

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS

VITÓRIA DE BRITO SPIRANDELI

**RELAÇÕES INTERNACIONAIS, TECNOLOGIAS PARA
REDUÇÃO DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS E SOLUÇÕES
BASEADAS NA NATUREZA**

UBERLÂNDIA
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS

VITÓRIA DE BRITO SPIRANDELI

**RELAÇÕES INTERNACIONAIS, TECNOLOGIAS PARA
REDUÇÃO DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS E SOLUÇÕES
BASEADAS NA NATUREZA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Economia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Relações Internacionais.

Orientador: Dr. Daniel Caixeta de Andrade

UBERLÂNDIA
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

VITÓRIA DE BRITO SPIRANDELI

RELAÇÕES INTERNACIONAIS, TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DOS
IMPACTOS CLIMÁTICOS E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no final da Graduação de Relações Internacionais, na Universidade Federal de Uberlândia, foi considerado suficiente como requisito parcial para obtenção do Certificado de Conclusão. A examinada foi aprovada com a nota

BANCA EXAMINADORA	
NOME	ASSINATURA

Uberlândia, 13 de fevereiro de 2022

RESUMO

Os impactos ambientais advindos da atuação humana já são notórios nos dias de hoje, principalmente após a Revolução Industrial, no século XVIII, que mudou completamente a forma de vida de diversos países e trouxe impactos negativos para o meio ambiente. Desde então, esse mesmo meio ambiente vem sofrendo alterações significativas que são pauta de discussão no mundo todo, e tem como foco a redução desses impactos no sentido de amenizá-los.

No âmbito das Relações Internacionais, faz-se necessário compreender as dimensões de poder dos Estados para que diversas questões possam ser discutidas nos encontros internacionais, principalmente as questões ambientais, objeto de estudo do presente trabalho. Assim, com o intuito de buscar alternativas para reduzir as problemáticas ambientais causados especificamente por ações antrópicas, encontros com foco nas Relações Internacionais e discussão voltada à melhoria das problemáticas ambientais, como a Conferência de Estocolmo, Rio 92 e Rio +20, foram organizados ao longo dos anos. Essas discussões e propostas de ações visam garantir uma sociedade mais sustentável, ao mesmo tempo em que o viés econômico seja mantido, já que a exploração de recursos da natureza em sua grande maioria é voltada para o acúmulo de capital em diversos aspectos. Nesse sentido, um dos impactos ambientais mais significativos que prejudicam o meio ambiente em diversas formas é o acúmulo de gases do efeito estufa em excesso na atmosfera, em especial, o dióxido de carbono, que causa o aquecimento global e interfere no ecossistema e na biodiversidade do planeta, incluindo os seres humanos. Esta monografia tem por objetivo demonstrar como os instrumentos e métodos de combate à degradação ambiental e ao aquecimento global podem ser utilizados pelos Estados nacionais. Ainda, busca evidenciar a importância das Relações Internacionais para se discutir problemáticas referentes ao meio ambiente, e buscar possíveis soluções que devem ser pauta de discussão entre os países. Especificamente, o trabalho objetiva discutir as soluções baseadas na natureza e, dentre elas, o papel das florestas sintrópicas como tecnologia de captura de carbono. Adicionalmente, a monografia também pretende oferecer uma discussão sobre a necessidade de repensar o sistema alimentar mundial como forma de viabilizar a realização do potencial de contribuição das soluções baseadas na natureza, bem como a necessidade de trazer essas discussões para os encontros e tratados internacionais. Isto é, a hipótese que norteia o trabalho é que as soluções para o problema das mudanças climáticas passam pela rediscussão do sistema alimentar mundial, uma vez que este é baseado em formas insustentáveis de produção que impactam negativamente a biodiversidade. Como conclusão, o trabalho aponta para um potencial promissor das soluções baseadas na natureza desde que estas estejam acompanhadas por esforços de governança global para repensar o sistema alimentar mundial, que deve ser discutido entre os países.

Palavras-chave: Conferências internacionais; Emissões e captura de CO₂; Soluções baseadas na natureza; Florestas sintrópicas; Sistema Alimentar Mundial.

ABSTRACT

The environmental impacts arising from human activities are already notorious nowadays, after the Industrial Revolution, mainly in the 18th century, which completely changed the way of life of several countries and brought negative impacts to the environment. Since then, this same environment has undergone significant changes that are the subject of discussion around the world, and focuses on these impacts in the sense of alleviation.

Without limits, it is necessary to understand the dimensions of State power so that several issues can be examined in international meetings, especially as environmental issues, objects of study of this work. Thus, in order to seek solutions to reduce environmental problems as specifically planned by anthropic, environmental events and focusing on improvements in international relations and Rio as changes focused on problematic, environmental 92 meetings organized over the years. These questions and proposals for sustainable actions aim to ensure a sustainable society at the same time that it is economical at the time of exploration that is already an exploration of sustainable nature in its majority, it is more frequent for the capital increase in several aspects. In this sense, of the impacts that are more different than the environmental alteration of the environment in various forms of accumulation of excess gases in the atmosphere, in particular, or carbon dioxide, which causes a global impact and interferes with the ecosystem and biodiversity of the planet, including the human beings. This monograph aims to demonstrate how the instruments and methods of combating environmental degradation and global warming can be used by national States. Still, it seeks to highlight the importance of International Relations to discuss issues related to the environment, and seek possible solutions that should be the agenda of discussion between countries. Specifically, the work aims to discuss nature-based solutions and, among them, the role of syntropic forests as a carbon capture technology. Additionally, the monograph also intends to offer a discussion on the need to rethink the world food system as a way to enable the realization of the potential contribution of nature-based solutions, as well as the need to bring these discussions to international meetings and treaties. That is, the hypothesis that guides the work is that the solutions to the problem of climate change go through the re-discussion of the world food system, since it is based on unsustainable forms of production that negatively impact biodiversity. In conclusion, the work points to a promising potential of nature-based solutions as long as they are accompanied by global governance efforts to rethink the world food system, which must be discussed between countries.

Keywords: International conferences; CO2 emissions and capture; Nature-based solutions; Syntropic forests; World Food System

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Aumento da concentração dos principais gases causadores do efeito estufa desde o ano de 1750 até 2000	31
Figura 2: Média da concentração global dos principais gases de efeito estufa ao longo do tempo	32
Figura 3: Países com maior acúmulo de CO ₂	42
Figura 4: Gráfico representando o desmatamento da Amazônia Legal em termos de quilômetros quadrados, dos anos de 1988 a 2021	45
Figura 5: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal por Estados	46
Figura 6: Possíveis intervenções urbanas em Soluções baseadas na Natureza	53

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1. METODOLOGIA	11
1.1. Objetivos.....	12
1.2.1. Objetivos Gerais	12
1.2.2. Objetivos Específicos.....	12
1.2. Justificativa	12
CAPÍTULO 1	15
1 A EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: DESAFIO GLOBAL EXIGE SOLUÇÕES GLOBAIS	15
1.1 As crises climáticas e sua relevância nas Relações Internacionais.....	16
1.2 O carbono e as problemáticas ambientais	24
CAPÍTULO 2	37
2 A NATUREZA COMO PARTE DAS SOLUÇÕES: O POTENCIAL DAS FLORESTAS SINTRÓPICAS	37
2.1 O duplo desafio: as dimensões de fluxo e estoque nas mudanças climáticas.....	40
2.2 Captura de Carbono e o potencial de contribuição da Natureza	48
2.3 Soluções baseadas na Natureza (SbN) e Sistemas Agroflorestais/Florestas Sintrópicas.....	50
2.4 Relações Internacionais, mudanças climáticas e soluções baseadas na natureza: qual a conexão?	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

INTRODUÇÃO

Na atualidade, é inegável a necessidade de proteção e preservação do meio ambiente. Muitas discussões acerca das problemáticas envolvendo questões ambientais são discutidas em diversos âmbitos políticos e sociais dos países do mundo todo. As negociações diplomáticas com foco nas mudanças climáticas constituem-se como alguns dos principais temas debatidos nos fóruns e organismos internacionais, sendo relevante para a compreensão da forma pela qual os Estados se comportam e se inserem no sistema internacional. Além disso, encontros internacionais com foco no meio ambiente e desenvolvimento sustentável são importantes para estreitar as relações políticas entre os países, que acabam por refletir no debate e resolução dos problemas ambientais mais abrangentes hoje. A centralidade das pautas ambientais faz com que os estudos e pesquisas que visam explicitar meios e oportunidades de combate à degradação do meio ambiente e de contenção das mudanças climáticas sejam importantes para o campo das Relações Internacionais.

Em 1972 foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente (Conferência de Estocolmo). A partir daí os debates ambientais vêm ganhando cada vez mais importância sistêmica, principalmente devido à tomada de consciência por parte da sociedade da possibilidade de extinção da humanidade, ou no mínimo, da vida como a conhecemos hoje, causada pelo aquecimento global e pela degradação da natureza.

