagens podem ocorrer na maioria das regiões com adaptação a 1,5°C de aquecimento global.

- A adaptação ao aquecimento global de 1,5°C pode também resultar em *trade-offs* ou más adaptações com impactos contrários para o desenvolvimento sustentável. Por exemplo, se mal desenhados ou implementados, os projetos de adaptação em vários setores podem aumentar as emissões de gases de efeito estufa e o uso da água, aumentar a desigualdade social e de gênero, minar as condições de saúde e interferir nos ecossistemas naturais.
- Uma junção de opções de adaptações e mitigação para limitar o aquecimento, implementando de forma participativa e integrada, pode permitir transições sistêmicas rápidas em áreas urbanas e rurais. Acabam por ser mais efetivas quando alinhadas com o desenvolvimento econômico e sustentável, e quando governos locais, regionais e os tomadores de decisão são apoiados pelos governos nacionais.
- As alternativas de adaptação que também mitigam emissões podem apresentar sinergias e economia de custos na maioria dos setores e de sistemas de transição, como quando a gestão de terras reduz as emissões e o risco de desastres, ou quando as edificações de baixo carbono também são projetadas para refrigeração eficiente. Os *trade-offs* entre mitigação e adaptação, ao estabelecer o aquecimento global a 1,5°C, como quando cultivos bioenergéticos, reflorestamento ou florestamento invadem terras necessárias à adaptação agrícola, podem danificar a segurança alimentar, meios de subsistência, funções e serviços ecossistêmicos e outros aspectos do desenvolvimento sustentável.
- As trajetórias de 1,5°C têm sinergias desenvolvidas, particularmente com os ODS 3 (saúde), 7 (energia limpa), 11 (cidades e comunidades), 12 (consumo e produção responsável) e 14 (oceanos). Algumas trajetórias de 1,5°C mostram potenciais *trade-offs* com mitigação para os ODS 1 (pobreza), 2 (fome), 6 (água) e 7 (acesso à energia), se não forem cuidadosamente gerenciados.
- As trajetórias de 1,5°C que incluem baixa demanda de energia (por exemplo, ver P1 na imagem acima), baixo consumo material e baixo consumo de alimentos intensivo em GEE, têm as sinergias mais enunciadas e o menor

número de *trade-offs* com respeito ao desenvolvimento sustentável e os ODS. Tais trajetórias diminuiriam a dependência de CDR. Nas trajetórias modeladas, o desenvolvimento sustentável, a erradicação da pobreza e a redução da desigualdade podem ajudar a limitar o aquecimento.

Figura 6 - Vínculos indicativos entre opções de mitigação e desenvolvimento sustentável

As opções de mitigação implementadas em cada setor podem ser associadas a potenciais efeitos positivos (sinergias) ou negativos (*trade-offs*) com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O grau em que esse potencial é percebido dependerá do portfólio de opções de mitigação selecionado, do desenho da política de mitigação e do contexto e circunstâncias locais. Particularmente nos setores demandantes de energia, o potencial para sinergias é maior que para *trade-offs*. O grupo de barras avaliou individualmente as opções de mitigação por nível de confiança e levou em consideração a força relativa das conexões mitigação-ODS avaliadas.



Fonte: Relatório especial sobre o aquecimento global 1,5°C -IPCC

Os ODS auxiliam como uma estrutura analítica para a avaliação das várias dimensões do desenvolvimento sustentável, as quais se estendem além do período das metas de 2030. A análise é baseada na literatura sobre as estratégias de mitigação relevantes para o aquecimento global 1,5°C (Figura 5), e as representações da Figura 6¹⁰⁶ estão a um passo à frente do AR5 em direção a uma avaliação mais abrangente e integrada no futuro.

Alguns pontos relevantes (retirados da legenda da Figura 6) querem demonstrar o seguinte:

- A força avaliada das interações de ODS é baseada na avaliação qualitativa e quantitativa das opções individuais de mitigação. Para cada opção de mitigação, a força de conexão-ODS, bem como a confiança associada da literatura subjacente (tons de verde e vermelho) foi avaliada pelos cientistas do relatório.
- A força de conexões positivas (sinergias) e conexões negativas (*trade-offs*) em todas as opções individuais dentro de um setor são agregadas em potenciais setoriais para todo o portfólio de mitigação.
- As áreas (brancas) fora das barras, que indicam ausência de interações, têm baixa confiança devido à incerteza e ao número limitado de estudos que exploram efeitos indiretos. A força da conexão considera apenas o efeito da mitigação e não inclui benefícios de impactos evitados.
- ODS 13 (ação climática) não está listado porque a mitigação está sendo considerada em termos de interações com os ODS e não vice-versa. As barras denotam a força da conexão e não consideram a força do impacto sobre os ODS.
- Ao nível da demanda de energia se consideram respostas comportamentais, troca de combustível e opções de eficiência no transporte, na indústria e no setor de edificações, bem como opções de captura de carbono no setor

¹⁰⁶ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C, p. 23.

industrial. As opções avaliadas ao nível dos setores ofertantes de energia compreendem renováveis de biomassa e não-biomassa, nuclear, CCS com bioenergia e CCS com combustíveis fósseis. Opções no setor da terra compreendem opções agrícolas e florestais, dietas sustentáveis e redução do desperdício de alimentos, sequestro no solo, manejo de gado e esterco, redução do desmatamento, florestamento e reflorestamento, abastecimento responsável. Além desta figura, opções no setor oceânico são discutidas no relatório subjacente.

- Apenas um número limitado de estudos avaliou os benefícios dos impactos evitados da mudança do clima em trajetórias de 1,5°C para os ODS, e os efeitos da adaptação para a mitigação e os ODS.

Após a compreensão de alguns pontos da figura 6, é importante concluir algumas observações finais deste relatório sobre o aquecimento global de 1,5°C:

- Diminuir os riscos do aquecimento global de 1,5°C no cenário do desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza implica transições de sistemas que podem ser viabilizadas por um acréscimo de investimentos em adaptação e mitigação, instrumentos de políticas, aceleração da inovação tecnológica e mudanças de comportamento.
- Conduzir o financiamento para investimentos em infraestrutura para mitigação e adaptação poderia viabilizar recursos adicionais. Isto poderia envolver a mobilização de fundos privados por investidores institucionais, gestores de ativos e bancos de desenvolvimento ou de investimentos, bem como a provisão de fundos públicos. Políticas governamentais que reduzem o risco de investimento em baixa emissão e adaptação podem facilitar a mobilização de fundos privados e aumentar a eficácia de outras políticas públicas. Estudos indicam uma série de obstáculos, incluindo o acesso ao financiamento e à mobilização de fundos.
- Trajetórias provenientes de modelos globais projetam que limitar o aquecimento global a 1,5°C abrange necessidades médias anuais de investimentos no sistema energético de aproximadamente US\$2,4 trilhões entre 2016 e 2035, o que representa cerca de 2,5% do PIB mundial.

- As alterações de sistemas consistentes com a adaptação e a limitação do aquecimento global a 1,5°C envolvem a adoção generalizada de novas e disruptivas tecnologias, e possivelmente uma inovação orientada pelo clima. Isso provoca capacidades aprimoradas de inovação tecnológica, inclusive na indústria de finanças. Ambas as políticas nacionais de inovação e cooperação internacional podem contribuir para o desenvolvimento, a comercialização e a adoção generalizada de tecnologias de mitigação e adaptação. Novas políticas podem ser mais efetivas quando combinam apoio público para pesquisa e desenvolvimento com políticas mistas que oferecem incentivos para difusão tecnológica.
- As visões em educação, informação e comunidade, incluindo aquelas que são baseadas no conhecimento indígena e no conhecimento local, podem agilizar as mudanças de comportamento em larga escala, consistentes com a adaptação e limitação do aquecimento global a 1,5°C. Essas condutas são mais efetivas quando combinadas com outras políticas, e personalizadas às motivações, capacidades e recursos de atores e contextos específicos. A aceitabilidade pública pode permitir ou inibir a implementação de políticas e medidas para limitar o aquecimento global a 1,5°C e para adaptar às consequências. O consentimento público depende da avaliação individual das consequências políticas esperadas, da percepção de que a distribuição dessas consequências é justa e da percepção de que os procedimentos de decisão são justos.
- A competência para as trajetórias de desenvolvimento resilientes ao clima difere entre e dentro de regiões e nações, devido a variados contextos de desenvolvimento e vulnerabilidades sistêmicas. Esforços ao longo de tais trajetórias até o momento têm sido limitados e esforços intensificados envolveriam ações fortalecidas e oportunas de todos os países e atores não estatais.
- Parcerias abrangendo atores privados e públicos não estatais, investidores institucionais, o sistema bancário, a sociedade civil e instituições científicas facilitariam ações e respostas consistentes com a limitação do aquecimento global.

- A colaboração em governança multinível responsável e fortalecida, que inclua atores não estatais, tais como indústria, sociedade civil e instituições científicas, políticas setoriais e intersetoriais coordenadas em vários níveis de governança, políticas sensíveis ao gênero, finanças incluindo financiamento inovador e cooperação no desenvolvimento e transferência de tecnologia, pode assegurar participação, transparência, capacitação e aprendizado entre diferentes atores.
- A cooperação internacional é um catalizador crítico para os países em desenvolvimento e regiões vulneráveis fortalecerem suas ações para a implementação de respostas climáticas consistentes com 1,5°C, inclusive por meio do aumento do acesso ao financiamento e à tecnologia e do aperfeiçoamento das capacidades domésticas, levando em consideração as circunstâncias e necessidades nacionais e locais.
- Esforços coletivos em todos os níveis, de forma a refletir as diferentes circunstâncias e capacidades, na busca pela limitação do aquecimento global a 1,5°C, levando em conta a igualdade, bem como a eficácia, podem facilitar o fortalecimento da resposta global à mudança do clima, resultando em desenvolvimento sustentável e erradicação de pobreza.

Após a análise desses inúmeros itens referenciados no relatório, podemos perceber a amplitude de obstáculos que envolvem as questões do aquecimento global. Abrange o macro e o micro, das questões humanas, sociais, políticas, nacionais, internacionais, entre muitas outras se assim podemos definir. Tudo minuciosamente sendo tocado e interferido pela mudança no ambiente.

3.2 CCS- Carbon Capture and Storage

Existem várias tecnologias para capturar CO₂ dos gases de combustão¹⁰⁷, o chamado CDR (*Carbon Dioxide Removal*), conhecido também como “tecnologias de emissão negativa”¹⁰⁸. Embora todas as estratégias de CDR busquem remover o

¹⁰⁷ TURKENBURG, W, C. -Sustainable development, climate change, and carbon dioxide removal (CDR), p. S7, S8.

¹⁰⁸ SHRUM *et al.* - Behavioural frameworks to understand public perceptions of and risk response to carbon dioxide removal, p. 1 -14.

dióxido de carbono da atmosfera, é empregado em diferentes mecanismos para a sua realização.¹⁰⁹

Incluem métodos que abrangem os sumidouros¹¹⁰ naturais de carbono no ambiente físico como florestamento, reflorestamento, e abordagens que utilizam processos industriais para retirar CO₂ e armazená-lo geologicamente como a captura e armazenamento direto de carbono no mar. Visivelmente, as abordagens de CDR só produzem “emissões negativas” ou “NET ZERO”¹¹¹ se retirarem mais carbono do que emitem durante seu ciclo de vida.¹¹²

Para a mitigação do aquecimento global a 1,5°C, uma alternativa bastante estudada e com grandes expectativas é a utilização do sistema CCS¹¹³, essa sigla corresponde ao termo em inglês “*Carbon Dioxide capture and storage*”. A Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) ou a Captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS) é o termo utilizado para se referir ao conjunto de tecnologias que exercem um desempenho importante e diversificado no cumprimento das metas globais de energia e clima.^{114 / 115}

O CCS condiz ao processo de separação de CO₂ de fontes pontuais, como as de geração de energia ou de instalações industriais que utilizam combustíveis fósseis ou biomassa como combustível, para depois ser transportado a um local de armazenamento e isolamento de longo prazo da atmosfera.¹¹⁶ Quanto ao CCUS pode ser capturado, utilizado para assim depois ser armazenado.¹¹⁷

¹⁰⁹ CAMPBELL-ARVAI, V; HART, P. S; RAIMI, K, T; WOLSKE, K. S. - The influence of learning about carbon dioxide removal (CDR) on support for mitigation policies. *Climatic Change*, p. 321-336.

¹¹⁰ A natureza também conta com seus próprios recursos para tentar impedir que a temperatura média do planeta não continue aumentando. Um dos recursos são os chamados sumidouros de carbono, depósitos naturais (oceanos, florestas e solos), que absorvem e capturam o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, reduzindo sua presença no ar.

¹¹¹ “NET ZERO by 2050”, é um relatório da Agência Internacional de Energia (IEA), que fala sobre o compromisso de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera. O chamado NET ZERO ou *net zero carbon emission* (zero emissões líquidas de carbono), trata do acerto de contas da humanidade com o planeta Terra até 2050. IEA – Net Zero by 2050: A roadmap for the Global Energy sector. O NET ZERO não se limita ao mecanismo de CDR.

¹¹² SHRUM *et al.* - Behavioural frameworks to understand public perceptions of and risk response to carbon dioxide removal, p. 1 -14.

¹¹³ IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

¹¹⁴ IEA – About CCUS.

¹¹⁵ No capítulo anterior, sobre o relatório especial do aquecimento global de 1,5°, é mencionado também algumas das tecnologias existentes de CCS, uma delas é a chamada DACCS (captura e armazenamento de carbono diretamente do ar), que também pode ser encontrada com a sigla DAC (utilizada em algumas pesquisas nos Estados Unidos).

¹¹⁶ IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

¹¹⁷ SHRUM *et al.* - Behavioural frameworks to understand public perceptions of and risk response to carbon dioxide removal, p. 1 -14.

Outras opções de mitigação incluem as melhorias de eficiência energética, como a mudança para combustíveis que gerem menos carbono, fontes de energia renováveis (energia solar, eólica e hidrelétrica), energia nuclear e redução de emissão dos gases de efeito estufa e (não-CO₂)¹¹⁸. O mundo corre o risco de não alcançar o objetivo de melhora, e prejudicar as gerações futuras. A indústria com uso intensivo de energia é responsável por 25% das emissões globais de CO₂ e não pode chegar a zero sem CCS.¹¹⁹ A aplicação generalizada do CCS iria depender da maturidade técnica, do potencial global, dos custos, difusão, transferência da tecnologia para o desenvolvimento dos países e sua capacidade de aplicar a tecnologia, aspectos de regulamentação, questões ambientais e percepção do público.¹²⁰

De acordo com o Terceiro Relatório de Avaliação (TAR)¹²¹, não existe uma opção tecnológica única que fornecerá todas as reduções de emissões necessárias para alcançar a estabilização, e por isso um portfólio com medidas de mitigação serão necessários.¹²²

O fornecimento de energia primária continuará a ser dominado pelos combustíveis fósseis até o meio do século. De acordo com o TAR, a maior parte dos modelos indicam que as opções de tecnologia disponíveis poderia alcançar um alto nível de estabilização atmosférica, mas exigiria mudanças institucionais. Nessa circunstância, a disponibilidade de CCS no portfólio de opções pode facilitar o alcance das metas de estabilização.¹²³

Uma característica importante do CCS é que após a captura do CO₂, ele pode ser aplicado em fontes específicas. O CO₂ seria então comprimido e transportado para armazenamento em formações geológicas, no oceano, em carbonatos ou para uso em processos industriais.

¹¹⁸ Os gases de efeito estufa não CO₂, como metano, óxido nitroso e gases fluorados, retém mais calor na atmosfera do que o CO₂. UNFCCC – GEEs não CO₂.

¹¹⁹ GASSNOVA – Why CCS.

¹²⁰ Na Alemanha existiu uma certa resistência a adoção do CCS: “anos de protesto contra os planos da indústria de usar a captura e armazenamento de carbono (CCS) como uma linha de vida para o carvão tornou a tecnologia uma questão proibida para os políticos alemães. Mas a nova meta de neutralidade climática até 2045 força o país a um novo debate sobre lidar com emissões inevitáveis de CO₂, por exemplo, na produção de cimento. A chanceler Angela Merkel disse que o CCS será necessário para atingir a meta líquida zero, e seu governo está procurando explorar o grande potencial de armazenamento de carbono sob o Mar do Norte”. WETTENGEL, Julian. Quest for climate neutrality puts CCS back on the table in Germany.

¹²¹ IPCC – Terceiro Relatório de Avaliação.

¹²² É possível ver também no capítulo “3.1.1” dessa dissertação, o relatório especial sobre o impacto do aquecimento global a 1,5°, um portfólio de opções de mitigação em várias extensões, numa versão atualizada após o TAR. IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

¹²³ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

As grandes fontes de CO₂ compreendem: combustíveis fósseis ou instalações de energia de biomassa (principais indústrias emissoras de CO₂), produção de gás natural, usinas de combustível sintético e usinas de produção de hidrogênio à base de combustível fóssil. (Figura 7 e Figura 8)

Os potenciais métodos de armazenamento técnico são:¹²⁴

- Armazenamento geológico (formações como campos de petróleo e gás, leitos de carvão não exploráveis e formações salinas profundas).
- Armazenamento oceânico (liberação direta na coluna de água do oceano ou no fundo do mar)
- Fixação industrial de CO₂ em carbonetos inorgânicos.

Figura 7 - Descrição por processo ou atividade industrial das grandes fontes de CO₂ em todo o mundo, com emissões com mais de 0,1 milhões de toneladas de CO₂, “million tones of CO₂” (MtCO₂) por ano.

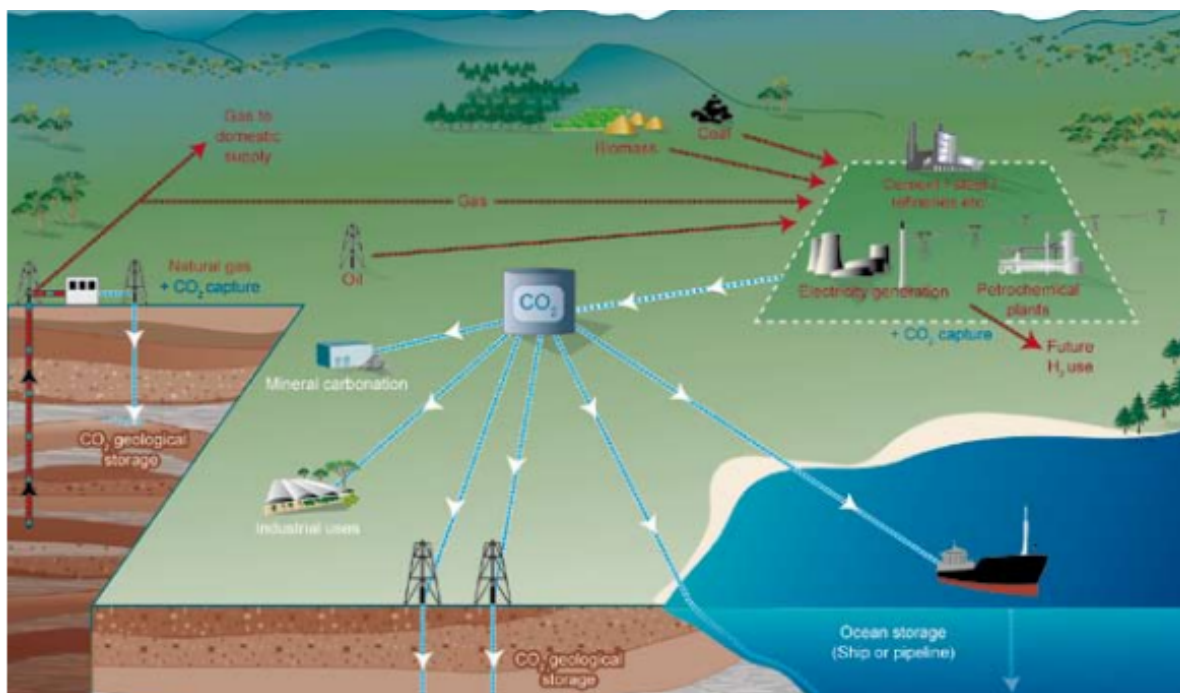
Process	Number of sources	Emissions (MtCO ₂ , yr ⁻¹)
Fossil fuels		
Power	4,942	10,539
Cement production	1,175	932
Refineries	638	798
Iron and steel industry	269	646
Petrochemical industry	470	379
Oil and gas processing	Not available	50
Other sources	90	33
Biomass		
Bioethanol and bioenergy	303	91
Total	7,887	13,466

Fonte: Relatório Especial de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono - IPCC¹²⁵

¹²⁴ J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - Recent developments on carbon capture and storage: An overview, p.1454.