Os debates ambientais envolvem diversas variáveis, estando relacionadas tanto com os direitos humanos dos indivíduos e sociedades futuras, quanto com os diferentes processos de desenvolvimento socioeconômico, além de problemas sociais atuais e recorrentes. Compreender as especificidades que envolvem as diversas problemáticas ambientais faz-se, portanto, necessário, visto que a necessidade de alterar rumos econômicos e políticos dos diversos Estados constitui-se como uma tarefa relevante para o respeito dos direitos humanos mais básicos, tanto das sociedades nacionais, quanto todos os indivíduos pertencentes à humanidade (BARROS-PLATIAU; VARELLA e SCHLEICHER, 2004).

Assim, considerando que as temáticas ambientais são importantes e impactantes no sistema internacional, esta monografia tem por objetivo demonstrar

como os instrumentos e métodos de combate à degradação ambiental e ao aquecimento global podem ser utilizados pelos Estados nacionais. Especificamente, o trabalho objetiva discutir as soluções baseadas na natureza e, dentre elas, o papel das florestas sintrópicas como tecnologia de captura de carbono. Adicionalmente, a monografia também pretende oferecer uma discussão sobre a necessidade de repensar o sistema alimentar mundial como forma de viabilizar a realização do potencial de contribuição das soluções baseadas na natureza. Isto é, a hipótese que norteia o trabalho é que as soluções para o problema das mudanças climáticas passam pela rediscussão do sistema alimentar mundial, uma vez que este é baseado em formas insustentáveis de produção que impactam negativamente a biodiversidade.

Para atingir os objetivos deste trabalho, a pesquisa será subdividida em dois capítulos. O primeiro apresenta informações acerca da compreensão dos problemas ambientais e dos efeitos da crise climática enfrentadas pelos diferentes Estados e pelo sistema internacional desde o final do século XX até a contemporaneidade. Para isto, além de uma revisão bibliográfica, foi feita uma retrospectiva histórico-teórica acerca dos entendimentos e consensos observados ao longo das diferentes conferências sobre meio ambiente e sobre o clima (a saber, a conferência de Estocolmo; a Rio-92; a Rio+10 e a Rio+20; e as diferentes COPS realizadas desde 1995).

O segundo capítulo focou nos meios e instrumentos de combate à degradação ambiental e de combate às mudanças climáticas, com enfoque para métodos e alternativas de captura de carbono, com ênfase na agroecologia e a agricultura sintrópica. Vale ressaltar que o desenvolvimento das tecnologias de captura de carbono pode ser entendido como potentes instrumentos contra o desmatamento, poluição e degradação ambiental, visto que estes possibilitam uma utilização mais eficiente e consciente de recursos.

Por último, demonstrou-se como esses instrumentos vêm sendo aplicados no território brasileiro, a fim de demonstrar as potencialidades econômicas e ambientais oferecidas pela agroecologia e pelas florestas sintrópicas. Por fim, discutiu-se o que se considera uma importante dimensão das discussões internacionais acerca das soluções para o problema climático: o sistema alimentar mundial.

1. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica de pesquisa qualitativa e revisional. Por meio de um questionamento qualitativo à resposta à problemática em questão, os objetivos do trabalho buscam explorar e descrever a resposta aos problemas relacionados à temática ambiental. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando artigos acadêmicos para a pesquisa sobre o tema.

No primeiro capítulo, utilizando a revisão bibliográfica de materiais já publicados, livros e artigos que retratam conferências e tratados assinados visando o equilíbrio ambiental, foi feita uma construção de informações referentes às mudanças climáticas e sua relação com o campo de estudo das Relações Internacionais, bem como a problemática do carbono nos impactos ambientais, evidenciando uma emergência climática que exige discussões e soluções de âmbitos mundiais.

No segundo capítulo, foi discutida a natureza como parte das soluções ambientais, com foco, principalmente no potencial das florestas sintrópicas e sistemas agroflorestais na captura de carbono, evidenciando discussões acerca das dimensões de fluxo e estoque nas mudanças climáticas. Ainda, foi estabelecida uma relação entre as Relações Internacionais, as mudanças climáticas e as soluções baseadas na natureza. Nesse tópico, foi contextualizado e relacionado a importância das Relações Internacionais nas discussões acerca de problemáticas ambientais com o intuito de pensar em possíveis soluções. Também foi discutido questões referentes aos sistemas alimentares atuais e os impactos no meio ambiente, evidenciando possibilidades que relacionem as soluções baseadas na natureza com a adoção de novas perspectivas para um sistema alimentar mais sustentável.

1.1. Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

- a) Investigar tecnologias voltadas à redução de impactos ambientais que são fundamentadas em elementos da natureza, contextualizando com as Relações Internacionais e necessidade de discussão acerca de tais problemáticas na construção de uma sociedade mais sustentável.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Analisar os benefícios das florestas sintrópicas;
- b) Analisar os benefícios das soluções de impactos ambientais baseadas na natureza;
- c) Relacionar as mudanças climáticas, as soluções baseadas na natureza e as Relações Internacionais;
- d) Enfatizar a necessidade dos encontros e discussões internacionais para resolução das problemáticas ambientais;
- e) Apontar oportunidades dadas ao Estado brasileiro referentes às soluções baseadas na natureza frente aos enormes desafios ambientais e climáticos presentes na contemporaneidade.

1.2. Justificativa

Com o passar dos anos, observa-se que as temáticas ambientais vêm se tornando pautas extremamente importantes no sistema internacional. Diversos fóruns e cúpulas de cooperação multilateral têm impactado diretamente na forma pelo qual os atores no sistema internacional agem e se relacionam entre si.

No que diz respeito ao meio ambiente, em 1972, a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, buscava demonstrar que a preservação de recursos deveria ser levada em conta no processo de desenvolvimento dos países, de forma que as questões ambientais ganham papel de destaque no sistema internacional.

Desde a redemocratização do Brasil, e pelo menos até a ascensão de Jair Bolsonaro ao poder, em 2018, as questões ambientais vêm sendo enfrentadas com

grande seriedade e respeito, sendo o Estado Brasileiro um ator extremamente importante e respeitado internacionalmente pela proteção e políticas ambientais. Tendo em vista isso, grande parte das importantes conferências mundiais sobre o assunto foram realizadas em território brasileiro, tal como a Rio-92 e a Rio +20.

Dada as recentes alterações nas políticas ambientais brasileiras, considerar as pautas ambientais faz-se extremamente necessário, visto que é por meio da exposição dos benefícios políticos, econômicos e sociais trazidos pela preservação do meio ambiente, que as ações e orientações domésticas e externas dos Estados podem ser alteradas.

A importância da proteção e adoção de políticas internacionais de proteção de meio ambiente constituem-se como um grande instrumento para a inserção internacional dos países. Assim como descrito por Antunes (2019) a cooperação internacional para o meio ambiente constitui-se como um instrumento de governança global, podendo ser utilizadas para assegurar a promoção do desenvolvimento econômico e social dos países. Se a defesa e proteção do meio ambiente e a busca por reduzir os efeitos maléficos da ação humana sobre o planeta no antropoceno podem trazer enormes benefícios na área econômica e social para os diversos Estados nacionais, explicitar os meios pelo qual o Brasil pode ser beneficiado por tal governança global faz-se necessário e benéfico para a formulação de políticas nacionais que visem moldar a atuação do Estado no âmbito doméstico e internacional. Além disso, compreendemos, como foi demonstrado por Duarte (2012), que a proteção do meio ambiente e a iniciativa de proteger o globo contra as mudanças climáticas, se constituem como um importante elemento de Soft Power, sendo um instrumento potente para a inserção internacional efetiva de diversos Estados. Além disso, a presente pesquisa faz-se necessária e relevante pois, a atual situação de degradação ambiental presente no território brasileiro tem uma abrangência e relevância significativa em diversos aspectos.

De acordo com a CETESB, o desmatamento é a principal fonte de emissões de dióxido de carbono dentro do território brasileiro. Segundo o relatório do IPCC, divulgado em 2021, existe a possibilidade de aumento da temperatura global em 1,5°C nas próximas décadas. Dada a direta relação destas variáveis, países e organizações vêm se movendo para combater os impactos das mudanças climáticas ao redor do planeta, sendo o Brasil um enorme foco de preocupação da grande maioria dos atores no sistema internacional, em especial a partir de 2018, devido ao desmantelamento e

infração da legislação ambiental, com auxílio do próprio governo brasileiro liderado por Bolsonaro.

Pensar alternativas sustentáveis para as dinâmicas econômicas e sociais brasileiras se faz extremamente necessário, em especial quando consideramos a posição crítica no sistema internacional. É nesse sentido que defendemos que a utilização de instrumentos e métodos de proteção ambiental e captura de carbono são extremamente benéficos economicamente e politicamente para o Estado brasileiro. Nesse sentido, buscamos compreender os benefícios e oportunidades trazidos pelas florestas sintrópicas aplicadas no território brasileiro.

O cientista suíço Ernst Götsch, criador da Agenda Götsch, vem aplicando há mais de 40 anos seu método de agricultura sintrópica no Brasil. Tendo em vista que o sistema sintrópico traz resultados significativos em pequenas áreas do país, e é capaz de transformar até o microclima a região onde foi implantado- como o retorno de cachoeiras e de espécies à beira da extinção-, defendemos que a contínua implementação desta tecnologia natural, bem como de sistemas agroflorestais e outras soluções baseadas na natureza, poderá reduzir significativamente os impactos do efeito estufa, bem como possibilitar o equilíbrio e resolução de outros problemas ambientais no território brasileiro.

Nesse sentido, acreditamos também ser essencial discutir acerca da necessidade das Relações Internacionais no que diz respeito à melhoria dos impactos ambientais a nível mundial, buscando um mundo mais sustentável.

CAPÍTULO 1

1 A EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: DESAFIO GLOBAL EXIGE SOLUÇÕES GLOBAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar, sucintamente, o problema da emergência global, enfatizando sua natureza global. Devido a isso, as possíveis soluções para este desafio devem ser buscadas por meio de concertações globais que indiquem o caminho a ser trilhado. A primeira seção busca apresentar a relevância do tema para as Relações Internacionais. A segunda seção aborda, de maneira mais técnica, a problemática envolvida com a exacerbação do efeito estufa e suas consequências.

É preciso, primeiramente compreender as dimensões de poder dos Estados para que possa ser discutido os limites em termos de problemáticas e melhorias ambientais que cada país pode atingir, bem como os caminhos a serem trilhados. O principal atributo das unidades básicas do sistema internacional, é o interesse expresso em termos de poder, sendo as relações de poder que constituem a natureza básica das Relações Internacionais. No contexto internacional, esse poder é multidimensional e composto por uma diversidade de componentes, tais como população, recursos naturais, acordos internacionais, meio ambiente, política, cultura, sociedade, dentre outros, que são diferentes para cada país, já que cada um dispõe de autonomia para definir tais componentes de acordo com o que lhes interessa nacional e internacionalmente.

Nesse sentido, cada país tem seus recursos específicos, e, por conta disso, age de determinada maneira no cenário internacional. Quando se trata de um cenário internacional no contexto ambiental voltado à melhoria das problemáticas ambientais, a ideia é a mesma, e os países se posicionam de determinada maneira de acordo com os recursos disponíveis. Um exemplo interessante para contextualização desse mecanismo, foi a atuação e discussão dos países no Protocolo de Kyoto. De uma maneira geral, países desenvolvidos emitiam uma quantidade muito maior de gases causadores do efeito estufa na atmosfera do que países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. A grande discussão deu-se referente à equidade das porcentagens de redução das emissões atribuídas a países desenvolvidos e países em

desenvolvimento, uma vez que não seria correto atribuir as mesmas quantidades de redução se os diferentes países emitiam de forma diferente e em quantidades diferentes.

Dessa forma, faz-se necessário considerar as dimensões de poder dos Estados nos âmbitos internacionais, bem como as interações entre os países e reflexos desses poderes nas Relações Internacionais antes mesmo de se discutir assuntos referentes à diversas temáticas, principalmente a temática ambiental, foco de discussão do presente trabalho.

1.1 As crises climáticas e sua relevância nas Relações Internacionais

Belini (2012) descreve que, a combinação entre ciências, tecnologias e grandes investimentos econômicos incentivou o processo de industrialização que teve início com a Revolução Industrial, e se intensificou a partir da metade do século XX, sendo recorrente até os dias atuais. Como consequência da Revolução Industrial, Kurz (1992) afirma que o sistema capitalista abrange uma busca constante pela maximização do consumo e da produção, sendo o mercado e o padrão de consumo dos países e populações resultados desse sistema.

Uma vez que ocorre um crescimento tecnológico global, Paiva (2015) descreve o surgimento de um problema que, pela primeira vez, a sociedade industrial precisou enfrentar: as ações antrópicas promovidas no meio ambiente estão alterando o clima da Terra e causando impactos severos de abrangência mundial bastante significativa. Esse padrão de desenvolvimento energético adotado por vários países vem ocorrendo há alguns anos e tem implicado em custos ambientais relevantes (PAIVA, 2015). Isso porque o sistema capitalista adotou como fontes de geração de energia a queima de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo. Quando queimados, esses combustíveis liberam dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, alterando o equilíbrio natural do clima da Terra e causando diversos problemas socioambientais e políticos (PAIVA, 2015).

Além da liberação excessiva de gases poluentes na atmosfera, a Revolução Industrial trouxe também outras consequências resultantes de um processo de crescimento econômico em larga escala, tais como: efeito estufa, acúmulo de substâncias tóxicas e não-biodegradáveis no meio ambiente, destruição da camada de

ozônio, aumento da acidez do solo, depósito de lixo, desmatamento de florestas, destruição da biodiversidade, dentre outros. (BIAGIO; ALMEIDA e BONILLA, 2007, p.76).

Outra problemática relevante é em relação à poluição de uma forma geral, havendo grandes possibilidades de ocorrência de poluições acidentais causadas por eventos imprevisíveis em decorrência da instalação de grandes indústrias, tais como: vazamentos, derramamentos e contaminações por efluentes líquidos e resíduos sólidos (JURAS, 2015).

Todos esses problemas ambientais são foco de discussão entre os países do mundo todo, que buscam a diminuição desses impactos ao mesmo tempo em que garantem o desenvolvimento econômico dos próprios. Segundo um modelo de Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas elaborado por Nobre, Reid e Veiga (2012), um dos principais problemas discutidos e abordados é em relação à liberação de gases poluentes na atmosfera, principalmente o CO₂, que é proeminente da queima de combustíveis fósseis essenciais para a produção de diversas formas de energia, e acaba refletindo em outras questões ambientais importantes. O dióxido de carbono é um gás que existe naturalmente na atmosfera, porém, de forma inorgânica e em taxas de emissão muito pequenas, como por exemplo, quando um vulcão entra em erupção e libera o CO₂ (NOBRE; REID; VEIGA, 2012). O aumento excessivo e exacerbado de CO₂ é predominantemente orgânico, proveniente de atividades realizadas pelo homem que são prejudiciais ao meio ambiente (NOBRE; REID; VEIGA, 2012). Logo, Paiva (2015) descreve que as consequências ambientais, resultantes do uso do petróleo e seus derivados, demonstram a necessidade de buscar outras fontes de energia renováveis menos prejudiciais ao meio ambiente, abrangendo um desenvolvimento sustentável em todos os seus aspectos, englobando tanto as questões ambientais, quanto as necessidades e segurança energética global.

Segundo Oliveira (2015), no surgimento das primeiras indústrias, em meados do século XVIII, as problemáticas ambientais eram de pequena proporção, uma vez que ainda não havia grande concentração de pessoas e a produção era de baixa escala. Por conta disso, as demandas ambientais eram pequenas e, ainda segundo Oliveira (2015), a fumaça saindo das chaminés nas propagandas de pequenas indústrias era o símbolo do progresso. De acordo com Ganzala (2018), essa fumaça só se tornou preocupante anos depois, quando a poluição, os problemas respiratórios e os impactos ambientais começaram a ser pauta de discussão entre os empresários

das indústrias, já que o acúmulo de capital era o principal foco do desenvolvimento capitalista em ascensão. Conforme os anos foram passando, a construção de fábricas foi se expandindo no ambiente urbano, e tornou viável a instalação de um ambiente propício à circulação de recursos e materiais que intensificaram a geração de resíduos, e a quantidade de poluentes depositados na atmosfera, nos rios, lagos e mares, e nos solos (GANZALA, 2018).

Ainda segundo Ganzala (2018), os problemas ocasionados pela liberação de gases poluentes, especificamente o CO₂ que resulta na exacerbação do efeito estufa e em diversas mudanças climáticas, bem como outras problemáticas ambientais provocadas pela crescente industrialização, assume uma condição de problemática global que começou a ser levantada somente no final da década de 1960 e início da década de 1970, uma vez que é resultado dos avanços industriais e da sociedade capitalista. Isso porque por muitos anos a destruição do meio ambiente e dos recursos naturais era vista como um mal necessário para que fosse possível alcançar o progresso das nações e suprir as necessidades consumistas de uma população estimulada pela mídia e pela obsolescência programada de muitos produtos (GANZALA, 2018). Pott e Estrela (2017, p.271-272) destacam que os:

[...] desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento produção e a ascensão de novas tecnologias, alterou o modo de vida no planeta. Por sua vez, a evolução da medicina possibilitou o tratamento para inúmeras doenças, antes tidas como fatais, aumentando a expectativa de vida da população, assim como a mão de obra disponível. Quase três séculos se passaram desde a Revolução Industrial, porém a questão ambiental começou a ser levantada somente no final da década de 1960 e início da de 1970. Anteriormente, alguns episódios demonstravam a influência do crescimento desordenado na vida da população e na saúde do meio ambiente, tidos como mal necessário para o progresso.