¹²⁵ IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

Figura 8 - Esquema de possíveis sistemas CCS, que mostram as fontes para as quais o CCS pode ser relevante, o transporte de CO₂ e as opções de armazenamento.



Fonte: Relatório Especial de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono - IPCC

Por meio do CCS, a redução líquida de emissões para a atmosfera depende da fração de CO₂ capturado, do aumento da produção de CO₂ (resultante da perda na eficiência geral das usinas ou processos industriais devido à energia adicional necessária para captura, transporte e armazenamento), e a fração de CO₂ retida no armazenamento a longo prazo.

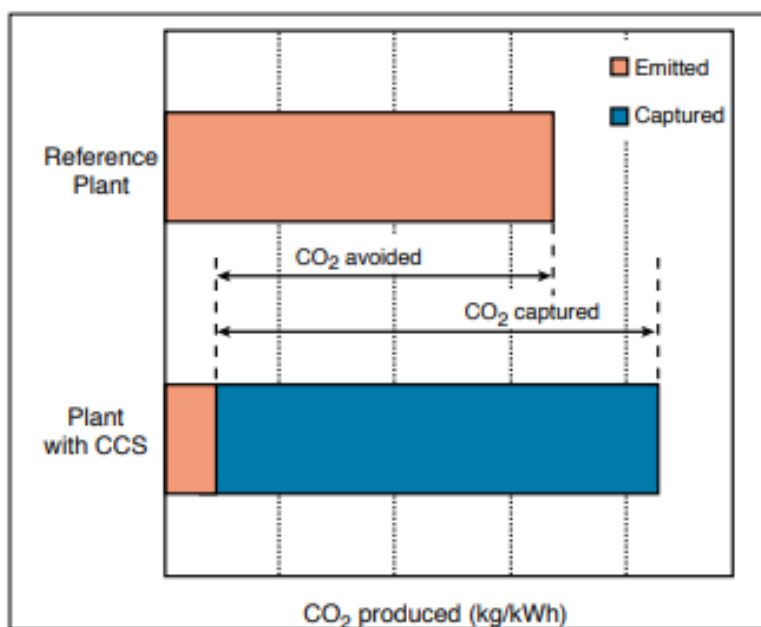
São capturados pela tecnologia disponível cerca de 85-95% do CO₂ processado em uma usina de captura. A aplicação do sistema CCS em uma usina equipada (com acesso a armazenamento geológico ou oceânico), precisaria de cerca de 10-40% (a porcentagem reflete três tipos de usinas de energia: usinas de gás natural 11-22%, usinas de carvão pulverizado 24-40%, e para usinas de gaseificação integrada 14-25%)¹²⁶ a mais de energia do que uma usina de produção sem o CCS (Figura 9).

Uma usina com CCS poderia reduzir aproximadamente 80-90% das emissões de CO₂ para a atmosfera. Os sistemas CCS com armazenamento como carbonatos

¹²⁶ IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

minerais, precisariam de 60-180% de mais energia do que uma usina de produção equivalente sem CCS.¹²⁷

Figura 9 - Captura e armazenamento de CO₂ de usinas de energia



Fonte: Relatório Especial de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono - IPCC ¹²⁸

Categorias/Métodos de CCS

Existem inúmeras tecnologias que podem ser usadas para capturar CO₂ na fonte, “*The separation of CO₂ from other gases produced at facilities such as coal and natural gas power plants, oil and gas refineries, steel mills, and cement plants*”¹²⁹.

São enquadrados em três categorias:¹³⁰

- Captura de carbono pós-combustão (o principal método utilizado pelas usinas):
O CO₂ é separado da exaustão de um processo de combustão. ¹³¹

¹²⁷ J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - Recent developments on carbon capture and storage: An overview, p.1453.

¹²⁸ Na figura 9, captura e armazenamento de CO₂ de usinas de energia, o aumento da produção de CO₂ resultante da perda na eficiência geral das usinas de energia devido à energia adicional necessária para captura, transporte e armazenamento e qualquer vazamento do transporte, resulta em uma quantidade maior de "CO₂ produzido por unidade de produto" (barra inferior) em relação para a usina de referência (barra superior) sem captura.

¹²⁹ CCS KNOWLEDGE – What is CCS.

¹³⁰ RFF – Carbon capture and storage 101.

¹³¹ J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - Recent developments on carbon capture and storage: An overview, p.1447.

- Captura de carbono pré-combustão (amplamente utilizado em processos industriais): Existem comercialmente disponíveis tecnologias de captura pré-combustão utilizadas nas instalações industriais. No entanto, para usinas de energia, a captura pré-combustão ainda se encontra em estágios iniciais. A tecnologia envolve gaseificação do combustível e a separação do CO₂. Costuma ser mais caro do que outras opções, e é recomendado para ser construído em novas instalações, pois se forem adaptados para tal, costumam ser exponencialmente caras.¹³²
- Sistemas de combustão oxi-combustível: O combustível é queimado em um ambiente de oxigênio quase puro, o que resulta em um fluxo mais concentrado de emissões de CO₂, sendo mais fácil de capturar.¹³³

Uma vez que o CO₂ é capturado, ele é comprimido em um fluido e transportado para um local de armazenamento apropriado. Os dutos são preferíveis para transportar grandes quantidades de CO₂ para as distâncias de até 1000km. Para quantidades menores “*million tones of CO₂*” (MtCO₂), ou distâncias maiores no exterior, o uso de navios quando preciso, pode ser economicamente mais viável. O CO₂ também pode ser transportado por caminhões tanques ou comboios, mas são opções menos atraentes para transporte de CO₂ em grande escala.¹³⁴

Muitas das tecnologias desenvolvidas pela indústria de petróleo e gás são eficientes para o armazenamento de CO₂ em formações geológicas profundas, *onshore* ou *offshore*, e se provou ser economicamente atrativa sob condições específicas para campos de petróleo, gás e formações salinas, mas não para armazenamento em leitos de carvão não exploráveis.¹³⁵

¹³² J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - Recent developments on carbon capture and storage: An overview, p. 1448.

¹³³ J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - Recent developments on carbon capture and storage: An overview, p. 1448.

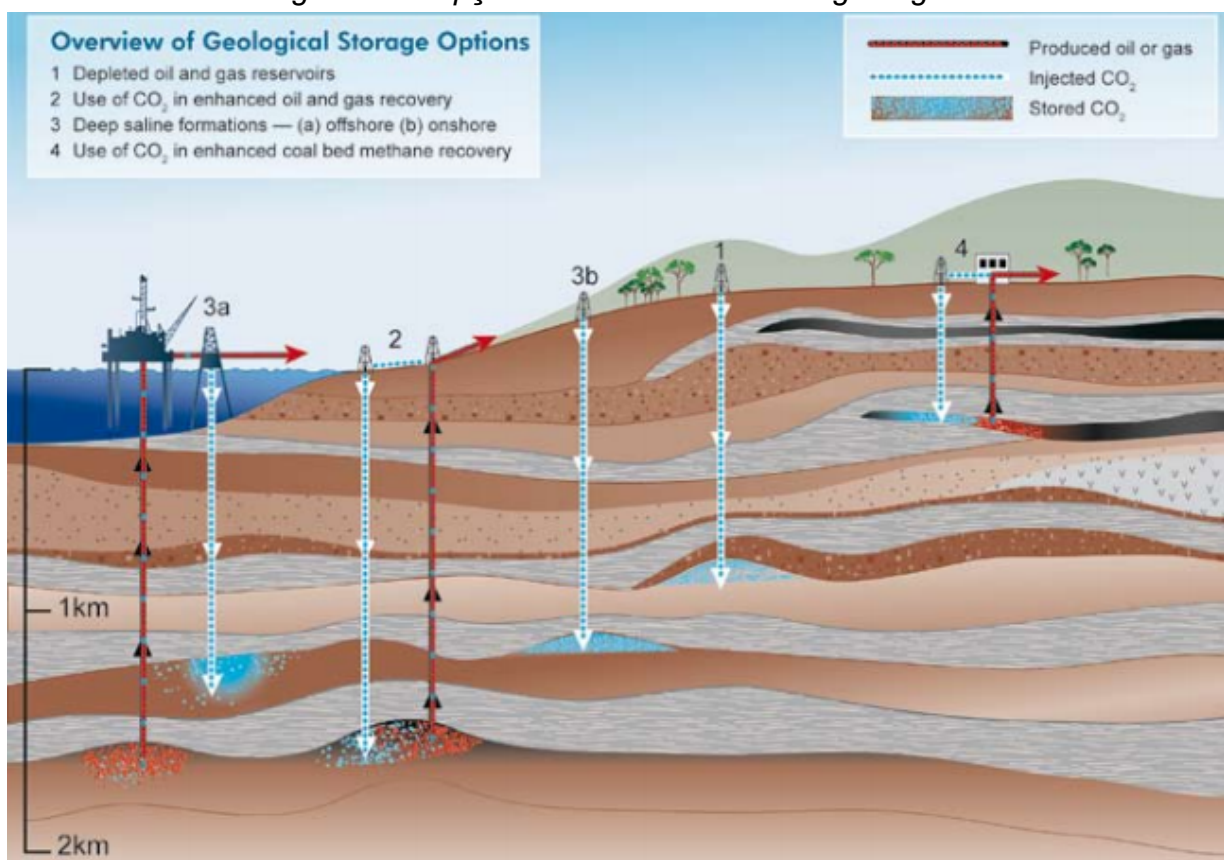
¹³⁴ MCCOY, Sean T.; RUBIN, Edward S. - An engineering-economic model of pipeline transport of CO₂ with application to carbon capture and storage, p.220.

¹³⁵ Segundo Biniek, Davies e Handerson “A captura e armazenamento de carbono (CCS) tem sido vista há muito tempo como uma tecnologia com potencial para reduzir significativamente as emissões de GEE. A ideia básica é coletar gás de dióxido de carbono e confiná-lo no subsolo. O CCS não pegou, no entanto, porque é caro. Mas uma nova reviravolta no conceito pode mudar seu perfil de custo. Se o dióxido de carbono pudesse ser colocado em uso industrial, as receitas resultantes poderiam tornar a captura de carbono financeiramente viável”. - BINIEK, Krysta; DAVIES, Ryan; HENDERSON, Kimberly. – Why commercial use could be the future of carbon capture.

O armazenamento¹³⁶ de CO₂ é a última fase do procedimento e a razão pela qual justifica o esforço necessário para o sequestro da corrente gasosa. Conseguir concretizar o armazenamento definitivo do CO₂, é essencial para a existência dessa tecnologia, e o que garante o sucesso dessa etapa do CCS.¹³⁷

As possíveis formas para o armazenamento definitivo do CO₂ são: Armazenamento geológico¹³⁸ (Figura 10), mineralização e aplicação do CO₂ na Indústria, e Armazenamento no oceano.¹³⁹

Figura 10 - Opções de armazenamento geológico



Fonte: Relatório Especial de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono - IPCC

¹³⁶ Daniel Alves acredita que o armazenamento de CO₂ não é uma operação tecnologicamente tão exigente como o seu sequestro, mas é sem dúvida, a fase mais crítica e controversa em termos ambientais. - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.31.

¹³⁷ ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.31.

¹³⁸ “O armazenamento geológico pretendido apenas poderá ocorrer em algumas zonas do planeta que apresentam características geológicas muito específicas. Sem dúvida que os reservatórios existentes e que retiveram gás natural e petróleo ao longo de milhões de anos são locais com provas dadas, de que possuem todas as características necessárias ao armazenamento do CO₂.” - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.33.

¹³⁹ ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.31.

Quando é adequadamente injetado nas formações salinas, campos de petróleo ou gás, conforme ilustrado na Figura 10, o CO₂ é aprisionado por mecanismos físicos e geoquímicos que evitam que ele migre para a superfície.¹⁴⁰ A injeção pode servir para um armazenamento permanente, utilização via “*Enhanced Oil Recovery*” (EOR)¹⁴¹, onde o CO₂ é capturado e transportado para um campo de petróleo, usado para estimular mais a produção de petróleo.¹⁴²

“Well-drilling technology, injection technology, computer simulation of storage reservoir performance and monitoring methods from existing applications are being developed further for utilization in the design and operation of geological storage projects.

Three industrial-scale storage projects are in operation: the Sleipner project in an offshore saline formation in Norway, the Weyburn EOR project in Canada, and the In Salah project in a gas field in Algeria.”¹⁴³

Nos casos em que o transporte do CO₂ é necessário, as condições físicas necessárias a essa tarefa permitem que na fase de armazenamento, os gastos energéticos sejam menores para a sua compressão, já que o procedimento foi realizado anteriormente. Nos casos em que o CO₂ é armazenado nos locais de onde é sequestrado, é necessária sua compressão.

¹⁴⁰ HERZOG, Howard. – Carbon dioxide capture and storage, p. 272.

¹⁴¹ “Enhanced oil recovery, CO₂ injection into geological formations for EOR is a mature technology, having first been implemented in 1972. In 2000, 84 commercial or research-level CO₂ EOR projects were operational worldwide.” - HERZOG, Howard J. - Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons, p.598.

¹⁴² “O armazenamento de carbono na crosta terrestre tem sido um processo natural desde a sua criação. Contudo, a partir da década de 70 nos EUA, este armazenamento começou a ser induzido pelo Homem. Com o objectivo de facilitar a recolha de petróleo, o CO₂ resultante do processo de refinação foi, e continua a ser, colocado nos reservatórios provocando assim a expulsão do crude. Não sendo inicialmente o objectivo prioritário deste processo a preservação ambiental, este processo tem vindo a ser utilizado na indústria petrolífera em todo o mundo, evitando-se dessa forma que algum CO₂ seja libertado para a atmosfera. Hoje, todas as grandes companhias petrolíferas, de minério de carvão e de geração de electricidade estudam, com o objectivo de mitigar os seus efeitos ambientais, essa forma de armazenamento geológico. Por este facto a partir da década de 90 esta tecnologia passou de um conceito de pouco interesse a uma tecnologia com grande potencial para fazer frente aos problemas ambientais.” - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.33.

¹⁴³ CCS KNOWLEDGE – What is CCS.

3.2.1 Armazenamento no Fundo Oceânico

A respeito do Sistema do CCS, o armazenamento geológico tem tido retornos positivos nos estudos, mas uma opção em potencial de armazenamento de CO₂ capturado é a de injetar no fundo do oceano.¹⁴⁴

Um armazenamento de carbono no fundo do oceano pode ser feito potencialmente de duas maneiras: injetando e dissolvendo CO₂ na coluna de água (a 1.000 metros de profundidade).¹⁴⁵ O CO₂ pode ser transportado por navios ou dutos fixos e armazenado a partir dos oleodutos ou uma plataforma offshore, em profundidade abaixo de 3.000m, onde o CO₂ é mais denso que a água, o que dificultara a dissolução do CO₂ no ambiente circundante. No caso de dispersão, se tornaria posteriormente parte do ciclo global do carbono.

O oceano é o maior reservatório de gás carbônico do planeta. As plantas marinhas que possuem a capacidade de armazenar até 20 vezes mais o carbono por hectare, do que as florestas.¹⁴⁶ Na verdade, 93% de todo o CO₂ do mundo é armazenado no Oceano, com a ajuda da vegetação marinha, algas e corais. E perder apenas 1% desse ecossistema é o equivalente a liberar emissões de 97 milhões de carros.¹⁴⁷

A concentração de CO₂ nas camadas superiores do oceano, originam um discreto aumento do seu pH, mudança que é virtualmente imperceptível nas camadas mais profundas. Os ecossistemas marinhos mais sensíveis já estão sendo afetados pelas alterações das condições químicas do oceano. Os corais oceânicos estão diminuindo o seu processo de calcificação e reduzindo o seu crescimento.¹⁴⁸

¹⁴⁴ Para Daniel Alves: “Apesar de esta forma de armazenamento ser o mais económico de entre todas as possibilidades de armazenamento, pelos impactos esperados e principalmente pelas incertezas ainda associadas a esta forma de armazenamento, este é de entre as opções conhecidas a que reúne menos consenso e aceitação.” - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.38.

¹⁴⁵ Segundo Alves, qualquer que seja a forma e a profundidade que é colocado, ocorrerá sempre fenômenos de dissolução do CO₂ na água, um fato que levará a diminuição do pH da água oceânica. - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.38.

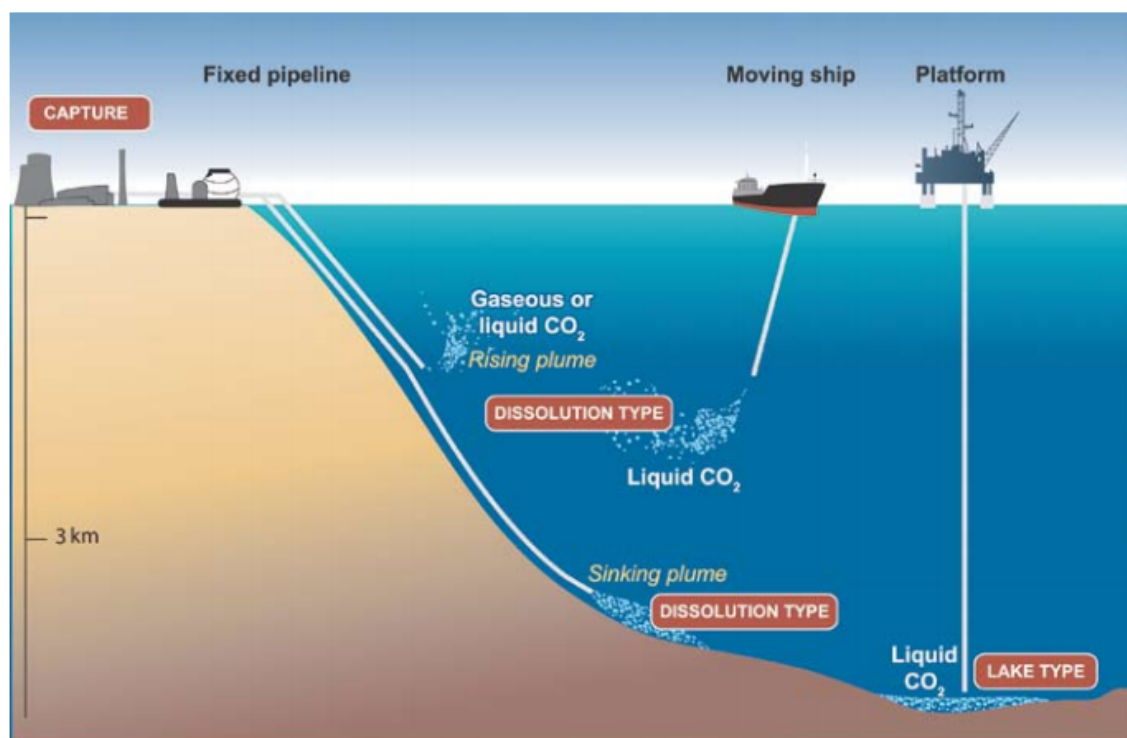
¹⁴⁶ Documentário Seaspiracy

¹⁴⁷ Documentário Seaspiracy

¹⁴⁸ ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.37.