Tendo em vista isso, no final do século XX e início do século XXI as discussões referentes à temática ambiental são resultado de um modelo de crescimento em virtude dessas atividades industriais e do consumismo desenfreado em nível local e mundial (GANZALA, 2018). Assim, a visão moderna das indústrias demonstra novas perspectivas mais complexas e necessárias, principalmente porque existia uma pressão exercida pela própria sociedade em relação a movimentos voltados à proteção do meio ambiente, bem como legislações desenvolvidas ao longo dos anos que visam à preservação do meio ambiente e dos recursos naturais utilizados pelas indústrias, sendo necessário que estas se adequem a esse novo cenário e se mostrem ambientalmente comprometidas e engajadas (GANZALA, 2018).

Os debates e encontros realizados entre os países têm o intuito de estabelecer acordos entre eles para caminhar em busca de um cenário de mudanças na geopolítica internacional, visando reduzir e/ou eliminar os desgastes ambientais. Belini (2012) garante que a questão ambiental alcançou uma magnitude tão grande que reflete em outros âmbitos na organização e logística dos países, como a economia, política, sociedade e o meio ambiente, sendo um dos maiores desafios já enfrentados pela geopolítica internacional. No entanto, a solução efetiva e duradoura para tais problemas exige esforços relacionados a mudanças transformadoras na relação entre o homem e o meio ambiente. Visando isso, encontros entre os países buscam essas mudanças ao mesmo tempo em que enfrentam o desafio ético-político situados além das fronteiras (BELINI, 2012).

Em 1968, a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência, e a Cultura) organizou a chamada Conferência para a Biosfera em Paris, que representou uma tomada de consciência por parte da população acerca da perda de qualidade do meio ambiente (GURSKI; GONZAGA; TENDOLINI, 2012). Pela primeira vez, o termo “natureza”, comumente utilizado, foi substituído por “meio ambiente”, com o intuito de abranger mares, ar, rios, oceanos, poluições e dejetos, evidenciando que esse termo deveria ser debatido muito além da esfera científica, mas também nos âmbitos sociais, políticos e culturais (GURSKI; GONZAGA; TENDOLINI, 2012). Segundo esses autores, em meados desse ano, foi criado o Clube de Roma, que tinha como objetivo utilizar de fórmulas matemáticas para discutir assuntos relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, empenhando esses estudos voltados à política e à economia global. Em 1972, esse mesmo grupo publicou um livro conhecido como “Os limites do crescimento”, que tinha como objetivo demonstrar, a partir de conhecimentos matemáticos relacionados a princípios malthusianos, que o planeta Terra era incapaz de manter seu equilíbrio por problemas populacionais e de poluição (GURSKI; GONZAGA; TENDOLINI, 2012).

Esses acontecimentos representaram marcos importantes na evolução científica e no aumento da preocupação relacionada à problemática ambiental, e serviu como incentivo para a elaboração de novos acordos e conferências para discussão do tema (GURSKI; GONZAGA; TENDOLINI, 2012). Ainda em 1972, a ONU (Organização das Nações Unidas) realizou a Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, também conhecida como Conferência de Estocolmo. Le Prestre (2005 p. 176-177) descreve quatro principais motivos para a realização desse evento:

o aumento das preocupações em relação às mudanças climáticas observadas, além dos problemas da quantidade e da qualidade da água disponível para consumo; o crescimento da popularidade dos problemas ambientais, principalmente pela ocorrência de catástrofes cujos efeitos eram visíveis pela população; o crescimento econômico acelerado que gerou uma transformação social muito significativa; inúmeros outros problemas ambientais identificados como chuva ácida, poluição do Mar Báltico e acúmulo de metais pesados e pesticidas nos oceanos. Essa Conferência foi um passo importante para o início da discussão desses problemas e teve como resultado o Tratado de Montreal, que fez com que os países substituíssem substância prejudiciais à atmosfera, como os gases CFC's, que destruíam a camada de ozônio, além da criação de programas de Educação Ambiental, vista como crítica e essencial para combater as crises ambientais no mundo (DIAS, 2004). Esse Tratado é mantido até hoje e é visto como referência para proteger a atmosfera controlando os gases prejudiciais (DIAS, 2004).

Em 1977, foi realizada na Geórgia uma Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental: a Conferência de Tbilisi. Esse encontro foi tido como referência internacional com aspectos voltados à Educação Ambiental, pois nela foram definidos os princípios e as metas para o desenvolvimento de uma Educação Ambiental que seria aplicada em diversos países. No Brasil, essa Conferência incentivou a elaboração de uma Lei que diz respeito à Política Nacional do Meio Ambiente, a Lei nº 6.938 (PHILIPPI JR, 2005).

Em 1987, foi elaborado o Relatório Brundtland, um documento realizado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU (JUNIOR et al., 2012). As ideias e metas elaboradas pelo Relatório são mantidas até os dias de hoje e tratam de questões como: a busca pelo desenvolvimento sustentável, o papel da economia internacional, população, segurança alimentar, energia, desafio urbano, indústrias e mudanças institucionais (DIAS, 2004).

Segundo Junior et al., 2012, esse documento originou o conhecido termo de Desenvolvimento Sustentável, fazendo referência a um desenvolvimento político e econômico que cumpra com suas especificidades e objetivos, mas sem comprometer a capacidade de as futuras gerações suprirem suas próprias necessidades. Para isso, o Relatório de Brundtland sugere várias medidas a serem adotadas pelos países para tentar mitigar os problemas ambientais e pensar em soluções mais sustentáveis, além

de ter sido muito importante para efetivar a necessidade da Educação Ambiental (DIAS, 2004).

Em 1992, vinte anos depois da Conferência de Estocolmo, Philippi (2004), cita que foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92. O evento reuniu 172 países e também teve participação da população geral, incentivando os países a empreender ações a fim de melhorar as condições sociais e ambientais a nível local e global (PHILIPPI, 2004). Nesse evento foram elaborados documentos como o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, a Carta da Terra e a Agenda 21, todos voltados para a construção de uma sociedade preocupada e engajada com as questões ambientais (PHILIPPI, 2004).

Dez anos depois da Rio-92, a ONU promoveu outro encontro internacional em Johannesburgo, na África do Sul (PHILIPPI JR, 2004, p.451). O evento ficou conhecido como Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável e discutiu os progressos obtidos com a Rio-92 (a Rio +10), além de fortalecer e efetivar os compromissos assumidos com esse novo evento e trocar novas experiências, fortalecendo os laços entre países e instituições (PHILIPPI JR, 2004).

Em junho de 2012, uma nova Conferência foi realizada no Rio de Janeiro com o mesmo intuito de tratar de questões ambientais abordadas nos encontros anteriores, a Rio +20, cujo nome marcou os vinte anos após a Rio-92 (JÚNIOR et al., 2012). No entanto, ao contrário das primeiras Conferências, essa tinha como foco principal o Desenvolvimento Sustentável dos países. Para isso, 193 países estados membros da ONU se reuniram, além de membros de vários setores da sociedade civil (JÚNIOR et al., 2012). A Conferência teve como ponto de partida, um questionamento instigante: Qual o futuro que queremos? Tal questionamento incentivou os participantes a pensarem e questionarem o que poderiam fazer para melhorar as condições ambientais e cuidar do nosso planeta, além de definir os próximos passos para atingir o desenvolvimento sustentável nos anos seguintes e renovar as relações políticas entre os países acerca dos temas recentes e emergentes (JÚNIOR et al., 2012).

É de conhecimento geral que as mudanças climáticas têm causado alarme em todo o planeta nos últimos anos. Este fator apenas se intensificou com o recente relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), publicado no em agosto de 2021. As informações trazidas alegam um possível aumento da temperatura global, que pode variar entre 1,5°C a 2,0°C nas próximas décadas. Deve-

se reduzir até 50% da emissão de dióxido de carbono até o ano de 2030 para que em 2050 haja a neutralidade de carbono na atmosfera (IPCC, 2021).

Tendo em vista isso, por se tratar de um problema global, as mudanças climáticas afetam todos os países independente de suas características sociais e econômicas. Nesse sentido, é de conhecimento comum o movimento dos países para a busca de uma solução global. A Conferência das Partes (COPs) é um exemplo de um movimento que reuniu diversos países e, em outubro/novembro de 2021 já estava na sua 26ª edição em Glasgow, Escócia.

Como descrito, ao longo das reuniões, Estados de todo o planeta se reúnem a fim de encontrar soluções para o clima, por meio de tratados, convenções e alianças. O Protocolo de Kyoto é um exemplo de um documento muito importante e que se tornou vigente em 2004, tendo grande relevância para o cenário internacional. Ele foi adotado em dezembro de 1997 e estabeleceu metas para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa e prejudiciais ao meio ambiente, além de outras implementações para que essas metas fossem efetivas (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2004, p. 12).

De acordo com Zaniolo e Colzani (2008), o Protocolo de Kyoto reconheceu a gravidade e dimensão dos efeitos degradantes causados no meio ambiente em decorrência da poluição e ações antrópicas, e fez recomendações aos Estados para redução das emissões de gases poluentes. Nesse sentido, o Protocolo tem o intuito de estabelecer outros acordos e discussões entre os Estados-membros para que a comunidade internacional estabeleça metas para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, principalmente por parte dos Estados que mais poluem (ZANIOLO; COLZANI, 2008).

A maior parte das emissões de gases do efeito estufa é feita pelos Estados industrializados desde a Revolução Industrial, e são atribuídas responsabilidades diferentes aos Estados, que são separados em dois grupos: aqueles com maior responsabilidade na emissão de gases poluentes, e os demais com menor responsabilidade (ZANIOLO; COLZANI, 2008).

Para tentar garantir os princípios de responsabilidade comum entre os países, o Protocolo de Kyoto não estabeleceu metas de redução para os Estados em desenvolvimento, tais como México, Índia, China e o Brasil, mesmo que a parcela de contribuição dos mesmos seja bastante significativa. No entanto, segundo Zaniolo e Clzani (2008), por conta disso, alguns países têm objeções contra as metas

estabelecidas no Protocolo, já que as responsabilidades de redução das emissões de gases poluentes são diferentes para cada um. O Japão é um país que manifesta objeções, mas não deixa de ratificar. Os Estados Unidos foi o único país que ainda não aderiu ao Protocolo, alegando a não aceitação das metas diferentes para cada Estado em termos de redução de emissões de gases (ZANIOLO; COLZANI, 2008).

Tendo em vista a necessidade de uma participação mínima exigida de 55% das emissões mundiais, o Protocolo de Kyoto só entrou em vigência com a adesão da Rússia em 2004, porém, ainda há divergências e conflitos de interesses, uma vez que a busca pelo desenvolvimento e crescimento pode ultrapassar as preocupações ambientais (ZANIOLO; COLZANI, 2008).

Outro exemplo é o Acordo de Paris, adotado em 2015 com o objetivo de reduzir os impactos ambientais que provocam o aquecimento global. Ao todo, 195 países participaram da discussão desse tratado durante a COP21, em Paris. A partir de 2020 esse acordo substituiu o Protocolo de Kyoto e 55 países que eram responsáveis por 55% da emissão de gases causadores do efeito estufa, precisavam ratificar esse acordo. 195 países assinaram o Acordo de Paris e, dentre esses, 147 aderiram efetivamente, incluindo o Brasil, se comprometendo a adotar medidas para reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa (CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS), 2022). Por um lado, estes dois tratados revelam a necessidade da cooperação entre os Estados para o sucesso do controle climático, e por outro lado, explicitam a dificuldade para alcançar tal cooperação, já que esse assunto vai muito além das questões políticas referentes aos acordos entre os próprios (UNFCCC, N.D.)

Em dezembro de 2020, o Brasil transmitiu a nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ao Acordo de Paris, o principal compromisso internacional do Brasil no que diz respeito às mudanças climáticas. Considerando o ano de 2005, a NDC brasileira segue reafirmando o compromisso de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 37% até o ano de 2025 (GOVERNO FEDERAL, 2020). Além desse compromisso, estabelece também a meta de redução em 43% até o ano de 2030 e ainda afirma o objetivo de atingir emissões líquidas nulas e alcançar uma neutralidade climática até o ano de 2060 (GOVERNO FEDERAL, 2020).

No entanto, as perspectivas atuais não são nada promissoras e as metas parecem um tanto ambiciosas considerando esses dados atuais. Os aspectos ambientais do Brasil são bastante preocupantes, principalmente devido ao aumento

das taxas de desmatamento no país, além de outras problemáticas ambientais que não estão sendo foco das políticas públicas do atual governo. Entre os meses de agosto de 2017 e julho de 2018, por exemplo, 7.900 km² de floresta Amazônica foram destruídos, e isso representa um aumento de 13,7% de taxa de desmatamento em relação ao período anterior, de acordo com o INPE (MOLITERNO, 2020).

1.2 O carbono e as problemáticas ambientais

Zarbin e Orth (2019) definem um material estratégico como sendo aquele pelo qual algum planejamento estratégico é diretamente dependente, e sua ausência pode acarretar um dano direto a esse planejamento. No contexto de material estratégico para uma nação, os autores afirmam que esse planejamento leva em consideração aspectos econômicos, políticos, sociais ou militares englobando a segurança nacional. Em outras palavras, materiais estratégicos são aqueles que geram riqueza, seja de forma direta ou indireta, que garantem soberania, que possibilitam o bem-estar da população quando incorporados em produtos ou associados a serviços, e que, podem auxiliar na defesa da nação (ZARBIN & ORTH, 2019). No contexto de elementos químicos que são indispensáveis para a vida na Terra, o carbono é considerado um material estratégico, já que é necessário para todos os seres vivos da Terra.

Muito dificilmente o átomo de carbono é encontrado sozinho na natureza, estando sempre associado ao oxigênio, formando o dióxido de carbono. Na natureza, o carbono pode ser encontrado na forma de carvão, grafite ou diamante. Segundo a Greenme (2014), a cada 100 seres vivos do planeta, 18 são formados por carbono, incluindo as plantas, os animais e os seres humanos. Nos seres humanos, por exemplo, aproximadamente 19% de sua massa é composta por carbono, além de oxigênio, nitrogênio, cálcio, dentre outros.

O carbono está presente em muitas coisas que existem no planeta Terra, e varia somente em termos de quantidade. Pode ser encontrado na atmosfera, na terra e no mar. Nos vegetais, por exemplo, pode ser encontrado nas folhas, frutas e legumes. Nos animais, participa da estrutura das células, sendo o elemento mais abundante no corpo humano, estando presente em 18% do total de átomos do corpo, além de todas as estruturas do corpo, variando somente em termos de quantidade em relação a cada órgão (GREENME, 2014).

Não é à toa que o carbono é considerado essencial à vida na Terra, e também está envolvido em outros processos, como a própria respiração dos seres vivos, que liberam CO₂ na atmosfera, além da fotossíntese que resgata e utiliza esse CO₂ para produzir energia para as plantas.

A todo momento a atmosfera e as plantas trocam carbono por meio da fotossíntese, e é preciso entender esse processo como sendo de extrema importância para o início da teia alimentar e existência de todos os seres vivos, já que, como resultado da fotossíntese é produzido material orgânico para suprir grande parte da demanda energética de todo o planeta. Por utilizar energia solar e elementos químicos, incluindo o carbono, para realizar seus processos biológicos, as plantas são consideradas a base da cadeia alimentar, também chamadas de produtores primários. Animais herbívoros, ou seja, que se alimentam exclusivamente de plantas são chamados de consumidores primários, enquanto consumidores secundários se alimentam dos primários, podendo consumir também os produtores. Já os predadores, são conhecidos por se alimentarem tanto dos consumidores primários, quanto os secundários, e, geralmente estão no topo da cadeia alimentar.

Tendo em vista isso, além de considerar toda a importância do carbono incluído na cadeia alimentar, sendo indispensável para a existência de todos os seres vivos e a biodiversidade e ecossistemas da Terra, no contexto de importância para o ser humano, especificamente, é preciso evidenciar que não retiramos o carbono diretamente da atmosfera (TONIOLO; CARNEIRO, 2010). Esse carbono é retirado da biomassa das plantas e animais que ingerimos. Por isso, esse carbono que faz parte do nosso corpo, já esteve livre na atmosfera e foi capturado pelas plantas, que, por sua vez, já nos serviram de alimento. Ainda, esse mesmo carbono pode já ter estado em outros seres vivos, uma vez que a vida existente na Terra é composta por ciclos que se sucedem desde os primórdios de surgimento. Logo, os seres humanos estão inseridos na cadeia alimentar e fazemos parte dela (TONIOLO; CARNEIRO, 2010).

Assim como toda matéria presente no planeta, o carbono não se cria, e nem se destrói, somente se transforma, e por isso, há uma quantidade finita de carbono disponível no planeta Terra, ou seja, é plausível de acabar, interferindo de forma negativa no processo de fotossíntese realizado pelas plantas, além de outros processos pelos quais o carbono é essencial (GREENME, 2014).

Além de toda a importância para a vida na Terra, o carbono também possui relevância material nos quesitos tecnológicos, industriais, econômicos e sociais dos

países. Um exemplo, é a composição no diamante que é utilizado para aplicações industriais, o carvão para geração de energia, e os fulerenos, com aplicação médica e em células solares (ZARBIN; ORTH, 2019). Assim, também se considera o carbono como sendo um elemento químico de extrema importância para o desenvolvimento econômico internacional nos âmbitos industriais de uma forma geral, e todos os aspectos abrangentes (ZARBIN; ORTH, 2019).