Na Figura 11, é possível verificar a visão geral dos conceitos de armazenamento oceânico. No armazenamento oceânico “tipo dissolução”, o CO₂ se dissolve rapidamente na água do oceano, enquanto no armazenamento oceânico “tipo lago”, o CO₂ é um líquido inserido no fundo do mar.

Figura 11 - Visão geral dos conceitos de armazenamento oceânico



Fonte: Relatório Especial de Captura e Armazenamento de Dióxido de Carbono - IPCC

O procedimento de colocar o CO₂ no fundo do oceano, é um processo arriscado, pois isso implica e compromete a acidez da água, tornando o oceano profundo um ambiente químico. Tendo em vista a compressão rudimentar dos ecossistemas em alto mar, é preciso uma avaliação limitada e preliminar dos potenciais efeitos do ecossistema.¹⁴⁹

¹⁴⁹ Os oceanos absorvem um terço das emissões de dióxido de carbono da humanidade e 90% do excesso de calor gerado pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa; são o maior escoador de carbono do planeta. Se o aquecimento da água do mar derreter as calotas de hidratos (aprisionam os poderosos gases de efeito estufa, de CO₂ ou metano congelado), existe o perigo de os oceanos se tornarem grandes emissores de carbono, com graves consequências para as alterações climáticas e o aumento do nível do mar. - WOODY, Todd. - Os Oceanos Têm Quantidades Enormes de Gases de Efeito Estufa.

Existem muitas tecnologias para monitorar as atividades em alto mar, mas nenhuma desenvolvida o suficiente que calcule os impactos ambientais a serem evitados.¹⁵⁰

Portanto no que refere ao armazenamento oceânico de CO₂, permanecem dúvidas relativas às consequências ambientais, implicações das leis existentes¹⁵¹, aceitação pública, salvaguardas e a necessidade de práticas mais desenvolvidas para uma melhor compreensão do armazenamento no oceano.¹⁵²

3.2.2 Global CCS Institute

Com o intuito de acompanhar a evolução da aplicação do método CCS pelo mundo, foi criado um grupo de reflexão internacional com a missão de acelerar a implantação do CCS, chamado “*Global CCS Institute*”.¹⁵³

Consta com uma equipe de profissionais que representam membros e figuras importantes no cenário internacional como governos, corporações globais, empresas privadas, órgãos de pesquisa e organizações não governamentais (todos comprometidos com o CCS como parte integrante de um futuro com emissões zero), impulsionando a adoção do CCS da forma mais econômica e rápida, compartilhando conhecimentos, desenvolvendo capacidades e fornecendo suportes e conselhos para que a tecnologia possa desempenhar o seu papel vital na redução da emissão dos gases efeito estufa.

O *Global CCS Institute* criou um sistema de classificação de instalações CCS, que está presente no relatório CCS 2020 em diante. As instalações foram

¹⁵⁰ “O conhecimento existente neste processo resulta apenas de testes laborais e de resultados de modelos matemáticos. É por isso incerta a forma como irão reagir os ecossistemas a rápida injeção de CO₂ no seu meio”. - ALVES, Daniel, A. P. - Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal, p.37.

¹⁵¹ A proteção do ambiente marinho e a prevenção contra a poluição marítima são objetos essenciais do direito internacional. A Convenção para a Prevenção da Poluição Marinha por Despejo de Resíduos e Outras Matérias, de 1972, geralmente referida como Convenção de Londres, foi uma das primeiras convenções globais destinadas prevenir a poluição marítima por resíduos industriais e químicos bem como previu uma ação internacional para controlo da contaminação dos oceanos por despejo de resíduos ou substâncias lesivas à saúde humana. IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, p.254.

¹⁵² IPCC – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.

¹⁵³ “The Global CCS Institute is an international think tank whose mission is to accelerate the deployment of carbon capture and storage (CCS), a vital technology to tackle climate change and deliver climate neutrality.” GLOBAL CCS INSTITUTE – About: The world’s leading CCS think tank.

classificadas como: Instalações comerciais do CCS, Instalações piloto e de demonstração.

Nas instalações comerciais do CCS:¹⁵⁴

- CO₂ é capturado para armazenamento permanente como parte de uma operação comercial em andamento; O armazenamento pode ser realizado por terceiros ou pelo proprietário da instalação de captura; Geralmente têm vidas econômicas semelhantes às da instalação de acolhimento cujo as emissões de CO₂ captam; E deve suportar um retorno comercial durante a operação e / ou atender a um requisito regulamentar.

Nas instalações piloto e de demonstração:

- CO₂ é capturado para teste, desenvolvimento ou demonstração de tecnologias ou processos CCS; O CO₂ capturado pode ou não ser armazenado permanentemente; A vida útil geralmente curta em comparação com grandes instalações comerciais (determinada pelo tempo necessário para concluir os testes e processos de desenvolvimento ou atingir marcos de demonstração); E não é esperado que suporte um retorno comercial durante a operação.

Com os sistemas de classificação, os impactos foram muito positivos, aumentado o número de instalações no banco de dados do instituto, e as instalações não existentes, foram reclassificadas.

O novo sistema de classificação resultou em mudanças como:

- Seis instalações que antes eram classificadas como “piloto e demonstração” viraram comerciais;
- Brevik Norcem e Fortum Oslo Varme, atualmente duas instalações comerciais CCS separadas (eram agrupadas como uma instalação de grande escala, que faz parte do projeto de cadeia completar da Noruega);¹⁵⁵
- As instalações de recuperação aprimorada de óleo (EOR)¹⁵⁶ da *Occidental Petroleum Corporation*, da *White Energy's Plainview* e *Hereford Ethanol* são

¹⁵⁴ GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020.

¹⁵⁵ GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of CCS 2020, p. 57.

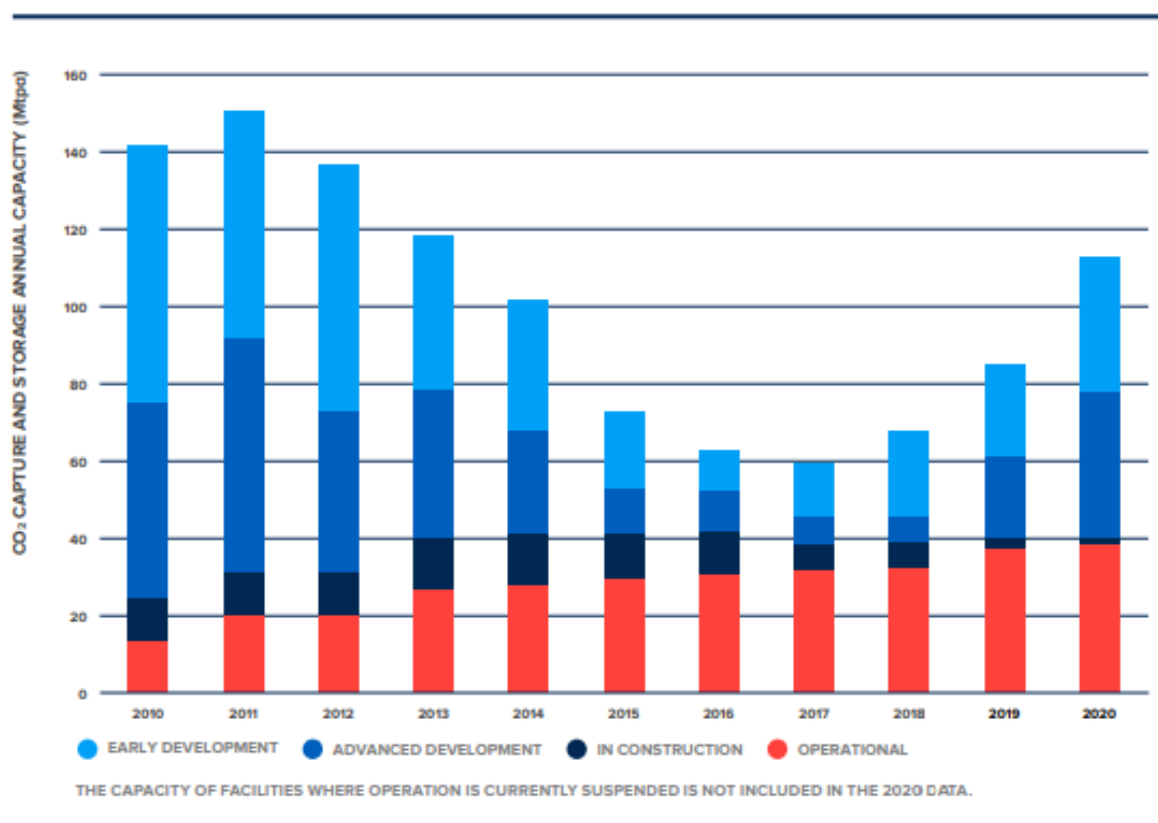
¹⁵⁶ HERZOG, Howard J. - Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons, p.598.

classificadas agora como duas instalações comerciais CCS separadas (antes eram agrupadas como uma);

- Seis projetos de transporte e armazenamento de CO₂ anteriormente classificados como instalações CCS de grande escala serão listados separadamente em uma nova seção 'Hubs' (no banco de dados do Instituto CO₂RE)¹⁵⁷. Até então, esses hubs serão delineados a partir de instalações chamadas 'Armazenamento de CO₂'.

Nos últimos três anos (2018-2020), teve um forte crescimento no desenvolvimento de instalações comerciais de CCS.¹⁵⁸(Figura 12)

Figura 12 – Desenvolvimento de Instalações Comerciais de CCS



Fonte: Relatório de Status Global do CCS 2020- Global CCS Institute

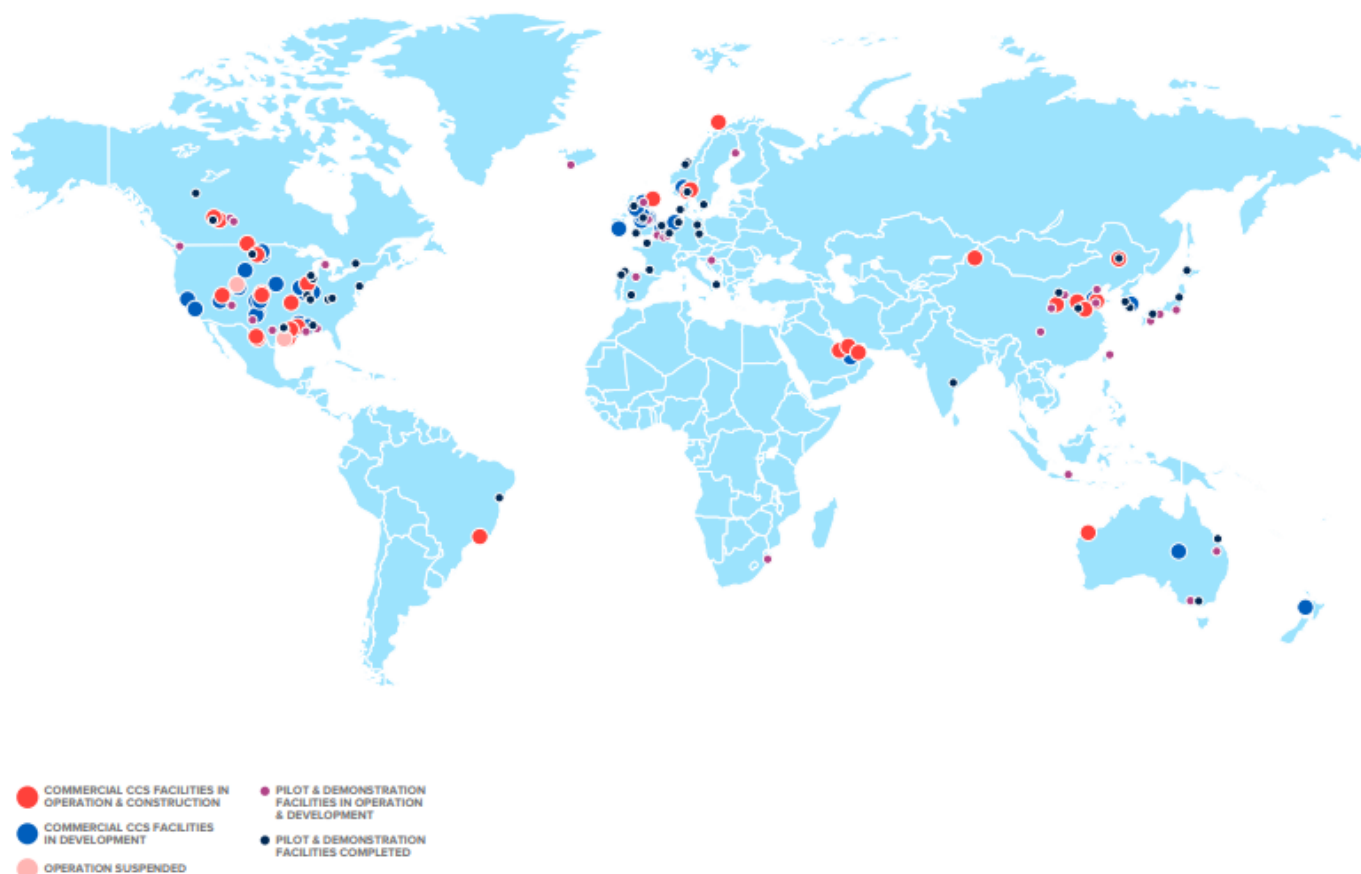
¹⁵⁷ Global CCS Institute, 2019. CO₂RE Facility Database

¹⁵⁸ LIU, H; CONSOLI, C; ZAPANTIS, A. - Overview of Carbon Capture and Storage (CCS) Facilities Globally, p. 2.

Após a publicação do Relatório de Status Global do CCS 2019, dezessete novas instalações entraram no *pipeline* de projetos. Os Estados Unidos hospedam 12, das 17 iniciadas em 2020. Reino Unido hospedam 2, Austrália 2 e Nova Zelândia 1. Atualmente, existem 65 instalações de CCS comerciais, dentre elas 26 já estão operando, 2 suspenderam as operações (causadas pela desaceleração econômica e incêndio), 3 estão em construção, 13 estão em desenvolvimento avançado (alcançando um *desing* de engenharia de ponta) e 21 estão em fase de desenvolvimento inicial.¹⁵⁹

As instalações de CCS atuais que estão em operação, possuem uma capacidade de capturar e armazenar permanentemente cerca de 40Mt de CO₂ a cada ano. Existem outras 34 instalações CCS piloto e em escala de demonstração em operação ou desenvolvimento, e 8 centros de testes de tecnologia CCS. (Figura 13)

Figure 13 – Instalações de CCS no Mundo em diferentes estágios de desenvolvimento



Fonte: Relatório de Status Global do CCS 2020- Global CCS Institute

¹⁵⁹ GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p. 19.

A Figura 13 apresenta o mapa mundial com as instalações de CCS em vários estágios de desenvolvimento, onde é possível notar uma alta concentração de projetos em operação, projetos pilotos nos Estados Unidos e na região norte da Europa, em especial Reino Unido e Noruega.

A CCS se beneficia de economias de escala, como a maioria das indústrias. Quanto mais completa em termos de compressão em escala, desidratação, tubulação e armazenamento, impulsiona grandes reduções no custo por tonelada de CO₂. O custo do CCS é uma questão-chave no debate público, e possui muitas dimensões.

Em várias aplicações industriais o custo, segundo o Instituto, está muito abaixo do que muitos esperariam, dada as repetidas alegações de que o “CCS é muito caro”. Parte da missão do Instituto é melhorar o entendimento do perfil de emissões e opções de mitigação para o setor industrial, muitas vezes ofuscado por controvérsias e debates públicos sobre o carvão e tecnologias renováveis no setor da energia. No caso da geração de energia, há também uma compreensão pobre, mas crescente, das emissões do ciclo de vida da geração de energia a gás, incluindo o montante do processamento de combustível, e do papel que o CCS pode desempenhar.¹⁶⁰

As principais medidas utilizadas para relatar os custos das instalações do CCS são, o ciclo de vida ou o custo unitário “nivelado”¹⁶¹ de produção, e o custo por tonelada de CO₂ evitado. Os custos nivelados no setor elétrico são usados frequentemente e de maneira inadequada para comparar tecnologias que não compartilham as mesmas características, particularmente, que algumas tecnologias renováveis estão sujeitas à variabilidade climática e, portanto, possui valor diferente para o sistema elétrico.¹⁶²

Para uma noção visual em números, a Figura 14 apresenta custos da área de indústria por escala de medida, referência nos EUA.¹⁶³ As estimativas de custos para

¹⁶⁰ IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.1.

¹⁶¹ Custos nivelados são uma medida comparativa importante porque eles explicam a escala e taxa de produção da usina ao longo de sua vida. - IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.1.

¹⁶² O custo por tonelada de CO₂ evitado é uma medida adicional que permite comparações entre vários tipos de tecnologia em termos de seu valor para o dinheiro na redução das emissões de gases de efeito estufa. Tais medidas são importantes na discussão dos benefícios líquidos das instalações do CCS, que normalmente envolvem grandes investimentos iniciais em comparação com outras importantes tecnologias de baixa emissão. - IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.4.

¹⁶³ As representações dos custos são em dólares dos EUA, e as siglas FOAK ou NOAK, são baseadas no termo “tecnologias inéditas ou não inéditas”.

o CCS em vários países são apresentadas na Figura a seguir (para geração de energia, em base de custos nivelados).

Figura 14 -Estimativas de Custos no CCS

	PC super-critical	Oxy-comb. super-critical	IGCC	NGCC	Iron and steel	Cement	Natural gas	Fertiliser	Biomass to ethanol
Levelised cost	US\$/MWh	US\$/MWh	US\$/MWh	US\$/MWh	US\$/tonne	US\$/tonne	US\$/GJ	US\$/tonne	US\$/litre
Without CCS	75-77	-	95	49	280-370	101	3.75	400-450	0.40-0.45
With CCS - FOAK	124-133	118-129	141	78	114	69	0.061	13	0.018
With CCS - NOAK	108	107	102	62	95	58	0.058	12	0.017
Increase for FOAK w. CCS	60-70%	51-64%	45%	57%	30-41%	68%	2%	3-4%	4-5%
% decrease FOAK to NOAK	-13 to -19%	-9 to -16%	-28%	-21%	-17%	-16%	-5%	-8%	-6%
Cost of CO₂ avoided (US\$/tonne CO₂)									
FOAK	74-83	66-75	97	89	77	124	21.5	25.4	21.5
NOAK	55	52	46	43	65	103	20.4	23.8	20.4

Notes: For industrial processes, levelised costs are expressed on an incremental basis relative to current market commodity prices which have been used as an analogue for the cost of production without CCS. Ranges are presented for technologies that represent a family of multiple reference plants. This includes the variability in market price identified for industrial commodities (such as iron and steel). The transport and storage costs applied are between 7 and 12 US\$/tonne CO₂ for all power generation technologies. A combined 11 US\$/tonne CO₂ is included for the industrial case transport and storage costs.

Fonte: Global CCS Institute¹⁶⁴

As diferenças nos custos nivelados também se refletem no custo por tonelada de CO₂ evitado. O custo de CO₂ evitado (todos os valores em USD) variam de US\$ 21,5/tonelada para processamento de gás e produção de bioetanol, cerca de US\$ 78/tonelada para geração de energia a carvão, US\$ 89/tonelada para geração de energia a gás e até US\$ 124/tonelada para produção de cimento. Todos os custos incluem transporte e armazenamento.¹⁶⁵

Para indústrias e jurisdições sem política efetiva de incentivo a redução das emissões de CO₂, as receitas da venda de CO₂ capturado para maior recuperação de petróleo (EOR) têm sido o principal meio de trazer muitas instalações CCS em larga escala ao mercado. Por exemplo, o relatório “*Boundary Dam Fact Sheet: Carbon Dioxide capture and storage project*” sugere preços de venda de CO₂-EOR de cerca de US\$ 20 por tonelada, observando que isso depende do preço de mercado do petróleo extraído.¹⁶⁶

¹⁶⁴ IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.4.

¹⁶⁵ IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.4.

¹⁶⁶ “Os casos de Gorgon, Sleipner e Snøhvit, na Noruega, com armazenamento geológico dedicado e sem receitas de EOR, sugerem que penalidades cuidadosamente direcionadas ou condições de

Os primeiros desenvolvimentos de CCS adotaram um modelo chamado como “ponto a ponto”, em que um único emissor de grandes dimensões era favorecido como uma central elétrica ou uma unidade de processamento de gás, se localizava a uma certa distância de um local de armazenamento de grandes dimensões. Existem economias de escala significativas a obter, exclusivamente nos custos de capital das instalações de compressão e gasodutos. Esse ecossistema industrial com múltiplos clientes e fornecedores de serviços CCS, ajudam a reduzir o risco.

Os chamados “Hubs”, permitem uma melhor comunicação entre as instalações de captura de carbono e os recursos de armazenamento. Eles permitem operações de compressão mais flexíveis, permitindo uma maior redução do fluxo, do que seria possível com as usinas de compressão individuais em todas as fontes.

Entre todos os Hubs e Clusters CCS¹⁶⁷ que estão operando ou progredindo através das pesquisas feitas pelo CCS Global Institute em 2019-2020, o centro que está mais avançado em desenvolvimento é o projeto *Northern Lights* (Figura 15). Este Hub Norueguês de CCS¹⁶⁸, no Mar do Norte, agrega fluxos de CO₂, iniciando com fontes de base de instalações de WtE¹⁶⁹ e cimento.

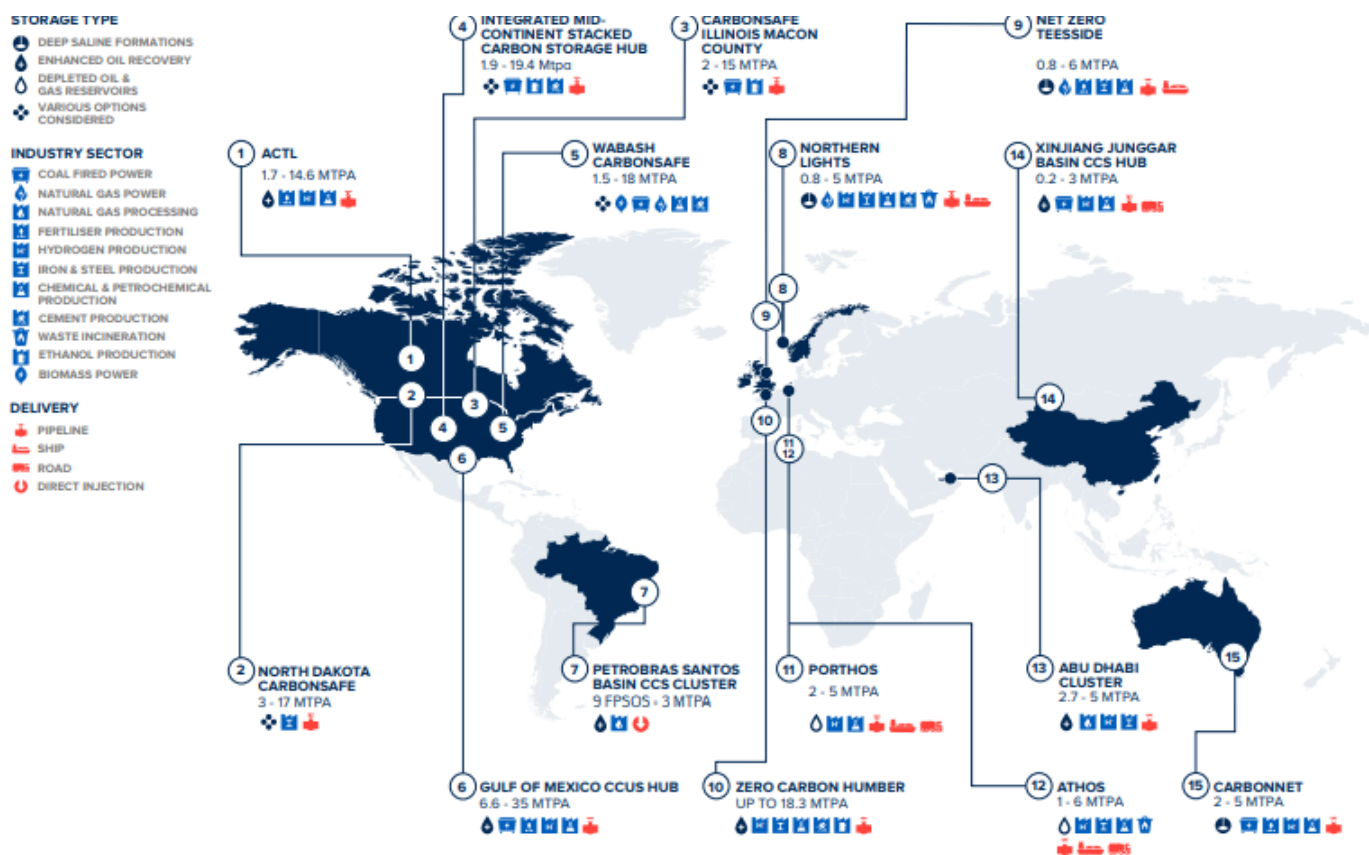
licenciamento relacionadas às emissões de CO₂ podem ajudar a superar o custo do CCS em algumas indústrias, em vez de grandes subsídios públicos que estimulou a implantação de tecnologias de redução de emissões na geração de energia. Assim como as tecnologias renováveis, espera-se que a necessidade de subsídios diretos, para apoiar a implantação do CCS na geração de energia, diminua ao longo do tempo à medida que as rodadas subsequentes de instalações aprendam com seus antecessores e sejam construídas com um menor custo e risco de investimento. Experiências de instalações de energia "inéditas" estão sendo examinadas de perto e provavelmente serão aplicadas a outras aplicações de CCS pós-combustão em ferro e aço e cimento.” - IRLAM, Lawrence. - Global costs of carbon capture and storage, p.7-8.

¹⁶⁷ O Hub número 9, “NET ZERO TEESSIDE”, é um Hub inglês com uma coleção de negócios industriais, de energia e hidrogênio que visam descarbonizar suas operações por meio da implantação de utilização e armazenamento de captura de carbono (CCUS). - NET ZERO TEESSIDE – Delivering a Net Zero Teesside.

¹⁶⁸ O valor em dólares por TAXA de Carbono na Noruega (por indústria), é estimado em 53 dólares por tonelada de CO₂.

¹⁶⁹ WtE refere-se a um grupo de tecnologias para tratar resíduos visando a recuperação energética na forma de calor, eletricidade ou combustíveis alternativos, como o biogás. O escopo do termo ‘Waste to Energy’ (transformação de resíduos em energia) é amplo, englobando tecnologias de diversas escalas e complexidades. GIZ – Opções em Waste to Energy na gestão de resíduos sólidos urbanos.

Figura 15 - Hubs e Clusters CCS



Fonte: Relatório de Status Global do CCS 2020- Global CCS Institute

Na Figura 15, podemos ver representado pelo número 8 o projeto *Northern Lights*, um projeto desenvolvido pela Equinor, Shell e Total. O diferencial desse projeto é que ele irá comprimir e liquefazer o CO₂ em instalações de origem, antes do transporte por navio, destinado a um local de armazenamento.¹⁷⁰ Já na imagem a seguir, é possível ver as várias recursos e países ao redor, das quais o *Northern Lights* está integrado.

¹⁷⁰ GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p.23.

Figura 16 – Interligação do Projeto Northern Lights



Fonte: Relatório de Status Global do CCS 2020- Global CCS Institute¹⁷¹

Todos os projetos deste âmbito consideram que a posição legal do armazenamento geológico de CO₂ está sob o direito internacional. Os tratados relevantes fornecem a base para qualquer avaliação da posição jurídica. Os Estados, em conjunto ou individualmente, aplicam suas interpretações às disposições do tratado, e caberá ao Tribunal de Justiça ou um Tribunal arbitral, agir de acordo com o mecanismo de resolução de controvérsias sob esse tratado.¹⁷²

Conforme os princípios gerais do direito internacional habitual, os Estados podem exercer sua soberania em seus territórios, o que significa que poderiam se envolver em atividades no âmbito do armazenamento de CO₂ (geológico ou no oceano), nas áreas sob sua jurisdição. No caso de uma ocorrência no armazenamento causar impactos transfronteiriços, os Estados possuem a

¹⁷¹ O projeto “Langskip” representado na imagem (linha vermelha) será mencionado no capítulo seguinte; as linhas representadas pela cor azul-escuro, representam os pontos de CO₂ a serem coletados; E azul-claro, são outros projetos da área de CCs que possuem local de armazenamento.

¹⁷² GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p.27.

responsabilidade de garantir que as atividades não causem danos ao meio ambiente de outros Estados ou de áreas além dos limites da jurisdição nacional.

4 ESTUDO DE CASO: O Projeto “Northern Lights”

O CCS é importante para capturar o carbono e ao mesmo tempo permitir o uso dos combustíveis fósseis. Se esse projeto for bem-sucedido e tiver sucesso, podemos começar a replicar esse tipo de projeto em todas as explorações na área de petróleo e gás. Algumas empresas no ramo de energia passaram a estudar o método e adquirir para se tornarem menos emissoras, e se mostrarem preocupadas com as questões do meio ambiente. Isso é também relevante, considerando que as empresas tradicionais de petróleo estão em processos de transformação para empresas de energia, *latu sensu* e não querem abandonar abruptamente o setor do “oil and gas” e projetos como o CCS permitem a concretização dessa estratégia, onde a sustentabilidade ambiental seja um dos pilares.

O quarto capítulo dessa dissertação vai fazer um estudo de caso de uma empresa chamada Equinor, de grande relevância no mercado de energia, que adotou o método CCS, e estão a participar de um dos maiores projetos de CCS, conhecido como Northern Lights. O *Northern Lights* é um projeto em curso, com previsão para funcionamento em 2024.

O projeto conta com inúmeras parcerias, e é classificado como o maior de sua categoria por conseguir capturar o carbono em uma grande escala, com capacidade de transportá-lo e também armazená-lo. Uma tecnologia totalmente integrada e completa. De acordo com seu projeto de escala, possui estrutura para ser o melhor do mercado, e o que irá solucionar a questão do carbono. Os dados encontrados do projeto estão disponíveis no site da própria: Northern Lights.

4.2 Equinor

A Equinor é uma empresa internacional de energia, que possui operações em mais de 30 países ao redor do mundo, incluindo várias importantes instalações de produção de petróleo e gás. Fundada em 1972 como *Den Norske Stats Oljeselskap*

AS – *Statoil*¹⁷³ (a estatal norueguesa de petróleo), em 2018 alterou o nome e ficou reconhecida como Equinor, sediada em Stavanger, na Noruega.¹⁷⁴

É uma empresa líder, que opera na plataforma continental norueguesa, com significativas atividades internacionais, como na América do Norte e Sul, África, Ásia, Europa e Oceânia. Aliciados na exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás, bem como energia solar e eólica. Vendem petróleo bruto e são um importante fornecedor de gás natural, com atividades de processamento, refino e comercialização.

Até 2050 a empresa pretende se tornar uma empresa líquida zero (net zero), e fornecer a energia necessária para colaborar com a diminuição do aquecimento global. As mudanças climáticas indicam que se deve mudar a forma como o mundo produz e consome energia, para eliminar os danos à nossa sociedade e ao meio ambiente. E motivada por isso, iniciou a transição das fontes de energia fóssil para as renováveis, e também a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Mesmo que ocorra a transição energética a empresa afirma que não é possível parar a 100% a produção de petróleo e gás, pois os seres humanos dependem de energia para realizar os afazeres diários como cozinhar, locomover, aquecer e resfriar suas casas, e produzir bens e serviços na indústria e na tecnologia. Se o acesso ao petróleo fosse interrompido, o mundo pararia rapidamente. “Todos os dias a Equinor fornece energia para 170 milhões de pessoas”¹⁷⁵.

Provavelmente a população global atingirá 9,7 bilhões de seres humanos em 2050¹⁷⁶, e uma parcela considerável da população dos países em desenvolvimento da Ásia e África alcançará um padrão de vida mais elevado, com isso, maior necessidade de energia em linha com o crescimento econômico.¹⁷⁷ A necessidade de cortar e reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa para conter as

¹⁷³ Equinor – What we do.

¹⁷⁴ A Noruega é um dos principais produtores de petróleo do mundo desde 1973, que foi quando começou a exploração petrolífera do Mar do Norte, e como querem continuar explorando o Mar do Norte, buscam mecanismos de fazer a exploração de uma forma neutra em termos de carbono. Eles querem continuar a exploração, então é preciso encontrar formas alternativas de serem “amigos do ambiente”.

¹⁷⁵ Equinor – What we do.

¹⁷⁶ Segundo a ONU, atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050. NU – Centro regional de informação para a Europa ocidental.

¹⁷⁷ Estimativas que a Equinor usa de acordo com o relatório especial do IPCC, apresentado no capítulo 3.1.1. IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

mudanças climáticas está acontecendo, e em paralelo existe um aumento proporcional na demanda por energia devido ao crescimento da população global, ou seja, o mundo enfrenta um dilema complicado. Segundo o chefe da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO)¹⁷⁸, “as mudanças climáticas estão afetando a produção de alimentos ao redor do mundo”, devido a seca excessiva, ondas de calor e frio, chuvas fora de época, o que deixam as estações do ano cada vez mais incertas.¹⁷⁹

As energias renováveis não possuem capacidade, ainda, de atender as necessidades de energia do mundo, por isso as alternativas são reduzir ao máximo as emissões de carbono e tornar a produção de petróleo mais sustentável. As causas mais significativas do aquecimento global são as emissões vindas de carvão, petróleo e gás, por isso a Equinor como empresa de energia, também faz parte da solução desse problema e ajuda a desenvolver soluções livres de emissões de carbono que o mundo precisa. Com uma pegada de carbono reduzida na produção de petróleo e gás, é possível realizar cortes consideráveis de emissões em uma base global.

A empresa tem-se empenhado no trabalho de novas medidas para manter o CO₂ fora da atmosfera, dentre eles a eletrificação offshore, fornecimento de eletricidade renovável para plataformas de petróleo, tecnologia para alcançar uma produção com maior eficiência energética, captura e armazenamento de carbono (CCS).¹⁸⁰

A eletrificação de plataformas é um investimento no clima e um futuro sustentável para a indústria do petróleo. Se mais dos campos de produção da Equinor pudessem ser movidos a eletricidade em vez de gás, a empresa é capaz de remover algumas das principais fontes de emissões na Noruega.¹⁸¹ “Por exemplo, o campo *Johan Sverdrup* tem modestos 0,67 kg de emissões de CO₂ por barril, graças à

¹⁷⁸ FAO – About FAO.

¹⁷⁹ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

¹⁸⁰ Segundo Bevanger, o CCS é extremamente caro, e críticos afirmam que ele não passa de uma desculpa para a indústria de combustíveis fósseis continuar operando normalmente, em detrimento da evolução de alternativas renováveis. Porém, na Noruega, a tecnologia vem ganhando impulso, o que não surpreende, dados os contínuos planos do país de explorar suas enormes reservas de petróleo. – BEVANGER, Lars. – Armazenamento de CO₂ no fundo do mar ganha força na Noruega.

¹⁸¹ Sundset, entrevistado por Bevanger, acredita que: A produção de energias renováveis cresce rapidamente, mas muitas indústrias, como as de cimento e aço, emitem vastas quantidades de dióxido de carbono em seus processos produtivos. É aí que a tecnologia de captura e armazenamento de carbono aparece como a única solução, já que a outra alternativa seria encerrar completamente a produção. – BEVANGER, Lars. – Armazenamento de CO₂ no fundo do mar ganha força na Noruega.

eletrificação das plataformas. Para efeito de comparação, a média global do setor é de 18 kg CO₂.”¹⁸²

A eficiência energética consiste em uma produção mais sustentável de petróleo e gás, o que significa que a forma de trabalhar é simplificada e reduz a energia necessária para realizar o trabalho como: Digitalização de processos de trabalho, robotização e operação remota, menos viagens offshore e impressão 3D, reduzindo a necessidade de frete.

Sobre a captura e armazenamento de carbono, a Equinor se baseia nas medidas recomendadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para limitar o aquecimento global a 1,5 graus Celsius¹⁸³, e também na Agência Internacional de energia (AIE)¹⁸⁴, que diz que é preciso armazenar vários bilhões de toneladas de carbono todos os anos para reduzir o aquecimento.

A tecnologia de captura e armazenamento de CO₂, é considerada uma solução importante para a redução das emissões. Portanto, quando é removido o CO₂ das fontes de emissão e o armazenamento é feito permanentemente abaixo do leito do mar para que não seja liberado na atmosfera, é uma solução significativa principalmente para as indústrias que não conseguem fazer uma transição rápida para a energia renovável.¹⁸⁵

A Equinor desenvolve tecnologias há mais de 20 anos no setor de energia, e pretendem alavancar as capacidades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e inovação para o desenvolvimento de novas soluções de energia a um custo admissível. Querem manter a competitividade do petróleo e gás em um futuro de baixo carbono, com esforços na área de armazenamento e aproveitamento de CO₂, descarbonização do gás natural por meio de cadeias de valor do hidrogênio e soluções de transporte de combustíveis com baixo teor de carbono.

Por esses motivos acaba por ter um papel de destaque nessa área, participando atualmente em mais de 40 projetos (alguns dos projetos na Figura 17), dentre eles o projeto “Northern Lights”, na Noruega, que é uma colaboração

¹⁸² Equinor – Oil and gas.