Do ponto de vista do planeta Terra, nosso planeta é naturalmente composto por alguns gases que fazem parte de sua atmosfera. Dentre eles, aproximadamente 21% é oxigênio (O₂) e 78% nitrogênio (N₂). Ainda, aproximadamente 1% da composição da atmosfera são outros gases, como o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), o óxido nitroso (N₂O), os gases nobres, o ozônio (O₃), o metano (CH₄) e vapor d'água (ESTEVES; MORGADO, 2020). Importante ressaltar que, a grande maioria desses gases possui o carbono em sua composição, evidenciando a importância desse composto no nosso planeta.

O Sol é a principal fonte de energia do Planeta Terra, e quando os raios solares chegam ao nosso planeta, a própria atmosfera reflete aproximadamente 25% dessa radiação de volta para o espaço, filtrando parte da radiação e deixando somente uma parte dela chegar até a superfície. Parte dessa radiação que atravessa a atmosfera será absorvida e utilizada para aquecer nosso planeta, como o solo, as águas, os seres vivos e a própria atmosfera (ESTEVES; MORGADO, 2020). A superfície da Terra também irá irradiar calor de volta na forma de radiação infravermelha, um tipo de radiação eletromagnética com frequência menor que a luz vermelha, não podendo ser percebida pelo olho humano por estar fora do espectro eletromagnético visível.

Sobre isso, o cientista francês Jean Baptiste Fourier (1768-1830) foi quem, possivelmente, considerou o conceito de temperatura do planeta como sendo um objeto de estudo da Ciência, dando importância a isso de uma forma científica e mais abrangente (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018). Ele assumiu que, se o Sol é a principal fonte de energia para a Terra, e se a Terra recebe energia do Sol, então ela também deve emitir energia de volta ao espaço, já que, caso não reemittisse essa energia, se tornaria cada vez mais quente, tornando-se inóspita (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018). Assim, de acordo com Junges; Santos; Massoni; Santos (2018), deve existir uma temperatura de equilíbrio para a Terra e os outros planetas, em que a taxa de energia absorvida é igual a taxa de energia emitida (PIERREHUMBERT, 2004).

Se existisse apenas os gases nitrogênio e oxigênio na atmosfera, essa radiação se perderia no espaço. Porém existem alguns gases conhecidos como gases do efeito estufa, em que o carbono está inserido. Em termos de energia, esses gases vibram na faixa de frequência da radiação infravermelha ao serem atingidos por ela, retendo essa radiação na forma de energia, e, conseqüentemente, retendo uma parte do calor proveniente dos raios solares, impedindo que eles cheguem ao planeta e diminuindo muito a temperatura da Terra, causando diversos danos aos seres vivos (ESTEVEZ; MORGADO, 2020).

No contexto histórico, Junges; Santos; Massoni; Santos (2018) descrevem que as primeiras hipóteses acerca do efeito estufa da Terra dizem respeito aos próprios trabalhos de Fourier. Em um artigo datado do ano de 1824 e apresentado à Académie Royale des Sciences em Paris, levantou-se questionamentos acerca da atmosfera como tendo um papel importante a desempenhar para determinar a temperatura dos planetas. Sobre isso, Fourier fez a seguinte descrição:

[...] a temperatura (da Terra) pode ser aumentada pela interposição da atmosfera, porque o calor no estado de luz encontra menos resistência em penetrar o ar, do que em repassar pelo ar quando convertido em calor não luminoso (Fourier, 1824 apud Fleming, 1998, p. 61)

No entanto, Fourier ainda desconhecia o que tornava a atmosfera mais opaca à radiação infravermelha do que à luz visível e foi o engenheiro John Tyndall (1820-1893) que conseguiu ir adiante acerca dos mecanismos do efeito estufa, sua importância para a vida na Terra e as propriedades dos gases estufa (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018).

No ano de 1859, Tyndall utilizou um espectrofotômetro para comprovar e concluir que gases como o dióxido de carbono (CO_2), e o vapor d'água (H_2O), tinham propriedades de absorção de radiação infravermelha. Por outro lado, o oxigênio (O_2), nitrogênio (N_2), e hidrogênio (H_2) não conseguiam absorver essa radiação (FLEMING, 1998, p.70).

Apesar dessa descoberta, ainda foram necessárias várias décadas para que medidas e dados mais precisos pudessem comprovar de forma satisfatória e bem embasada os gases estufa (FLEMING, 1998, p.116). O mecanismo do efeito estufa e os gases envolvidos só foi compreendido por volta de 1940 e 1950, a partir de trabalhos e pesquisas feitas pelo engenheiro Guy Stewart Callendar, e do físico Gilbert Plass (WEART, 2008).

O efeito estufa da Terra é um fenômeno natural essencial para a vida no planeta. Alguns estudos demonstram que, em termos de números, sem o efeito estufa a temperatura média da superfície terrestre seria de -18°C , ao invés da temperatura média atual de $+15^{\circ}\text{C}$ (ESTEVES; MORGADO, 2020). De acordo com Esteves; Morgado (2020), sem o efeito estufa não existiria possibilidade de existência de vida em todos os seus aspectos na Terra. No entanto, apesar de ser um fenômeno natural, não é um fenômeno imutável, ou seja, é passível de sofrer mudanças em sua composição química, e na composição química da atmosfera, o que resulta em mudanças no próprio efeito estufa, na concentração dos gases que o compõem, e na influência em outros problemas ambientais que são de preocupação global, resultando no aquecimento global (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018).

Com o intuito de entender a influência do CO_2 referente a questões ambientais relacionadas ao aquecimento global, é preciso considerar primeiramente a contribuição do CO_2 para o efeito estufa natural da Terra. Cientistas da NASA quantificaram a contribuição do CO_2 utilizando dados de satélites (LACIS, et al., 2010), e, descobriu-se que o vapor d'água é responsável por 50% do efeito estufa, as nuvens também têm uma porcentagem de influência, com 25%, os demais gases com 5%, e o CO_2 com 20% (IBID, p 357). Tendo em vista isso, deve-se questionar o porquê da preocupação excessiva com o CO_2 , já que sua porcentagem de influência não é tão relevante considerando outros elementos, como o vapor d'água e as próprias nuvens.

Primeiramente, é preciso considerar algumas questões referentes a composição e características químicas e físicas do CO_2 , como o fato de ser um gás estufa não condensável, o que significa que ele pode permanecer na atmosfera por centenas de anos (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018). Além disso, existe uma relação muito forte e característica entre os níveis de CO_2 e a temperatura, já que altos níveis de CO_2 são acompanhados de altas temperaturas referentes ao período interglacial. Por outro lado, um nível de CO_2 mais baixo está acompanhado de baixas temperaturas (período glacial), evidenciando que o CO_2 faz parte da histórica climática da Terra (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018). Além disso, um gás não condensável como o CO_2 pode iniciar um processo de aquecimento a respeito de uma saída de uma era do gelo, diferente do vapor d'água, que é condensável, podendo ampliar o processo de aquecimento, mas nunca iniciá-lo. Tendo em vista isso, a exemplo de um aumento de temperatura pequeno causado pelo aumento da concentração de CO_2 fará com que a atmosfera comporte uma

quantidade maior de vapor d'água, que irá intensificar o efeito estufa e aumentar a temperatura (JUNGES; SANTOS; MASSONI; SANTOS, 2018).

Essas informações fornecem um conhecimento abrangente sobre como o CO₂ é importante na regulação da temperatura do planeta, sendo o principal mecanismo de controle do termostato terrestre, e tornando propícia a vida na Terra (LACIS, et al., 2010).

Na natureza é a fotossíntese que equilibra a relação do Carbono com o ambiente, já que esse composto em excesso é prejudicial ao meio ambiente. No entanto, visto que as atividades antrópicas poluentes se intensificaram ao longo dos anos, as plantas não estão sendo mais capazes de conter o processo de acúmulo em excesso de carbono na atmosfera, acarretando no chamado efeito estufa (GREENME, 2014).

Assim, quando se fala em um agravamento do efeito estufa, refere-se a um aumento da temperatura do planeta que, em uma escala crescente, tornará a vida na Terra cada vez mais inviável levando em conta o aquecimento em excesso, além de causar outros impactos ambientais bastante significativos. Esse aumento do efeito estufa em uma escala crescente e global, ocorre principalmente devido ao aumento de emissões antropogênicas desses gases, especificamente o dióxido de carbono (JUNGES; SANTOS; MASSONI & SANTOS, 2018).

De acordo com a Ecodebate (2020), as emissões de CO₂ no mundo todo estavam em 2 bilhões de toneladas em 1900, 6 bilhões de toneladas em 1950, 25 bilhões de toneladas em 2000 e 37 bilhões de toneladas em 2019. Somente a natureza não é capaz de absorver todo esse volume de CO₂, resultando em um aumento da concentração atmosférica mundial, intensificação do efeito estufa e do aquecimento global, que, por sua vez, causa diversos outros problemas como derretimento das geleiras e aumento do nível do mar. Todos esses efeitos oriundos do aumento da concentração de CO₂ da atmosfera acarretam uma cascata de acontecimentos e problemas bastante maléficos à vida na Terra.