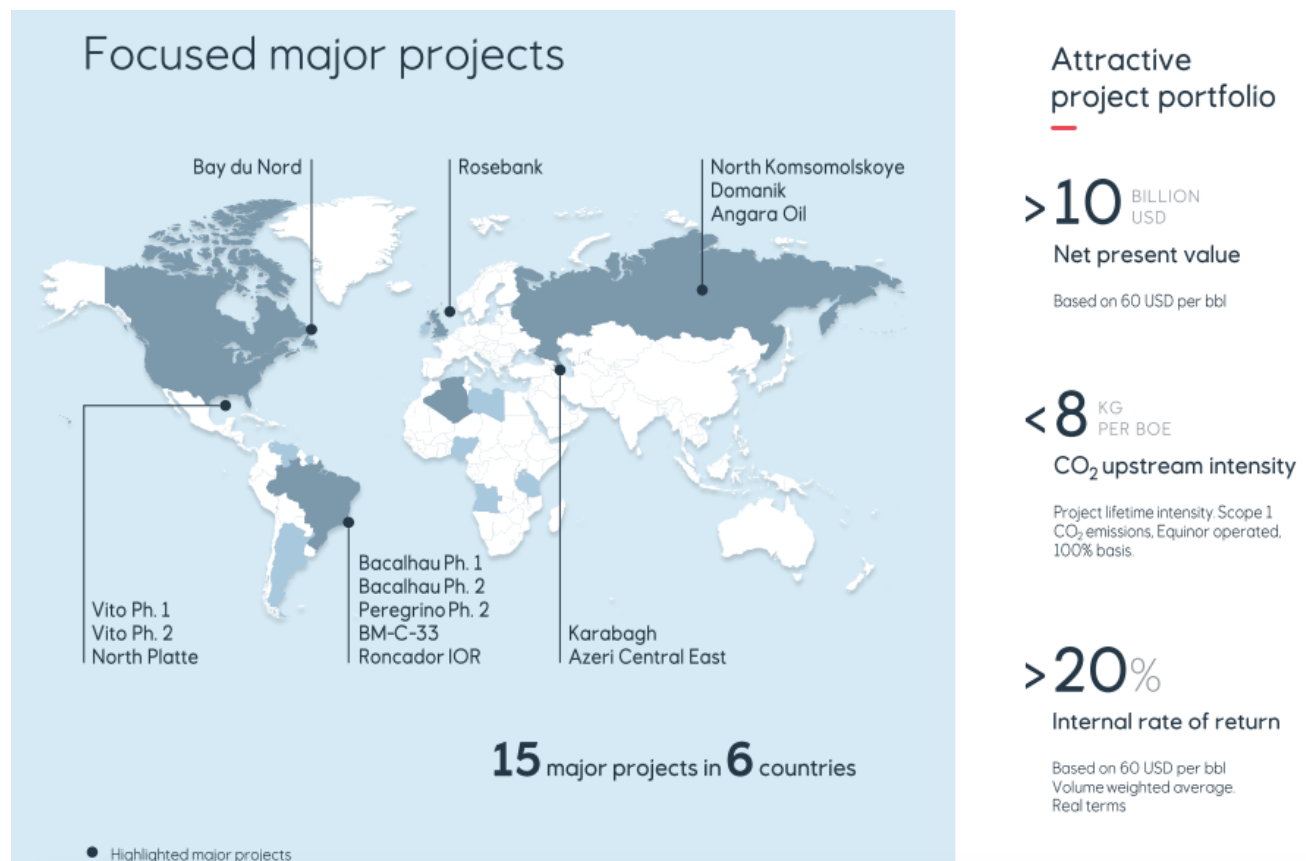
¹⁸³ IPCC – Special Report, Global warming of 1.5°C.

¹⁸⁴ IEA – Net Zero by 2050: A roadmap for the Global Energy sector.

¹⁸⁵“Podemos colocar quantos painéis solares quisermos em todas as fábricas de cimento que quisermos, ainda assim teremos emissões de CO₂ muito altas nessa indústria”, constata Bevanger. “E a única solução que conhecemos hoje é capturar o dióxido de carbono e armazená-lo no subterrâneo”. – BEVANGER, Lars. – Armazenamento de CO₂ no fundo do mar ganha força na Noruega.

estimulante com a Shell e a Total, e compreende o transporte, o recebimento e o armazenamento permanente de CO₂ em um reservatório na parte norte do Mar do Norte.¹⁸⁶

Figura 17 – Principais Projetos da Equinor no Mundo



Fonte: Relatório *Capital markets day* - EQUINOR

¹⁸⁶ Por meio do projeto Sleipner, de 1996 até meados dos anos 2000, a petrolífera da Noruega injetou com êxito sete milhões de toneladas de gás carbônico a uma profundidade de mil metros dentro do aquífero salino de Utsira, localizada na região costeira do Mar do Norte. Essa foi praticamente a única medida da empresa em relação à pauta de energia limpa, ou seja, a ação da Equinor ficou restrita à “redução das emissões” naquele período. Portanto, até os anos 2000, os esforços da empresa na agenda da mudança climática se concentraram na mitigação dos impactos negativos das atividades de exploração e produção de petróleo sobre o meio ambiente, principalmente no exterior. – LEÃO, Rodrigo. - Equinor avança em renováveis, mas segue na busca pelo melhor modelo de investimento.

4.3 Northern Lights

Como recomendado pelo IPCC e AIE, a Equinor como grande indústria no ramo de energia está buscando novos modelos de negócios para tornar o CCS comercialmente viável nos sistemas de energia descarbonizados no futuro. Esta sendo conduzido estudos em nome das autoridades norueguesas para desenvolver CCS em uma escala grande na Noruega.¹⁸⁷ A ideia inclui a captura de CO₂ de várias indústrias *onshore*, transportando-o em navios e injetando e armazenando permanentemente no fundo do mar (de 1000 a 2000 metros).¹⁸⁸

A Noruega tem experiência em armazenar CO₂ com segurança nas profundezas do Mar do Norte por mais de duas décadas. É líder mundial em captura e armazenamento de carbono, com base em uma riqueza de conhecimento industrial e *expertise* tecnológica de sua experiência em petróleo e gás. Também possui uma estrutura regulatória forte que apoia tecnologias limpas. “A Noruega tem uma das melhores condições geológicas da Europa para desenvolver capacidade de armazenamento submarino de CO₂, com capacidade total de armazenamento de cerca de 80 bilhões de toneladas.¹⁸⁹ Isso é o suficiente para armazenar todas as emissões atuais de CO₂ da Noruega por mais de mil anos”¹⁹⁰. O país já possuía o

¹⁸⁷ O governo norueguês quer contribuir para o desenvolvimento de tecnologias econômicas para captura, transporte e armazenamento permanente de CO₂. O governo tem a ambição de realizar uma demonstração de CCS em larga escala na Noruega, uma vez que contribuirá para a experiência técnica, de mercado e regulatória internacionalmente. O Projeto norueguês de demonstração do CCS (NFSP) foi desenvolvido como uma parceria pública privada onde o governo norueguês, juntamente com parceiros industriais, explorou e definiu possíveis cadeias de valor e soluções do CCS. O governo norueguês definiu objetivos sociais abrangentes em conjunto com a indústria e encontrou uma plataforma comum para o projeto. - GASSNOVA - The norwegian full-scale CCS demonstration project: Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS), p.4.

¹⁸⁸ “A emenda de 2006 ao Protocolo de Londres, permitindo o armazenamento de CO₂ em formações geológicas do fundo do mar, foi um passo importante da comunidade internacional no reconhecimento do papel potencial do CCS na mitigação das mudanças climáticas. No entanto, não removeu todas as barreiras. Tornou-se evidente para aqueles que buscavam exportar CO₂ para armazenamento, ou hospedar projetos de armazenamento em seu território, que isso não era permitido.

Em outubro de 2009, uma emenda ao Protocolo foi proposta para permitir o movimento transfronteiriço de CO₂ para armazenamento, mas não foi ratificado por um número suficiente de Partes. Houve um impasse até outubro de 2019.” - GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p.26.

¹⁸⁹ “Na reunião de outubro de 2019 das Partes Contratantes do Protocolo de Londres, a questão foi levantada mais uma vez, e uma proposta de resolução foi apresentada conjuntamente pelos governos da Holanda e da Noruega. Segundo esta proposta, as Partes permitiriam a “aplicação provisória” da alteração de 2009, dando “consentimento para o transporte transfronteiriço de dióxido de carbono para fins de armazenamento geológico, sem entrar em não conformidade com os compromissos internacionais”. Um acordo formal foi alcançado.” - GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p.26.

¹⁹⁰ BRUUN, Kim T. – How does co2 storage work.

projeto *Longship*, que contribuiu para as metas nacionais de redução de CO₂ e estabelecer uma nova cadeia de valor e ecossistema em torno do CO₂, facilitando a energia de baixo carbono na Noruega e em todo o mundo para o futuro.

Atualmente o governo norueguês está financiando uma parte significativa da primeira fase de desenvolvimento de infraestrutura para demonstrar o potencial do uso de tecnologia de captura, transporte e armazenamento de carbono para descarbonizar a indústria e dar o pontapé inicial em uma indústria de transporte e armazenamento de CO₂ comercialmente viável que pode ser expandida conforme necessário.¹⁹¹ E junto a isso, abre explicitamente o acesso à indústria europeia, partilhando conhecimentos e encorajando os Estados-Membros da UE a replicar os seus esforços.¹⁹²

O projeto de CCS norueguês “*Northern Lights*”, é o componente de transporte e armazenamento do projeto *Longship* da Noruega, que inclui a captura de CO₂ de fontes industriais na região de Oslo. A *Northern Lights* envia o CO₂ para um terminal terrestre na costa oeste norueguesa e, de lá, transporta o CO₂ liquefeito por gasoduto para um local de armazenamento submarino no Mar do Norte. Também oferecerá às empresas de toda a Europa a oportunidade de armazenar seu CO₂ de forma segura e permanentemente profunda sob o fundo do mar na Noruega.

A capacidade inicial desse projeto, é um armazenamento de 1,5 milhões de toneladas de CO₂ por ano. E assim que o CO₂ é capturado em terra, é transportado por navios, injetado e armazenado permanentemente de 1000 a 2000 metros no fundo do mar. É uma solução que permite acomodar grandes volumes de CO₂ de toda a Europa, que seriam emitidos de outra forma. A fábrica Fortum CHP de Oslo e a fábrica de cimento Norcem em Brevik, a sul de Oslo, participarão junto a Equinor, a

¹⁹¹ “Os países que desejam exportar ou receber CO₂ para armazenamento agora podem; sujeito ao fornecimento de uma declaração de aplicação provisória e notificação de quaisquer acordos ou convênios à Organização Marítima Internacional. Efetivamente, as Partes do Protocolo de Londres, implementarão as disposições da emenda de 2009 antes de sua entrada em vigor.” - GLOBAL CCS INSTITUTE – Global status of ccs 2020, p.26.

¹⁹² A Noruega é um dos principais países que investem em energias renováveis, mas ao mesmo tempo possui seus segredos em relação as explorações. O país enriqueceu com o petróleo do Mar do Norte, explorando as reservas do Mar do Norte ao mesmo tempo em que o Reino Unido, nos anos 70. A Noruega tem um fundo soberano de 1 trilhão de dólares, esse fundo foi construído graças as poupanças petrolíferas, porque possuíam uma população muito reduzida. Uma das perspectivas de continuarem fazendo exploração é serem neutrais em termos de carbono. Isso pode significar várias coisas, dentre elas é investir em projetos verdes para compensar as emissões, que a exploração petrolífera faz, e outro mecanismo mais eficaz é capturar as emissões ao mesmo tempo em que eles fazem a exploração de petróleo, o que se encaixa no método do CCS.

Shell e a Total, no projeto “*Northern Lights*”, a fim de evitar que grandes quantidades de carbono atinjam a atmosfera. Em Oslo, mais especificamente Klemetsrud é queimado todos os dias cerca de 1000 toneladas de resíduos domésticos na central de recuperação de energia. O lixo é originado das famílias de toda a Noruega, outras partes da Europa e de todos os tipos de empresas e estaleiros de construção.

Desta forma, os resíduos que não devem ou não podem ser reciclados são utilizados para fornecer calor e eletricidade a comunidade circundante, um processo chamado de “*Combined Heating and Power*” (CHP), que basicamente traduz a combinação de aquecimento e energia. Só o processo de incineração em si emite cerca de 400mil toneladas de dióxido de carbono por ano, que é cerca de 14% das emissões totais de CO₂ da capital, fazendo dela a maior emissora em Oslo, correspondendo a cerca de 200mil veículos por ano.

Segundo Jannicke Gerner Bjerkas¹⁹³, diretora da Fortum em Oslo, é tecnicamente muito complicado e caro remover CO₂, mas o potencial é enorme se for transmitido adiante esses projetos. Ela diz que sua empresa tem operado em uma pequena fábrica piloto em Klemetsrud por cerca de 9 meses, e os testes mostram que existe a capacidade de capturar quase todo o carbono, cerca de 95%, no gás de combustão.

A fábrica de cimento Norcem em Brevik participará do projeto, devido a indústria ser uma grande emissora de CO₂. De acordo com Per Brevik, diretor de sustentabilidade e combustíveis alternativos da Norcem, diz que a empresa é responsável por cerca de 5 a 8% das emissões globais, e isso se deve pela parte de combustível que é utilizado para a produção do cimento. A indústria de cimento é um dos setores mais intensivos em consumo energético e emissão de dióxido de carbono do mundo.¹⁹⁴ É emitido meia tonelada de CO₂ por cada tonelada de produto produzido, com isso o diretor acredita que seja inevitável a aplicação do projeto na fábrica.

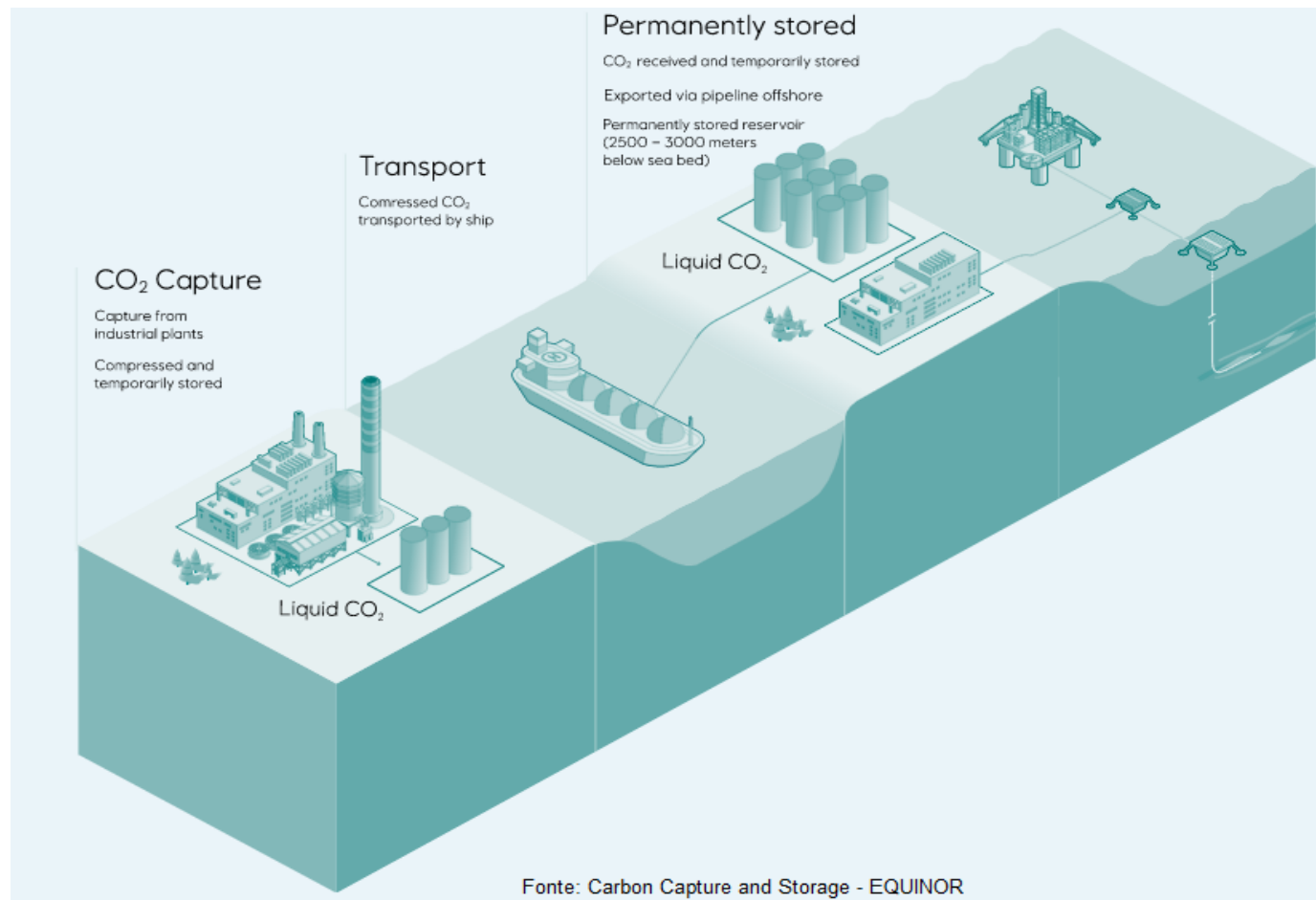
Segundo Brevik, a expectativa é de capturar 400mil toneladas de CO₂ todos os anos, que equivalem a mais de 200mil carros e suas emissões todos os anos.

¹⁹³ EQUINOR – What do we do when renewable energy isn't enough?

¹⁹⁴ CARRASCO-MALDONADO, F. *et al.* - Oxy-fuel combustion technology for cement production—State of the art research and technology development, p, 189-199.

Tanto a Fortum como a Norcem receberam subvenções do governo para iniciar os projetos CCS.

Figura 18 – Diferentes estágios dos Projetos aplicados pela Equinor



A instalação de armazenamento de CO₂ na plataforma norueguesa, será a primeira instalação no mundo que pode receber CO₂ de várias fontes industriais. Não há muitos projetos de segmento CCS em andamento no mundo atualmente, e os poucos que tem envolvem apenas a captura de CO₂ de uma instalação específica.

Outros projetos não pretendem construir a mesma infraestrutura do *Northern Lights*, com uma solução de transporte flexível, navios que possam ir a todos os portos da Europa, e um terminal de recepção com local de armazenamento (Figura 18). Esta é uma solução para muitas indústrias que pretendem reduzir as emissões, mas não possuem um local para armazenar o CO₂.

Os planos de desenvolvimento e operação da *Northern Lights* foram entregues ao Ministério do Petróleo e Energia na Noruega. Sobre o investimento, esteve sujeito

a decisão final das autoridades norueguesas e à aprovação do Órgão de Fiscalização da EFTA¹⁹⁵.

A decisão de investimento conclui a fase de estudo que a Equinor, Shell e Total trabalharam em estreita colaboração com as autoridades norueguesas para conduzir estudos de engenharia e planeamento de projeto, perfuração de um poço de confirmação e desenvolver os acordos necessários. Os investimentos iniciais totalizaram quase 6,9 bilhões NOK¹⁹⁶. A indústria norueguesa irá gerar empregos, com cerca de 57% do investimento indo para os empreiteiros noruegueses.

Em junho de 2017, a Gassnova¹⁹⁷ concedeu à Equinor o contrato para a primeira fase do projeto “*Northern Lights*”, a Equinor sendo a empresa que lidera o projeto enquanto a Shell e a Total entram como parceiros iguais. Todos contribuem com mão-de-obra, experiência e apoio financeiro. No mês de outubro do mesmo ano, foi assinado o acordo de parceria entre a Equinor, Shell e Total para o desenvolvimento do armazenamento de carbono na plataforma continental norueguesa (NCS)^{198, 199}.

4.3.1 Linha temporal do desenvolvimento da Northern Lights

A fase 1 do projeto, inclui a capacidade para transportar, injetar e armazenar até 1,5 milhões de toneladas de CO₂ por ano (Figura 19).²⁰⁰ Assim que o CO₂ fosse capturado em terra por emissores industriais, a *Northern Lights* seria responsável pelo transporte por navio, injeção e armazenamento permanente.²⁰¹

O terminal de recepção de CO₂ está localizado nas instalações da área industrial de Naturgassparken no município de Oygarden, no oeste da Noruega. A

¹⁹⁵ Jornal oficial da União Europeia – Informações relativas ao espaço econômico europeu: Órgão de fiscalização do EFTA.