Ao longo dos anos, diversos extremos climáticos têm sido registrados e estudados no mundo todo, e são atribuídos ao aquecimento global. A exemplo, pode-se citar a seca na Amazônia, na Espanha, na Austrália e no sul do Brasil, além dos invernos mais rigorosos que o comum na Ásia e Europa, ondas de calor na Europa no verão, o furacão Catarina no Brasil em 2004, os furacões intensos e recorrentes no Atlântico Norte, entre diversos outros. Além de causar desastres ambientais e naturais

recorrentes, esses fenômenos afetam a população e os seres vivos, além de impactar a saúde, a economia e os ecossistemas de uma forma geral (MARENGO, 2006).

Além dos problemas ambientais bastante graves, de acordo com Peres (2005), a poluição do ar ocasionada pela liberação excessiva de gases poluentes também é um problema muito comum à vida humana, principalmente considerando os grandes centros urbanos e áreas industriais. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em um contexto mundial, é estimado que mais de 1,4 bilhão da população residente de áreas urbanas respiram um ar cuja qualidade é inferior aos níveis recomendados (WRI, 1999). Isso significa que a qualidade do ar que os seres humanos respiram é ruim em relação ao ar que deveríamos respirar para manter o funcionamento saudável do nosso organismo. Ainda, segundo Delucchi (1997) e Azuaga (2000), nos Estados Unidos os veículos automotores causam custos aos danos à saúde estimados de US\$30 a US\$560 bilhões de dólares ao ano.

Seinfeld; Pandis (1998) e Lora (2000) descrevem dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), materiais particulados (PMs), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HCs), óxidos de nitrogênio (NO_x), e compostos orgânicos voláteis como sendo os principais poluentes do ar que têm influência nociva ao homem. Ainda, outros compostos mais tóxicos como mercúrio, chumbo, níquel, acetaldeído, chumbo e hidrocarbonetos aromáticos (HPAs) também são bastante prejudiciais. O CO, por sua vez, possui um grande potencial de alteração do transporte de oxigênio tanto na hemoglobina, quanto na mioglobina e na mitocôndria, causando uma baixa concentração de oxigênio nos tecidos e gerando grandes problemas em termos de saúde para o homem (PERES, 2005).

A emissão do dióxido de carbono em excesso na atmosfera é proveniente principalmente da utilização de combustíveis fósseis desde o início da Revolução Industrial, além de outras atividades realizadas pelo homem, e outras causas como o crescimento exponencial populacional que interfere em um consumo exacerbado de energia, intensificação do processo de industrialização e urbanização desordenada (SEINFELD; PANDIS, 1998; LORA, 2000).

Diversos estudos demonstram que, a partir da Revolução Industrial, a composição química da atmosfera terrestre sofreu modificações bastante significativas, principalmente a concentração de gases de efeito estufa, que interferiram de forma negativa na temperatura terrestre, ocasionando o aquecimento excessivo do globo (JUNGES; SANTOS; MASSONI & SANTOS, 2018). A tabela 1

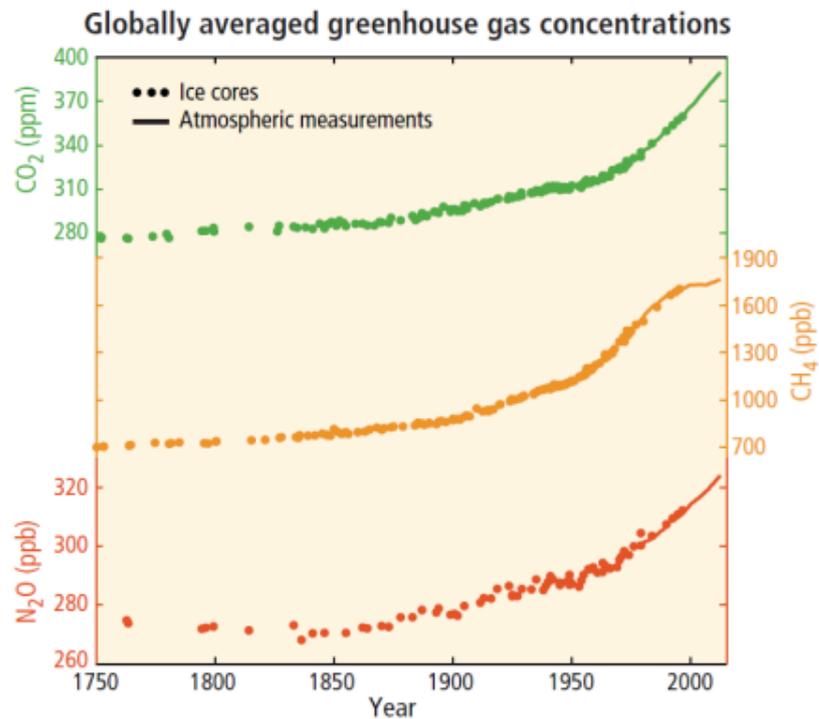
demonstra o aumento da concentração dos principais gases causadores do efeito estufa desde o ano de 1750 até os anos 2000, bem como as principais fontes de emissão. A figura 1 demonstra a média da concentração global dos principais gases do efeito estufa ao longo dos anos de 1970 a 2000.

Figura 1: Aumento da concentração dos principais gases causadores do efeito estufa desde o ano de 1750 até 2000.

	Aumento da concentração desde 1750	Contribuição para o aquecimento global (%)	Principais fontes de emissão
CO ₂	31%	60%	Uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo
CH ₄	151%	20%	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais
N ₂ O	17%	6%	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Halogenados (HFC, PFC e SF ₆)	-	14%	Indústria, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes

Fonte: Penna, Carlos Gabaglia. O Estado do Planeta – Sociedade de Consumo e Degradação Ambiental. Rio de Janeiro: Record; 1999.

Figura 2: Média da concentração global dos principais gases de efeito estufa ao longo do tempo¹.



Fonte: IPCC (2014)

Carvalho; Machado e Meirelles (2010) descrevem aspectos importantes acerca de discussões mundiais sobre questões ambientais. A exemplo relevante do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) que descreve diversas variações climáticas em diversos âmbitos ao longo dos anos, bem como seus impactos. Nesse sentido, em 2007 o IPCC elaborou seu quarto relatório que contou com a participação de mais de 2.500 cientistas e pesquisadores do mundo todo e foi publicado em quatro partes. O último, denominado “Relatório e Síntese” é composto por uma síntese dos três anteriores (CARVALHO; MACHADO e MEIRELLES, 2010).

O “Relatório de síntese” apresentou as seguintes informações (IPCC, 2007):

- a) O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar;

¹ A curva em verde representa a concentração do CO₂, a laranja representa a concentração do CH₄ e a vermelha, do N₂O

- b) Entre 1995 e 2006 registraram-se 11 dos 12 anos mais quentes, até então, segundo o registro instrumental da temperatura da superfície global desde 1850;
- c) O oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático. Esse aquecimento faz com que a água do mar se expanda, o que contribui para a elevação do nível deste;
- d) As geleiras de montanha e a cobertura de neve diminuíram, em média, nos dois hemisférios. Reduções generalizadas das geleiras e calotas de gelo contribuíram para a elevação do nível do mar;
- e) Há um nível alto de confiança (uma chance de oito em 10) de que a taxa da elevação do nível do mar tenha aumentado do século XIX para o XX. Estima-se que a elevação total do século XX tenha sido de 0,17 m;
- f) Foram observadas numerosas mudanças de longo prazo no clima, as quais abarcam mudanças nas temperaturas e no gelo do Ártico, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação extrema, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais;
- g) As informações paleoclimáticas confirmam a interpretação de que o aquecimento do último meio século não foi comum, pelo menos, nos últimos 1.300 anos;
- h) É muito provável (>90% de probabilidade) que a maior parte do aumento observado nas temperaturas globais médias desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa;
- i) O aquecimento generalizado da atmosfera e do oceano observado, juntamente com a perda de massa de gelo, corrobora a conclusão de que é extremamente improvável (90% de probabilidade) que ela não se deva apenas a causas naturais conhecidas;
- j) É muito provável (>90% de probabilidade) que extremos de calor, ondas de calor e eventos de forte precipitação continuem sendo mais frequentes;
- k) Com base numa gama de modelos, é provável (>66% de probabilidade) que os futuros ciclones tropicais (tufões e furacões) fiquem mais intensos, com maiores picos de velocidade de ventos e maior frequência de precipitações