¹⁹⁶ NOK é a sigla da moeda oficial da Noruega, conhecida como coroa norueguesa.

¹⁹⁷ A Gassnova é uma empresa estatal do Ministério do Petróleo e Energia da Noruega. GASSNOVA - About gassnova.

¹⁹⁸ Abreviação do termo “Norwegian continental shelf”.

¹⁹⁹ NORTHERN LIGHTS – Statoil, Shell and Total enter CO₂ storage partnership

²⁰⁰ A primeira fase do projeto está prevista para 2024, iniciando com a captura de 1,5 milhões de toneladas, e a fase 2 consiste em uma meta muito mais ambiciosa, que pretende capturar cerca de 5 milhões de toneladas de CO₂, em 2025-2027. Essa é a maior escala de um projeto CCS que existe no mundo.

²⁰¹ Dada uma decisão positiva de investimento final do governo norueguês e dos parceiros do projeto em 2020. A fase 1 está prevista para estar operacional em 2023. - GASSNOVA - The norwegian full-scale CCS demonstration project: Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS).

central será operada remotamente a partir das instalações da Equinor no terminal de Sture, em Oygarden, e das instalações submarinas da plataforma A de Oseberg no Mar do Norte.

A instalação permitirá expandir novas fases de capacidade, e os investimentos em fases subsequentes serão desencadeados pela procura no mercado de grandes emissores de CO₂ em toda a Europa. A união das três empresas passa credibilidade ao projeto, e compartilham uma visão comum da infraestrutura do armazenamento de carbono.

De acordo com Monika Hausenblas²⁰², a Shell vê o CCS como uma tecnologia transformadora que pode reduzir as emissões das indústrias que continuarão dependendo dos hidrocarbonetos nas próximas décadas. A Shell tem experiência em trabalhar com governos e outros especialistas para apoiar o desenvolvimento e implantação em larga escala de CCS, e satisfeita pelos parceiros de “*joint venture*”.

O presidente da Total, Philippe Sauquet (presidente da estratégia e inovação das energias renováveis e gás da total), diz que a Total está integrando o desafio do clima em sua estratégia, e que o projeto está totalmente alinhado com as ambições do roteiro de baixo carbono para se tornar um líder global de CCS. O objetivo do primeiro projeto integrado em escala industrial, apoiado pelo Governo norueguês, serve para desenvolver um modelo comercial viável com vista à realização de outros grandes projetos em todo o mundo.²⁰³

²⁰² Vice-presidente executiva da Shell para meio ambiente e segurança.

²⁰³ BRUUN, Kim T. – Statoil Shell and Total enter co2 storage partnership.

Figura 19 – Northern Lights – Fases do Projeto



Fonte: Relatório Capital markets day- EQUINOR

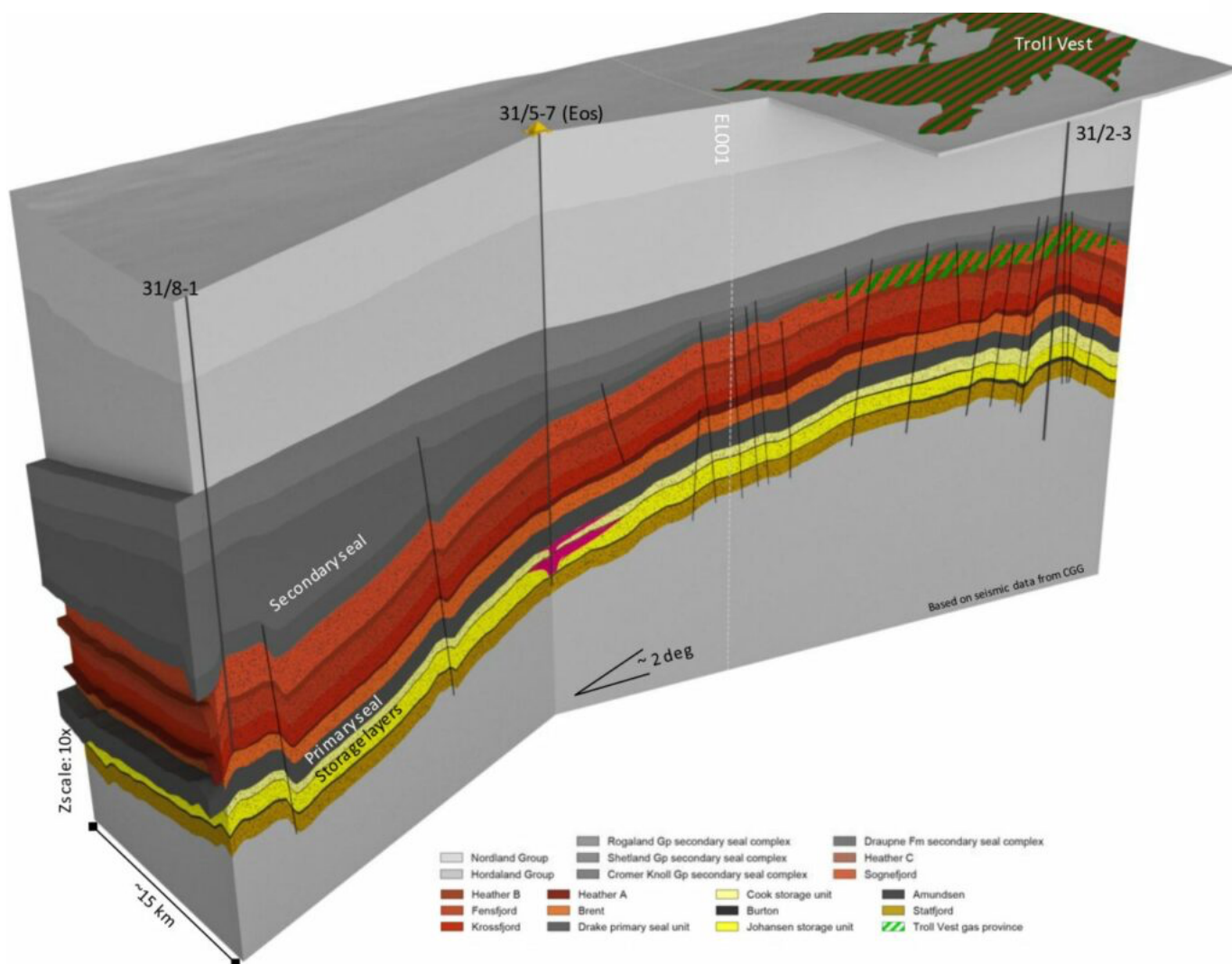
4.3.1.1 Exploração do local para armazenamento

Em Janeiro de 2019, a licença de exploração “EL001” para armazenamento de CO₂, localizada ao sul do campo Troll, foi concedida à Equinor e seus parceiros. O poço de confirmação 31/5-7 (Eos) dentro da licença EL001 foi perfurado e testado do dia 2 de dezembro de 2019 a 7 de março de 2020.

O complexo de armazenamento de CO₂ é definido pelo “*Lower Jurassic Dunlin Group*” em profundidades entre aproximadamente 2500 a 2800 metros abaixo do nível do mar, no local do poço Eos. A formação geológica²⁰⁴ do Dunlin Gp foi bem direcionada para o armazenamento primário, onde as formações, contendo arenito, Cook e Johansen (local de armazenamento ilustrado na Figura 20), podem servir como unidades de armazenamento para o CO₂ injetado. A rocha de cobertura consiste em argilas impermeáveis chamadas “*formação Drake*”, que evita que o CO₂ migre para fora do Dunlin Gp.

²⁰⁴BRUUN, Kim T. – Safe Geologic storage of captured carbono dioxide.

Figura 20 -Ilustração 3D do esquema da Northern Lights: Poço de confirmação de CO2



Fonte: Site da Northern Lights²⁰⁵

Os dados adquiridos na perfuração do poço 31/5-7 confirmaram um reservatório adequado para o armazenamento de CO2. O que foi coletado está disponível na plataforma OMNIA²⁰⁶. Os dados de superfícies relevantes, perfis de poço, núcleo de dados e testes de poço, estão disponíveis na plataforma, que podem ser usados pelas partes interessadas para avaliação e pesquisa para o benefício do negócio emergente do CCS. “O conjunto de dados compreende aproximadamente

²⁰⁵ Ilustração 3D do esquema da Northern Lights, subsuperfície indo de sul para Norte através do poço de confirmação de CO2 31/5-7 (Eos). A extensão da pluma de CO2 após a injeção de 37,5 Mt é ilustrada em magenta.

²⁰⁶ Omnia Data é a plataforma de dados da Equinor. Equinor – What we do.

850 arquivos e mais de 83 Gigabytes, e pode ser acessado através do Portal de dados Equinor”²⁰⁷

A Equinor possui experiência de duas décadas no armazenamento de CO₂ em locais *offshore*, em Sleipner e Snohvit, para evitar o vazamento na atmosfera. E a Shell está envolvida em dois dos maiores projetos do mundo de armazenamento de CO₂, no Canadá (Quest) e na Austrália (Gorgon).

Os poços são testados para garantir as condições geológicas corretas antes da injeção. O crucial é identificar o lugar certo para injetar e conter o CO₂, para ficar preso nos poros microscópicos das rochas, esse mesmo processo que aprisiona o petróleo e o gás natural por milhões de anos. Os geólogos procuram por uma formação rochosa, estável e profunda o suficiente para garantir que o CO₂ seja um fluido denso ao invés de gás.

Usando os dados sísmicos, é feito um monitoramento próximo, usado para refinar modelos teóricos e observar se o CO₂ está se movendo dentro do espaço rochoso como esperado, esse processo é chamado de “migração de pluma”.²⁰⁸ Em Snohvit, por exemplo, o monitoramento da pluma mostra parte do CO₂ aprisionado em espaços rochosos devido às forças capilares, parte dissolvida em salmoura e parte mineralizada em rocha.²⁰⁹

4.3.1.2 Tecnologias de fundo de mar

No dia 1 de setembro de 2020, o projeto *Northern Lights* junto a *Blue Logic* foram os vencedores do prêmio de inovação ONS 2020 *Innovation Awards*²¹⁰. A *Blue Logic* é uma solução para apoiar a indústria na transferência de mais processos para o fundo do mar, na redução das emissões, aumentando a segurança e melhorando a eficiência das operações *offshore*. A tecnologia inovadora da *Blue Logics* é a “*subsea docking station*” (SDS) no português “docking station submarina de padrão aberto” (AUSB submarino), permanentemente instalada no fundo do mar, que permitirá a qualquer tipo de veículo submarino atracar, recarregar, baixar dados e carregar novos

²⁰⁷ Equinor – Data.

²⁰⁸ Foi possível acompanhar os testes feitos do projeto Sleipner, onde até hoje não houve problemas com o vazamento do CO₂ armazenado no fundo do mar.

²⁰⁹ BRUUN, Kim T. – How does co2 storage work?

²¹⁰ O ONS era abreviação de *Offshore North Sea*, pois o evento era direcionado a empresas com negócios na bacia do Mar do Norte. Hoje, o evento atrai visitantes de todo o mundo e é conhecido apenas como ONS.

planos de missão, e pela primeira vez desacoplar o drone subaquático da embarcação de superfície tripulada.

A tecnologia da *Blue Logic*, segundo o júri da ONS, é inovadora e orientada para o futuro e pode ser um facilitador para mais operações subaquáticas em ambas as indústrias de energia *offshore* tradicionais, mas também para as futuras indústrias oceânicas. Isso permitirá maior confiabilidade e regularidade nos sistemas submarinos, economizará custos e reduzirá as emissões dos gases estufa, e irá melhorar a segurança e condições de trabalho dos empregados.

4.3.1.3 Projeto Transportador “Longship” e Northern Lights

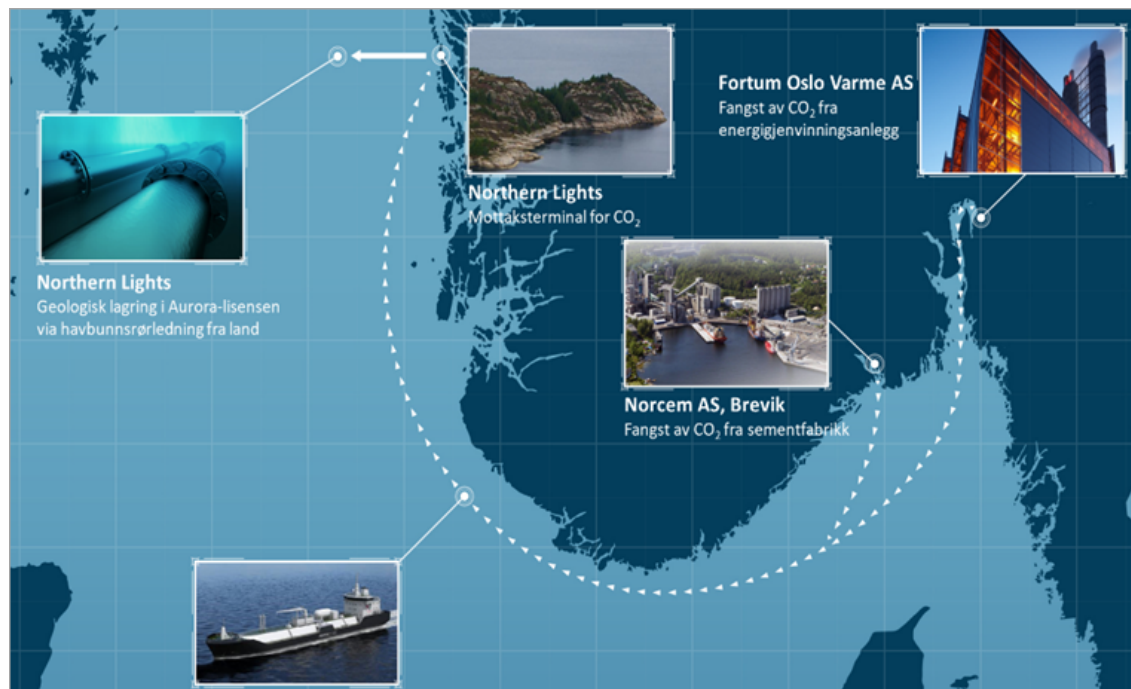
Em setembro de 2020, o Governo da Noruega lançou um projeto denominado “*Langskip*”, no inglês “*longship*”. Esse projeto foi apresentado no Livro Branco do Governo para o Parlamento norueguês, propondo o lançamento de um projeto (um navio de larga capacidade) para ajudar no transporte de CO₂ do CCS. O objetivo inicial é de ser implementado na fábrica de cimento da Norcem em Brevik, para a captura de carbono, e além disso o governo pretende financiar a instalação de incineração de resíduos do Fortum Oslo Varme, em Oslo, desde que o projeto garanta um financiamento próprio suficiente, bem como o financiamento da União Europeia ou de outras fontes. Isso porque de acordo com a primeira-ministra da Noruega Erna Solberg, para que o *Longship* seja um projeto climático de sucesso no futuro, outros países também precisam começar a usar essa tecnologia e essa é a razão pelo qual o financiamento está condicionado a outras contribuições financeiras.²¹¹

O *Longship* é um projeto “pessoal” idealizado para a Noruega, mas que também fará parte do financiamento para o projeto *Northern Lights*. Os investimentos totais no *Longship* são estimados em 17,1 bilhões NOK (cerca de 1,6 bilhões de euros). Esse valor inclui Norcem, Fortum e *Northern Lights*. Os custos operacionais para 10 anos de operação são estimados em 8 bilhões NOK (cerca de 783 mil milhões de euros). A estimativa do custo total é, portanto, 25,1 bilhões NOK (cerca de 2,4 bilhões de euros). O *Longship* receberá auxílio estatal de acordo com a negociação,

²¹¹ BRUUN, Kim T. – The government launches longship for carbono capture and storage in Norway.

e a parte desses custos estimados do estado é de 16,8 bilhões NOK (cerca de 1,5 bilhões de euros).²¹²

Figura 21 – Projeto Longship



Fonte: Site Government.no/ Longship

Com a influência do projeto *Longship* (Figura 21), estão sendo construídos dois transportadores de CO₂, capacitados para cargas de 7.300 m³ e um comprimento de 130m, que serão responsáveis por pegar o CO₂ capturado liquefeito de vários emissores e transportá-lo para o local de armazenamento em terra antes de ser canalizado a 100 km da costa.

Foram adaptados os projetos de navios utilizados para transporte de gás liquefeito de petróleo (GLP), adicionando um sistema de transporte de CO₂ liquefeito, e isolamento para manter a temperatura do CO₂ para ficar em estado líquido. Essa solução dispõe de vantagens, com os quais os estaleiros estão familiarizados, e ao mesmo tempo estabelece um novo padrão para o transporte de CO₂ nas rotas comerciais costeiras.

O CO₂ líquido possui uma densidade maior do que o GLP, aumentando o peso do navio. Com isso, o projeto escolhido inclui dois grandes tanques de carga

²¹² GOVERNMENT.NO - The government launches longship for carbon capture and storage in Norway.

pressurizados de um único cilindro. Esse processo ajuda a maximizar os volumes do transporte, melhora a economia e mantém o processo de fabricação simples.

A pesquisa continua em andamento a respeito de projetos futuros de navios, permitindo o transporte de CO₂ com capacidades maiores, para a faixa de 20.000 a 30.000 m³. Para esses novos conceitos envolvidos serão exigidas tripulações maiores e mais especializadas.

Para manter um baixo nível de emissões, os navios serão cada vez mais eficientes. Foi feita uma pesquisa das condições do vento e das ondas na rota comercial, e os formatos do casco do navio serão otimizados para a rota e perfis de manobras regulares estabelecidos. O combustível primário do navio será o GLP, e outras tecnologias serão instaladas para reduzir a intensidade do carbono, como assistência eólica e lubrificação do ar.²¹³

4.3.1.4 Parceria tecnológica com a Microsoft

A Equinor assinou “*Memorandum of Understanding*” (MoU), do português Memorando de Entendimento, em outubro de 2020, com a Microsoft para explorar maneiras de apoiar o projeto de captura e armazenamento de carbono da *Northern Lights* como um parceiro de tecnologia. A Microsoft irá explorar o uso do projeto para permitir o transporte e armazenamento de CO₂ capturado, o que serve também de incentivo para a Microsoft remover o carbono de suas operações.

O presidente da Microsoft, Brad Smith, acredita que um dos imperativos do mundo hoje é a necessidade de desenvolver novas formas de capturar, transportar e armazenar carbono permanentemente, e isso exigirá um enorme investimento, inovação e uma grande capacidade de computação e dados. E com isso a Microsoft está bastante entusiasmada e comprometida em apoiar abordagens promissoras futuras, e contribuir com a tecnologia e *Know-how*, para explorar e dar novas opções para o projeto *Northern Lights*, e cumprir as metas de zero carbono até 2030.²¹⁴

²¹³ BRUUN, Kim T. – What it takes to ship co2.

²¹⁴ BRUUN, Kim T. – Equinor collaborates with Microsoft on Northern Lights carbon capture and storage value chain.

Tabela 3- Acordo entre Equinor e Microsoft

<ul style="list-style-type: none"> • Explorar uma colaboração de tecnologia para integrar a experiência digital da Microsoft ao projeto <i>Northern Lights</i>.
<ul style="list-style-type: none"> • A Microsoft irá explorar o uso das instalações de transporte e armazenamento de CO2 do projeto, como parte do portfólio da Microsoft de projetos de captura, transporte e armazenamento de carbono.
<ul style="list-style-type: none"> • Explorar maneiras da Microsoft investir no desenvolvimento eficaz da <i>Northern Lights</i>.
<ul style="list-style-type: none"> • Explorar e estabelecer a defesa de política que ajudem a acelerar a contribuição que a CCS pode dar para cumprir os objetivos climáticos da Europa.

Fonte: Site Northern Lights

Os Memorandos de Entendimento foram assinados com 8 entidades europeias que representam diferentes setores, como: Air Liquide, Arcelor Mittal, Ervia, Fortum Oyj, HeidelbergCement AG, Preem, Stockholm Exergi e ETH Zurich. As partes estão à procura de soluções para entrega, transporte e armazenamento de CO2, incluindo logística, especificações de CO2 e roteiro caso inicie as operações. A primeira fase deverá ser operacional em 2024, se o projeto receber uma decisão final de investimento do governo norueguês.

4.3.1.5 Instalações em terra

Iniciou em outubro de 2020, a preparação das instalações em terra para o projeto *Northern Lights*. A Equinor assinou um contrato com a Skanska²¹⁵ de aproximadamente 380 milhões NOK (cerca de 37 milhões de euros), para a preparação da construção do local e das instalações de cais para o terminal de recebimento de CO2. A CCB Kollsnes²¹⁶ também firmou um contrato de aluguel com a Equinor, em relação a área de 16.000m², do escritório temporário do projeto, permitindo assim os preparativos necessários para o desenvolvimento do terminal de

²¹⁵ Skanska é uma empresa de construção da Suécia, em 2015 era a quinta maior construtora do mundo.

²¹⁶ CCB.no. (site).

recebimento, enquanto se aguarda a aprovação do projeto “Langskip” pelo governo norueguês.²¹⁷

O contrato entre Equinor e Skanska envolve:

- O estabelecimento de um alojamento, estrada e infraestrutura para o terminal.
- Construção de um prédio administrativo, além de galpões e oficinas.
- A construção de um cais.
- O acesso para uma estrada de saída para Naturgassparken.

O trabalho será liderado pelo departamento de Bergen da Skanska, e estima que serão contratados cerca de 100 a 150 homens por ano de trabalho. A preparação do canteiro de obras ficou prevista para começar em janeiro de 2021. E o contrato de aluguel irá vigorar até o verão de 2024, quando o terminal e o prédio administrativo serão concluídos.

4.3.1.6 Financiamento do Governo norueguês aprovado

Após intensa votação no Parlamento, o Governo norueguês anunciou no dia 15 de dezembro de 2020, a sua decisão de financiar o projeto *Northern Lights*. Essa decisão mostrou um forte apoio do governo norueguês ao desenvolvimento de uma cadeia de valor de captura e armazenamento de carbono, que é essencial para que a Europa atinja suas metas de neutralidade do carbono.

Assim que o projeto recebeu oficialmente permissão para avançar, a Equinor começou a acordar mais contratos para a *Northern Lights*. A Kvaerner AS (subsidiária integral da Aker Solutions)²¹⁸, recebeu uma carta de adjudicação para o contrato de engenharia, aquisição e construção (EPC – sigla em inglês de *engineering, procurement and construction*), para as instalações da planta em terra, na Energiparken em Oygarden. A planta *onshore* irá receber e armazenar CO2 líquido antes de ser exportado por meio de um sistema de duto e bomba para a injeção *offshore*. O valor do contrato foi estimado em cerca de 1,05 bilhão NOK. A obra iniciou em janeiro de 2021, e a conclusão está prevista para o primeiro trimestre de 2024.

²¹⁷ BRUUN, Kim T. – Preparing the onshore facilities for the Northern Lights project.

²¹⁸A Aker Solutions fornece soluções, produtos e serviços integrados para o setor energético global. Possibilitando a produção de petróleo e gás de baixo carbono e desenvolvendo soluções renováveis para atender às necessidades energéticas futuras.

Foi adjudicado à “Aker Solutions AS” um contrato EPC para a entrega de um sistema de injeção submarina para o poço de CO₂ no Mar do Norte. O contrato foi adjudicado no âmbito do Acordo-Quadro assinado com a Equinor em 2017, no valor de 250 milhões de NOK. O contrato também incluiu opções para equipamentos para futuros poços.

A pré-fabricação das instalações *onshore* serão feitas no estaleiro da Aker Solutions SA em Stord antes da instalação no local. O escopo abrange instalações em cais para importação de CO₂ de navios, tanques de armazenamento intermediário de CO₂ e sistemas de processamento. De acordo com a Lei de Contratos Públicos (*Lov om Offentlige Anskaffelser*) e os Regulamentos de Contratos Públicos (*Forskrift om Offentlige Anskaffelser*) está sendo realizado o processo de aquisição para as instalações da planta em terra.²¹⁹

4.3.1.7 “Northern Lights JV DA”

No dia 9 de março de 2021, foi lançada a empresa de transporte e armazenamento de CO₂ chamada “Northern Lights JV DA”. A *Northern Lights* fornecerá armazenamento de CO₂ como um serviço, com o objetivo da descarbonização das emissões industriais na Europa e facilitar a remoção de CO₂ do ar.²²⁰ A *Climeworks*, é uma empresa líder mundial na área de captura direta de ar. Sua tecnologia funciona exclusivamente com energia renovável e calor residual, e pode atingir uma eficiência líquida de remoção de mais de 90% de CO₂, levando em consideração as emissões do ciclo de vida completo.

A *Northern Lights* e a *Climeworks* fizeram um acordo com objetivo de explorar um projeto de remoção de CO₂ de cadeia completa na Noruega, incluindo uma possível utilização das instalações da *Northern Lights* como parte de novas soluções de emissões negativas, atendendo à necessidade de empresas em setores não industriais tornarem-se carbono negativo/neutro. A Noruega tem uma das principais redes de energia renovável da Europa, permitindo acesso constante a energia renovável para as usinas de captura direta de ar da *Climeworks*.²²¹

²¹⁹ BRUUN, Kim T. – Equinor awarding Northern Lights contracts.

²²⁰ BRUUN, Kim T. – Northern Lights launches company dedicated to co2 transport and storage.

²²¹ BRUUN, Kim T. – Climework and Northern Lights to jointly explore direct air capture and co2 storage in norway.

Mais parceiros industriais

Em abril de 2021 foi assinado mais um MoU entre a *Northern Lights* e a Borg CO2, com o objetivo de explorar a viabilidade de soluções de captura, transporte e armazenamento de CO2 para parceiros industriais na região de Fredrikstad, na Noruega.

Borg CO2 é um projeto conjunto entre 18 parceiros da indústria e o porto de *Borg (Fredrikstad, Noruega)*, que servirá como anfitrião para um futuro terminal de carregamento de CO2. A *Borg CO2* está desenvolvendo uma solução de CCS para emissões de instalações industriais em *Fredrikstad, Sarpsborg e Halden*. O cluster industrial emprega mais de mil pessoas e é responsável por emissões de quase 700.000 toneladas de CO2 anualmente. O objetivo é capturar e armazenar até 90% das emissões totais, ou cerca de 630 mil toneladas por ano.

O estudo de viabilidade envolvendo os 18 parceiros industriais (*Borg Havn, FREVAR KF, NORSUS, Kvitbjorn Bio-El, Fortum Oslo Varme, EGE Oslo, Stormkast Utvikling, IFE, CO2 Capsol, Borregaard, Acinor, Compact Carbon Capture, Biobe, Norske Skog Saugbrugs, Ostfold Energi, Geminor e Sarpsborg Avfallsenergi*), consta com representantes da indústria de processo, gestão de resíduos, logística, energia, fornecedores de tecnologia e academia, sendo apoiado por um programa nacional de pesquisa, desenvolvimento e teste de tecnologia de CCs, chamado CLIMIT.²²²

Com o avanço das pesquisas com objetivo de descarbonização, e o envolvimento de cada vez mais atores, em junho de 2021 houve uma nova iniciativa de mercado de carbono para aumentar a escala de soluções de CCS.

Iniciativa CCS+

Uma aliança de organizações anunciou a formação da “Iniciativa CCS+”, um novo empreendimento para alavancar os mercados de carbono e aumentar os esforços globais de descarbonização e remoção de carbono entre os fundadores Northern Lights, Total Energies, Oxy Low Carbon Ventures, Pólo Sul, Perspectives e Crabon Finance Labs.

A Iniciativa CCS+ se concentrará no avanço da contabilidade do carbono para uma gama de tecnologias de captura, utilização, armazenamento e remoção de

²²² BRUUN, Kim T. – Collaboration with borg co2 on carbono capture and storage.

carbono que são sustentadas por avaliações robustas do ciclo de vida do carbono e padrões de verificação rigorosos para garantir a integridade ambiental.

Além dos fundadores, a Iniciativa CCS+ ganhou novos parceiros como a Mitsubishi Corporation, Fortum Oslo Varme, Carbon Engineering, Climeworks e Carbfix. E para garantir alta qualidade e transparência, um grupo consultivo será formado para avaliar o trabalho, como o Global CCS Institute, a IETA e a Plataforma de Emissões Negativas. A Iniciativa CCS+ busca se adaptar à estrutura de política global, incluindo o Artigo 6.º do Acordo de Paris e mecanismos de precificação de carbono em nível nacional ou subnacional.²²³

O *Northern Lights* é um projeto que está em andamento, portanto foi realizada a análise desse projeto até o início de 2022. É esperado que esse projeto fique pronto em 2024, então ainda serão acrescentados muitas outras ideias, parcerias e muitos pontos a serem revistos do projeto.

5 CONCLUSÃO

A captura e armazenamento de carbono pode ser considerada a aposta que muitas empresas mundiais do ramo de energia estão investindo, para finalmente encontrar a solução tão esperada que é a redução de CO₂ da atmosfera. O CCS no fundo pode servir para se atingir os objetivos da Convenção e dos vários Protocolos que implementaram a Convenção até o Acordo de Paris, e também pode ser responsável por criar novos protocolos em um cenário pós Acordo de Paris de acordo com as necessidades futuras.

O vínculo jurídico dos países nesses acordos faz com que os mesmos respeitem as metas e objetivos estabelecidos, e sejam direcionados a cumprirem as exigências estipuladas para um bem comum a todos. O Direito cria disciplina, e é com ela que os países se conscientizam da necessidade da preservação do meio ambiente, e a jurisprudência nesse âmbito, com decisões cada vez mais assertivas de como penalizar aqueles que não as querem cumprir.

Os Relatórios fornecidos pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas, e da Agência Internacional de Energia deixam clara a urgência que o

²²³BRUUN, Kim T. – New carbon market initiative to scale up carbon capture and storage solutions.

mundo tem de reduzir as emissões de carbono de imediato para não sofrermos as consequências no futuro. Além de dados fornecidos os relatórios apresentam possíveis ações de mitigação para ser atingida metas.

Para se atingir o NET ZERO, a ferramenta escolhida nessa dissertação foi a captura e armazenamento de carbono de fontes industriais, o método CCS. O CCS foi escolhido por ser o método que consegue cumprir com a emergência do mundo, de conseguir reduzir o carbono em grande escala, dentro do conceito da “Geoengineering”. São necessárias mudanças em outros setores de energia, mas o CCS é o que pode atingir o objetivo em um curto espaço de tempo.

Existem muitas dúvidas sobre o método, e é por esse mesmo motivo que se avançou o número de pesquisas sobre ele, o IPCC afirmou que esse método pode ser a grande solução. Existem alguns projetos de CCS sendo realizados pelo mundo, isso comprova que a técnica está sendo observada com atenção, e podemos ver isso no capítulo 3, sobre a captura e armazenamento de carbono, pois além de mostrar a técnica, o *CCS Institute* passa uma atualização dos projetos que estão sendo realizados no mundo.

O nosso caso de estudo acaba por ser o diferencial desta dissertação, pois o que todos sabem é que o CCS é um projeto que está sendo realizado pelo mundo, mas suas etapas são realizadas de maneiras não integrada, pois a captura, o transporte e o armazenamento são realizados em lugares diferentes. Mas o projeto *Northern Lights* é o oposto, é um projeto integrado e todas as etapas do projeto são realizadas de forma holística e daí a importância e originalidade da tese e deste estudo do caso.

A Equinor por ser uma das empresas mais inovadoras e com grande *expertise* no ramo de energia, e é uma empresa internacionalizada e instalada em vários continentes, conseguem filtrar os diferenciais de cada lugar e centralizaram em um projeto, que unisse todas as vantagens do CCS. A sede da empresa fica na Noruega, e acabou por também ser a sede do projeto *Northern Lights*.

O *Northern Lights* é o maior projeto integrado de CCS, pois ele interliga o processo de captura, transporte e armazenamento, e além disso consegue exercer em grande escala, devido a inúmeros fatores favoráveis que a Noruega oferece, por já ter experiência no mercado de petróleo e energia.

A Noruega é um dos países mais poluidores do mundo, e países como a Noruega, que enriqueceram por causa do petróleo, dificilmente conseguem diminuir

as emissões da queima dos combustíveis fósseis derivados de suas indústrias, portanto para não sair tão prejudicado no cenário internacional e mostrarem que cumprem com os objetivos da Convenção, investem em métodos de energia limpa, e mostram que estão a compensar pelo mal que fazem, mas no fundo o interesse continua sendo na sua exploração do Mar do Norte.

Outro ponto importante salientar aqui é que todas as pessoas possuem objetivos nobres, mas ao mesmo tempo esses objetivos contrastam com a realidade, porque as pessoas não estão dispostas a pagar caro por energia. Os combustíveis fósseis com o passar dos anos tornaram os custos de energia bastante acessíveis no mercado, mas hoje pelo bem do meio ambiente é preciso fazer a transição para a renovável, o que requer investimento e provavelmente um aumento dos custos da energia. E as energias renováveis só se tornarão mais acessíveis até alcançarem economias de escala e se inserirem no mercado definitivamente.

A Equinor é uma empresa com vasta cadeia de projetos, portanto além de visar o melhor para o meio ambiente também cria valor aos seus projetos para terem retorno financeiro do investimento. O projeto *Northern Lights* é um ponto de partida para a empresa, com expectativa de progressão no mercado, e é isso que a dissertação traz no seu último capítulo.

A Captura e armazenamento de carbono é importante porque é a aplicação completa de um projeto que pode permitir que a indústria petrolífera continue em funcionamento mesmo em um mundo que já esteja alinhado com os objetivos do NET ZERO e os objetivos do IPCC e da Convenção Quadro das Nações Unidas.

O projeto *Northern Lights* vai entrar em funcionamento em 2024, o que significa que teremos que esperar para saber se o projeto vai se efetivar e se aquilo que foi prometido vai se concretizar. É um projeto que pode ser escalado, ou seja, pode ser replicado em outras jurisdições e em outros países. Olhar para os pontos fracos do CCS como custos, riscos, vazamento no leito marinho, são fatores que causam tensões. Contudo, vamos ter que esperar para ver como que esse projeto pode ser concretizado para assim ser replicado, mas não restam dúvidas de que se for concretizado, é uma potencial ferramenta para chegar ao NET ZERO, que é o que todos querem olhando para essa ameaça global, chamada de alterações climáticas.

A tese levanta questões muito interessantes e relevantes no quadro de um mundo ainda dominado por uma matriz energética de base fóssil em mais de 80% e explora a importância da “*Geoengineering*”, em especial, o CCS, para resolução da

emergência climática. Isto é de particular relevância, já que vamos continuar a utilizar os fósseis nas próximas décadas, mas com a entrada em funcionamento da tecnologia CCS a utilização de fósseis poderá ser sustentável para o contexto de um mundo NET ZERO em 2050.

Este trabalho não procura responder a todas as questões relacionadas com as alterações climáticas, muitas questões ficaram fora do âmbito deste estudo por razões de espaço e tempo e esperamos poder explorar essas questões em outros estudos de uma forma mais aprofundada.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, Daniel, A. P. - **Sequestro e Armazenamento de CO₂ – Aplicação da tecnologia em Portugal**. Tese de Mestrado em engenharia do ambiente. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008, 64 pp.

ANDRADE, José. C. S; COSTA, Paulo. - **Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global**. Organizações & Sociedade, 2008.

BEVANGER, Lars. – **Armazenamento de CO₂ no fundo do mar ganha força na Noruega**. DW, 2018. [Consult. 20 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/armazenamento-de-co2-no-fundo-do-mar-ganha-for%C3%A7a-na-noruega/a-45943048>].

BINIEK, Krysta; DAVIES, Ryan; HENDERSON, Kimberly. – **Why commercial use could be the future of carbon capture**. McKinsey Sustainability, 2018. [Consult. 26 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/why-commercial-use-could-be-the-future-of-carbon-capture>].

BODANSKY, Daniel.; BRUNNÉE, Jutta.; RAJAMANI, Lavanya. - **Introduction to International Climate Change Law**. (June 10, 2017). International Climate Change Law (Oxford Univ Press 2017). [Consult. 27 Nov. 2021]. [Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3000009>].

BOLTON, Patrick; KACPERCZYK, Marcin T. - **Global Pricing of Carbon-Transition Risk** (January 3, 2022). [Consult. 25 Nov. 2021]. [Disponível em: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3550233>].

BRUUN, Kim T. – **Climeworks and Northern Lights to jointly explore direct air capture and co₂ storage in norway**. [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightscs.com/news/climeworks-and-northern-lights-to-jointly-explore-direct-air-capture-and-co2-storage-in-norway/>].

BRUUN, Kim T. – **Collaboration with borg co2 on carbono capture and storage.** [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/collaboration-with-borg-co2-on-carbon-capture-and-storage/>].

BRUUN, Kim T. – **Equinor awarding Northern Lights contracts.** [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/equinor-awarding-northern-lights-contracts/>].

BRUUN, Kim T. – **Equinor collaborates with Microsoft on Northern Lights carbono capture and storage value chain.** [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/equinor-collaborates-with-microsoft-on-northern-lights-carbon-capture-and-storage-value-chain/>].

BRUUN, Kim T. – **How does co2 storage work?** [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/how-does-co2-storage-work/>].

BRUUN, Kim T. – **How does co2 storage work?** [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/how-does-co2-storage-work/>].

BRUUN, Kim T. – **New carbono market initiative to scale up carbono capture and storage solutions.** [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/new-carbon-market-initiative-to-scale-up-carbon-capture-and-storage-solutions/>].

BRUUN, Kim T. – **Northern Lights launches company dedicated to co2 transport and storage.** [Consult. 24 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/northern-lights-launches-company-dedicated-to-co2-transport-and-storage/>].

BRUUN, Kim T. – **Preparing the onshore facilities for the Northern Lights project.** [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightsscs.com/news/preparing-the-onshore-facilities-for-the-northern-lights-project/>].

BRUUN, Kim T. – **Safe Geologic storage of captured carbon dioxide**. [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: https://northernlightscs.com/wp-content/uploads/2021/03/Safe-Geologic-Storage-of-Captured-CarbonDioxide_April_15_2020_FINAL.pdf].

BRUUN, Kim T. – **Statoil Shell and Total enter co2 storage partnership**. [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightscs.com/news/statoil-shell-and-total-enter-co2-storage-partnership/>].

BRUUN, Kim T. – **The government launches longship for carbon capture and storage in Norway**. [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightscs.com/news/the-government-launches-longship-for-carbon-capture-and-storage-in-norway/>].

BRUUN, Kim T. – **What it takes to ship co2**. [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightscs.com/news/what-it-takes-to-ship-co2/>].

CAMPBELL-ARVAI, Victoria; HART, P. S; RAIMI, Kaitlin, T; WOLSKE, Kimberly, S. - **The influence of learning about carbon dioxide removal (CDR) on support for mitigation policies**. Climatic Change, 2017. [Consult. 28 Nov. 2021]. [Disponível em: doi:10.1007/s10584-017-2005-1].

CARRASCO-MALDONADO, F.; SPÖRL, R.; FLEIGER, K.; HOENIG, V.; MAIER, J.; SCHEFFKNECHT, G. - **Oxy-fuel combustion technology for cement production– State of the art research and technology development**. International Journal of Greenhouse Gas Control, v. 45, p. 189-199, 2016. ISSN 1750-5836.

CCS KNOWLEDGE – **What is CCS**. [Consult. 26 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://ccsknowledge.com/what-is-ccs/>].

CCS KNOWLEDGE – **What is CCS**. [Consult. 26 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://ccsknowledge.com/what-is-ccs/>].

CLIMATE CHANGE LITIGATION DATABASES – **Urgenda Foundation v. State of the Netherlands**. Non-U.S. Climate change litigation. [Consult. 10 Out. 2021]. [Disponível em: <http://climatecasechart.com/climate-change-litigation/non-us-case/urgenda-foundation-v-kingdom-of-the-netherlands/>].

CONSOLI, Christopher. - **Bioenergy and carbon capture and storage**. Global CCS Institute, 2019. [Consult. 20 de Novembro de 2021]. Disponível em: https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/03/BECCS-Perspective_FINAL_PDF.pdf].

EQUINOR – **Data**. [Consult. 20 de Abril de 2021]. [Disponível em: https://data.equinor.com/?_ga=2.118457865.1824963001.16149525391275085117.1604474863&_gac=1.226804591.1611240266.CjwKCAiA6aSABhApEiwA6Cbm_3goyUSG7EI0j8bNaH_PRfPab1mFeRxnwl2aKBE_JQwls-0vSEwahoC4aUQAvD_BwE].

EQUINOR – **Oil and gas**. [Consult. 20 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.equinor.com/en/magazine/energy-transition/oil-and-gas.html>].

EQUINOR – **What do we do when renewable energy isn't enough?** CCS project Northern Lights. [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.equinor.com/en/magazine/carbon-capture-and-storage.html>].

EQUINOR – **What we do**. [Consult. 20 de abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.equinor.com/en/what-we-do.html>].

EQUINOR – **What we do**. [Consult. 20 de abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.equinor.com/en/what-we-do.html>].

EQUINOR – **What we do**. [Consult. 20 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.equinor.com/en/what-we-do/digitalisation-in-our-dna.html>].

FAO – **About FAO**. [Consult. 20 de abril de 2021]. [Disponível em: <http://www.fao.org/portugal/acerca-de/pt/>].

FERREIRA, Adriano. F.; TAVARES, Dagmar, B.; MONTEIRO, Kayla, S. - **A evolução do direito ambiental na seara internacional sob o prisma dos tratados e convenções internacionais**. Cadernos Eletrônicos Direito Internacional sem Fronteiras, v. 3, n. 1, p. e20210103, 3 mar. 2021. [Consult. 15 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://cedisf.emnuvens.com.br/cedisf/article/view/103/57>].

FERREIRA, Patrícia, M. – **Alterações climáticas e desenvolvimento**. Fundação fé e cooperação. Lisboa, 2017. [Consult. 15 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.plataformaongd.pt/uploads/subcanais2/estudoalteracoesclimaticas-coerencia.pdf>].

GAMA, Pollyana, C. F. - **A força vinculatória das decisões consensuais das conferências das partes dos acordos multilaterais ambientais**. Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa. Dissertação de mestrado. Lisboa, 2017. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/33939>].

GASSNOVA - **The norwegian full-scale CCS demonstration project: Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS)**. Gassnova SF, 2020. [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2020/10/Potential-for-reduced-cost-for-carbon-capture-2019.pdf>].

GASSNOVA – **About gassnova**. [Consult. 25 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://gassnova.no/en/about-gassnova>].

GASSNOVA – **Why CCS**. [Consult. 25 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://gassnova.no/en/why-ccs>].

GEF – **About us**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. Disponível em: <https://www.thegef.org/>.

GIZ – **Opções em Waste to Energy na gestão de resíduos sólidos urbanos**. [Consult. 3 de Agosto de 2021]. [Disponível em: <http://protegeer.gov.br/images/documents/393/WasteToEnergy%20Guidelines%20GIZ%202017%20-web%20PT.pdf>].

GLOBAL CCS INSTITUTE – **About: The world’s leading CCS think tank.** [Consult. 20 Maio. 2021]. [Disponível em: <https://www.globalccsinstitute.com/>].

GLOBAL CCS INSTITUTE – **Global status of ccs 2020. CCS.** Vital to achieve NET – ZERO. [Consult. 20 Maio. 2021]. [Disponível em: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf>]

Global CCS Institute, 2019. **CO2RE Facility Database.** [Online].

GOVERNMENT.NO - **The government launches longship for carbon capture and storage in Norway.** [Consult. 22 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/the-government-launches-longship-for-carbon-capture-and-storage-in-norway/id2765288/>].

GRAAF, Thijs Van de.; SOVACOOOL, Benjamin K. - **Global energy politics.** Cambridge, UK; Medford, MA: Polity, 2020. ISBN 978-1-509-53048-9.

Green Climate Fund – **About us GCF.** [Consult. 2 de Junho de 2021]. Disponível em: <https://www.greenclimate.fund/>].

HERZOG, Howard J. - **Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons.** Energy Economics, v. 33(4), 2011, p.597–604. [Consult. 26 de Agosto de 2021]. [Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988310001921>].

HERZOG, Howard. J. – **Carbon dioxide capture and storage.** Helm Hepburn, v. 12: 8, 2009, p. 263- 283. [Consult. 20 de Maio de 2021]. Disponível em: https://sequestration.mit.edu/pdf/2009_CO2_Capture_and_Storage_Ch13_book.pdf

HOVI, Jon.; SPRINZ, Detlef. F.; BANG, Guri. - **Why the United States did not become a party to the Kyoto Protocol: German, Norwegian, and US perspectives.** European Journal of International Relations, 2012.

IEA – **About CCUS**. [Consult. 25 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.iea.org/reports/about-ccus>].

IEA – **Net Zero by 2050: A roadmap for the Global Energy sector**. International Energy Agency, 2021. [Consult. 26 de Agosto de 2021]. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>].

INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA - **Manual de termos e conceitos: Transição Energética**. Rio de Janeiro, Brasil: 2020. [Consult. 10 Nov. 2021]. [Disponível em: <https://www.emaisenergia.org/wpcontent/uploads/2020/12/ECartilhaTransicaoEnergética-1.pdf>].

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V Masson-Delmotte, P Zhai, A Pirani, et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2021. [Consult. 10 de Jan de 2022]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>].

IPCC - **História do IPCC**. [Consult. 20 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/history/>].

IPCC – **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, 2005, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

IPCC – **Quarto Relatório de Avaliação**. [Consult. 20 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>].

IPCC – **Quinto Relatório de Avaliação**. [Consult. 20 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>].

IPCC – **Special Report, Global warming of 1.5°C**. Prepared by Working Group I, II, III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V Masson-Delmotte, P Zhai, A Pirani, et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2018. [Consult. 10 de Jan de 2022]. [Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>].

IPCC – **Terceiro Relatório de Avaliação**. [Consult. 20 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar3/>].

IRLAM, Lawrence. - **Global costs of carbon capture and storage**. Global CCS institute, 16, 2017. [Consult. 20 Maio. 2021]. [Disponível em: <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/201688/global-ccs-cost-updatev4.pdf>].

J.C.M. Pires; F.G. Martins; M.C.M. Alvim-Ferraz; M. Simões. - **Recent developments on carbon capture and storage: An overview**. Chemical engineering research and design, v. 89(9), 2011, p.1446–1460. [Consult. 26 de Agosto de 2021]. [Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876211000554#!>].

Jornal oficial da União Europeia – **Informações relativas ao espaço econômico europeu**: Órgão de fiscalização do EFTA.

KUMAR, Ankit; HÖFFKEN, Johanna; POLS, Auke. – **Dilemmas of energy transitions in the global south: balancing urgency and justice**. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge, 2021. [Consult. 20 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://library.oapen.org/bitstream/id/9cd2046a-0087-43cf-a52f-06fa9bab622b/9781000397406.pdf>]. ISBN 9780367486440].

LAGO, André. A. C. D. - **Estocolmo, Rio, Joanesburgo - O Brasil e as três conferências ambientais das nações unidas**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG), 2006. [Consult. 27 Novembro 2021]. [Disponível em: http://funag.gov.br/loja/download/903-Estocolmo_Rio_Joanesburgo.pdf].

LEÃO, Rodrigo. - **Equinor avança em renováveis, mas segue na busca pelo melhor modelo de investimento**. Inep, Broadcast Energia, 2020. [Consult. 20 de

Abril de 2021]. [Disponível em: <https://ineep.org.br/equinor-avanca-em-renovaveis-mas-segue-na-busca-pelo-melhor-modelo-de-investimento/>].

LEITE, José. C. - **Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico**. Scientiae Studia, 2015.

LIU, Harry; CONSOLI, Christopher; ZAPANTIS, Alex. - **Overview of Carbon Capture and Storage (CCS) Facilities Globally**. 14th Greenhouse Gas Control Technologies Conference Melbourne 21-26 October 2018. [Consult. 27 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3366353>].

MALTA, Sérgio. - **O trilema da energia elétrica**. Folha de São Paulo. São Paulo. 13 de março de 2014. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/malta3.pdf>].

MCCOY, Sean T.; RUBIN, Edward S. - **An engineering-economic model of pipeline transport of CO₂ with application to carbon capture and storage**. International journal of greenhouse gas control. V. 2(2), 2008, p. 219–229. [Consult. 26 de Agosto de 2021]. [Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583607001193>].

Ministério do Meio Ambiente – **Compromissos estabelecidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (UNFCCC)**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/15142-contribui%C3%A7%C3%B5es-para-o-documento-base.html>].

NAÇÕES UNIDAS - **Até 2024, temperatura global estará pelo menos 1°C acima dos níveis pré-industriais**. ONU News, perspectiva global reportagens humanas. Clima e meio ambiente, 2020. [Consult. 10 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719561>].

NET ZERO TEESSIDE – **Delivering a Net Zero Teesside**. [Consult. 20 Maio. 2021]. [Disponível em: <https://www.netzeroteesside.co.uk/>].

NORTHERN LIGHTS – **Statoil, Shell and Total enter CO2 storage partnership**. 2017. [Consult. 23 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://northernlightscs.com/news/statoil-shell-and-total-enter-co2-storage-partnership/>].

NU – **Centro regional de informação para a Europa ocidental**. [Consult. 20 de Abril de 2021]. [Disponível em: <https://unric.org/pt/onu-preve-que-cidades-abriguem-70-da-populacao-mundial-ate-2050/>].

PARLAMENTO - **Acordo de Paris**. [Consult. 15 de Julho de 2021]. [Disponível em: https://app.parlamento.pt/webutils/docs/doc.pdf?path=6148523063446f764c324679595842774f6a63334e7a637664326c756157357059326c6864476c3259584d7657456c4a535339305a58683062334d76634842794d54677457456c4a535638784c6d527659773d3d&fich=ppr18-XIII_1.doc&Inline=true].

PNUD – **Objetivos do desenvolvimento sustentável**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>].

RFF – **Carbon capture and storage 101**. [Consult. 26 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://www.rff.org/publications/explainers/carbon-capture-and-storage-101/>].

ROMEIRO, Ademar, R. - **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica**. Estudos Avançados. 2012, v. 26, n. 74, pp. 65-92. [Consult. 15 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>].

RONCORONI, Alan; BATTISTON, Stefano; FARFÀN, Luis. O. L. E.; JARAMILLO, Serafin, M.; - **Climate Risk and Financial Stability in the Network of Banks and Investment Funds**. (January 29, 2021). Journal of Financial Stability, Forthcoming. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3356459>].

RUVIARO, Eduardo, A; GROSSMANN, Elias. – **A importância da estrutura de transparência aprimorada prevista no acordo de Paris para o avanço da governança climática**. PUCRS – Faculdade de direito. 2021. [Consult. 10 Novembro 2021]. [Disponível em: https://www.pucrs.br/direito/wp-content/uploads/sites/11/2021/08/eduardo_ruviaro.pdf].

SCHOTT, Fábio Saraiva. **A Formulação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e o Protocolo de Quioto e a Posição de Negociação do Brasil**. 2013. 48p Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013. [Consult. 27 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/bitstream/jspui/4260/2/2013%20-%20F%C3%A1bio%20Saraiva%20Schott.pdf>].

SEASPIRACY – **Realização de Ali Trabrizi**. Inglaterra, 2021. Netflix (90 min).

SHRUM, Trisha, R.; MARKOWITZ, Ezra.; BUCK, Holly.; GREGORY, Robin.; VAN DER LINDEN, Sander.; ATTARI, Shahzeen, Z.; VAN BOVEN, Leaf. - **Behavioural frameworks to understand public perceptions of and risk response to carbon dioxide removal**. Interface Focus, 2020. [Consult. 28 Novembro 2021]. [Disponível em: doi.org/10.1098/rsfs.2020.0002].

SILVA, Augusto, S; FERNANDES, João Pedro, M. – **Acordo de Paris: 2015-2020**. República portuguesa, ambiente e ação climática. Lisboa, 2020. [Consult. 10 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3D%3DBQAAAB%2BLCAAAAAAABAAzNLA0tgQAra2cKgUAAAA%3D>].

SILVA, Maria Luiza, S. Q. – **Mudanças Climáticas: Uma análise à luz da Convenção-Quadro das Nações Unidas e do Protocolo de Quioto**. UNICEUB, Faculdade de ciências jurídicas e sociais. Monografia. Brasília, 2010. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/9814/1/20565720.pdf>].

SILVÉRIO, Amanda, C. - **Planeta em ebulição: mudanças climáticas frente à responsabilização civil ambiental: pressupostos e paradigmas na sociedade de risco**. Anais do Congresso Brasileiro de Processo Coletivo e Cidadania, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 747–766, 2020. [Consult. 15 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://revistas.unaerp.br/cbpcc/article/view/1645>].

SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual do direito ambiental**. Luís Paulo Sirvinkas. 18. ed. - São Paulo: Saraiva Educação, 2020. 1024 p.

SRINIVAS, Krishna, R. – **Climate Change, technology transfer and intellectual property rights**. RIS Discussion Paper Series, RIS-DP #153, 2009, 26 pages. [Consult. 12 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1440742>].

STEFFEN, Will.; BROADGATE, Wendy.; DEUTSCH, Lisa.; GAFFNEY, Owen.; LUDWIG, Cornelia. - **The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration**. The Anthropocene Review (2015), 2 (1), 81-98.

STRINE, Leo. - **Toward Fair and Sustainable Capitalism: A Comprehensive Proposal to Help American Workers, Restore Fair Gainsharing between Employees and Shareholders, and Increase American Competitiveness by Reorienting Our Corporate Governance System Toward Sustainable Long-Term Growth and Encouraging Investments in America's Future** (October 3, 2019). U of Penn, Inst for Law & Econ Research Paper No. 19-39, Harvard John M. Olin Discussion Paper No. 1018. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3461924>].

TAVARES, Felipe, B. - **Política Energética em um contexto de transição: A construção de um regime de baixo carbono**. Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Economia Programa de Pós-Graduação Em Economia. Rio de Janeiro, 2019. [Consult. 15 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPGE/teses/2019/Felipe%20Botelho%20Tavares.pdf>].

TURKENBURG, Win, C. - **Sustainable development, climate change, and carbon dioxide removal (CDR)**. Energy Conversion and Management, 1997. [Consult. 28 Novembro 2021]. [Disponível em: doi:10.1016/s0196-8904(96)00237-3].

UN Environment Programme – **About PNUMA**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível: <https://www.unep.org/pt-br/sobre-onu-meio-ambiente>].

UNFCCC - **Emissions Trading**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading>].

UNFCCC - **United Nations Framework Convention on Climate Change**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>].

UNFCCC – **GEEs não CO2**. [Consult. 25 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://unfccc.int/resource/climateaction2020/tep/thematic-areas/non-co2-ghgs/index.html>].

UNFCCC – **Nationally determined contributions NDCs**. [Consult. 15 de Julho de 2021]. [Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs>].

UNFCCC. **Framework convention on climate change**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: https://unfccc.int/files/press/news_room/press_releases_and_advisories/application/pdf/20070216_eb29_cdm_press_release_leading_the_wayspanish.pdf].

UNFCCC. **Joint implementation**. [Consult. 2 de Junho de 2021]. [Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/joint-implementation>].

WETTENGEL, Julian. - **Quest for climate neutrality puts CCS back on the table in Germany**. Clean Energy Wire. Journalism for the energy transition, 2020. [Consult.

20 Maio. 2021]. [Disponível em: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/quest-climate-neutrality-puts-ccs-back-table-germany>].

WILKS, Jeremy. – **Os perigos da subida do nível do mar**. Euronews, 2021. [Consult. 20 de Novembro de 2021]. Disponível em: <https://pt.euronews.com/green/2021/11/05/os-perigos-da-subida-do-nivel-do-mar>].

WOODY, Todd. - **Os Oceanos Têm Quantidades Enormes de Gases de Efeito Estufa**. National geographic, 2020. [Consult. 26 de Agosto de 2021]. [Disponível em: <https://www.natgeo.pt/ciencia/2020/01/os-oceanos-tem-quantidades-enormes-de-gases-de-efeito-estufa>].

WORLAND, Justin. – **Rising seas. Fleeing residents. Disappearing villages**. Our sinking planet. Nações Unidas. Newspaper TIME, 2019. [Consult. 26 de Maio de 2021]. [Disponível em: <https://unric.org/pt/mundo-espera-solucao-para-alteracoes-climaticas-diz-ban-ki-moon-7/>].

WORLD ENERGY COUNCIL - **World energy trilemma index**. World energy council. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>].

WORLD ENERGY COUNCIL. - **Trilema energético: segurança-equidade-sustentabilidade, uma perspetiva nacional**. Programa Future Energy Leaders Portugal: Associação Portuguesa da Energia, 2021. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: https://apenergia.pt/wp-content/uploads/2021/11/FELPT2021_TrilemaEnergetico.pdf].

WORLD ENERGY COUNCIL. – **World energy trilemma index**. WE Council. [Consult. 25 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>].

WWF - **Novo relatório do IPCC sobre aquecimento de 1,5°C pede mais esforços para ação climática**. 2018. [Consult. 10 Novembro 2021]. [Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/?67822/Relatrio-do-IPCC-2018-sobre-aquecimento-global-de-15C-incita-mais-esforos-para-ao-climtica-global>].

YOHE, Gary W. - **Characterizing transient temperature trajectories for assessing the value of achieving alternative temperature targets**. Climatic Change, 2017. [Consult. 20 de Maio de 2021]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320703726_Characterizing_transient_temperature_trajectories_for_assessing_the_value_of_achieving_alternative_temperature_targets].

YORK, Richard; BELL, Shannon. E. - **Energy transitions or additions? Why transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy**. (Em linha). Energy Research & Social Science (2019), 51, 40-3. [Consult. 11 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629618312246>].

ZERO – **Relatório especial IPCC – É preciso intensificar a ação climática**. ZERO – Associação sistema terrestre sustentável. 2018. [Consult. 10 Novembro 2021]. [Disponível em: <https://zero.org/relatorio-especial-ipcc-e-preciso-intensificar-acao-climatica-face-a-evidencias-inequivocas-de-que-o-aquecimento-global-deve-manter-se-abaixo-dos-15oc/>].