- extremas, associados aos aumentos atuais da temperatura da superfície do mar nos trópicos;
- l) São muito prováveis (>90% de probabilidade) os aumentos na quantidade de precipitação nas altas latitudes, enquanto reduções são prováveis (>66% de probabilidade) na maior parte das regiões terrestres subtropicais;
 - m) Projeta-se que o gelo marinho diminua tanto no Ártico quanto na Antártica;
 - n) Projeta-se que a contração do manto de gelo da Groenlândia continue a contribuir para a elevação do nível do mar após 2100. Se um balanço de massa negativo da superfície se mantivesse por milênios, a consequência seria a eliminação praticamente completa do manto de gelo da Groenlândia e uma resultante contribuição para a elevação do nível do mar de cerca de 7m;
 - o) Tanto as emissões antrópicas de dióxido de carbono passadas quanto as futuras continuarão contribuindo para o aquecimento e a elevação do nível do mar por mais de um milênio, em razão das escalas de tempo necessárias para a remoção desse gás da atmosfera;
 - p) Os impactos da mudança do clima irão variar entre as regiões, mas se o seu valor agregado é descontado para o presente, é muito provável que imponham custos anuais líquidos que aumentem ao longo do tempo na proporção do aumento das temperaturas globais (perdas globais médias em torno de a 1% a 5% do PIB, devendo sofrer maiores perdas os países em desenvolvimento);
 - q) Há múltiplas opções de mitigação no setor de transporte, mas o efeito delas pode ser anulado pelo crescimento do setor;
 - r) As opções de eficiência energética para as edificações novas e as já existentes poderiam reduzir de forma considerável as emissões de CO₂, com benefícios econômicos líquidos;
 - s) O potencial econômico do setor industrial está, predominantemente, nas indústrias que fazem uso intensivo de energia. O uso pleno das opções de mitigação disponíveis não está sendo feito nas nações industrializadas, nem naquelas em desenvolvimento;
 - t) Em conjunto, as práticas agrícolas podem dar uma contribuição significativa de baixo custo ao aumento dos sumidouros de carbono no solo e para a redução das emissões de gases de efeito estufa, além de contribuírem com matérias-primas de biomassa para uso energético;

- u) As atividades de mitigação relacionadas com as florestas podem reduzir consideravelmente as emissões por fontes e aumentar as remoções de CO₂ por sumidouros com custos baixos. Podem ser planejadas visando criar sinergias com a adaptação e o desenvolvimento sustentável.

A fim de resumir o relatório, Meira Filho (2007) afirma que:

A concentração atmosférica dos gases que provocam o efeito estufa aumentou nos últimos 250 anos, e continua aumentando devido à ação do homem. Com o aumento da concentração do dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa na atmosfera, a estufa torna-se mais eficiente: aquecimento global. Face à mudança do clima, há somente três atitudes possíveis: Inação – não fazer nada e aceitar os danos futuros; adaptação – quando possível, adaptar-se a um novo clima; mitigação das emissões – reduzir as emissões líquidas antrópicas de gases de efeito estufa. A mudança do clima deixou de ser um problema ambiental para tornar-se uma questão de planejamento racional. (MEIRA FILHO, 2007, p.17).

Considerando todas essas informações contidas no relatório do IPCC, discussões acerca das causas do aquecimento global são relevantes com o intuito de pensar em alternativas para minimizar esse efeito (SILVIA; PAULA, 2009).

Silvia e Paula (2009) descrevem o aquecimento global como sendo um fenômeno climático que pode ser provocado tanto por fatores internos, quanto externos. Segundo a autora, os fatores internos que causam o aquecimento global são bastante complexos e estão mais associados a sistemas caóticos inconstantes, tendo em vista as variáveis ambientais como radiação solar, a própria composição físico-química da atmosfera, além do tectonismo e vulcanismo que influenciam na questão climática. Os fatores externos, por sua vez, estão relacionados a atividades antrópicas, ou seja, ocasionadas pela ação do homem e estão relacionadas à emissão de gases estufa por meio da queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, além de produtos das indústrias, refinarias, motores, queimadas, etc (SILVIA; PAULA, 2009).

Outras ações antrópicas que também influenciam no aquecimento global são o desmatamento em larga escala e uso da terra de forma desenfreada, por meio da agricultura e pastagens, além de outras questões envolvendo ações antrópicas que prejudicam o meio ambiente (JUNGES; SANTOS; MASSONI e SANTOS, 2018).

Considerando essas problemáticas ambientais, diversas são as tentativas globais de buscar soluções para resolver e/ou minimizar os problemas causados pela ação do homem, ao mesmo tempo em que os países mantêm seu desenvolvimento econômico, mas buscando alternativas mais sustentáveis.

No que diz respeito às questões tecnológicas, a humanidade dispõe de fundamentos e conhecimentos científicos, técnicos, industriais e know-how para resolver o problema da emissão do carbono, e, conseqüentemente das variações climáticas para a próxima metade do século 21 (PACALA; SOCOLOW, 2004). Os autores apresentaram 7 diretrizes divididas em dois grandes grupos para Mitigação das Alterações Climáticas. São elas: Redução de CO₂ ou Processos Livres de Emissões de CO₂ que contém as soluções tecnológicas: Eficiência energética; Energias Renováveis; Descarbonização dos Combustíveis Fósseis (carvão/óleo/gás); Hidrogênio e Energia Nuclear. Já o segundo grupo, tem o intuito de “Capturar e Armazenar CO₂” emitido em processos industriais ou existentes na atmosfera, que é composto por: Captura e Armazenamento de CO₂ e a Conservação das Florestas (PACALA; SOCOLOW, 2004).

CAPÍTULO 2

2 A NATUREZA COMO PARTE DAS SOLUÇÕES: O POTENCIAL DAS FLORESTAS SINTRÓPICAS

A crise climática vem atingindo cada vez mais o mundo em que vivemos. Dessa forma, é necessário ter um olhar mais criterioso para essa situação, a fim de diminuir os impactos prósperos (VEZZOLI *et al.*, 2018).

Sendo assim, é necessário entender que as ações com relação às mudanças climáticas podem ocorrer em duas categorias, que são as adaptações às mudanças climáticas, e a mitigação das mudanças climáticas. Esses termos são complementares quando se considera a crise climática, mas têm significados distintos (ROCHA, 2019).

A mitigação das mudanças climáticas significa evitar e reduzir as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera para diminuir o aquecimento do planeta a temperaturas mais extremas. Por outro lado, a adaptação às mudanças climáticas significa alterar nosso comportamento, sistemas e – em alguns casos – modos de vida para proteger nossas famílias, nossas economias e o meio ambiente em que vivemos dos impactos das mudanças climáticas. Quanto mais reduzirmos as emissões agora, mais fácil será a adaptação às mudanças que não podemos mais evitar (ROCHA, 2019).

Com relação à mitigação das mudanças climáticas, têm-se alguns desafios a serem superados para que ela seja repensada de um jeito mais claro, são eles:

O CO₂ é um poluente global que não pode ser contido localmente.

A primeira característica chave da mudança climática que a coloca em desacordo com as questões ambientais do passado é que é um poluente global, e não um poluente local. Havendo uma emissão de uma tonelada de CO₂ em Cambridge, Massachusetts, ou em Londres, isso causa o mesmo dano ao globo (KNITTELL, 2005).

Em comparação com os poluentes locais, onde se liberar uma tonelada de dióxido de enxofre ou óxido de nitrogênio em Cambridge, a maioria dos danos fica perto de Cambridge. O CO₂ é muito mais difícil de gerenciar e regular.

Outro fator importante é que a mudança climática ainda é hipotética. Sabe-se que os danos causados pela maioria dos poluentes das mudanças climáticas ocorrerão no futuro. O que significa que a maioria de nós não será realmente afetada

pelas mudanças climáticas – é um cenário hipotético transmitido em tabelas e gráficos. Embora gostaríamos que políticos e eleitores fossem movidos pelo altruísmo, isso nem sempre é o caso. Em geral, os formuladores de políticas têm pouco incentivo para agir (ROCHA, 2019).

Segundo KNITTELI (2005, p. 3):

As pessoas, que podem ser, mais prejudicadas pelas mudanças climáticas ainda nem nasceram. Voltando à perspectiva do formulador de políticas, ela tem muito menos incentivo para reduzir as emissões de gases de efeito estufa porque essas reduções vão beneficiar os eleitores no futuro e não seus eleitores atuais.

A vida moderna é parte do problema, mas conveniências modernas como eletricidade, transporte e ar-condicionado contribuem para a mudança climática, e os remédios potencialmente envolvem sacrifícios significativos e mudanças no estilo de vida.

Embora tenhamos visto grandes avanços na redução dos custos de energia solar e baterias para veículos elétricos, essas ainda são alternativas caras. Não existe almoço grátis quando se trata de superar as mudanças climáticas; (KNITTEL 2005, p. 3).

Estudos mais recentes sobre a concentração mundial de CO₂ na atmosfera não são positivos. Após um período de relativa queda na emissão, em 2018 houve uma elevação de 2,38 partes por milhão (ppm) — e o Brasil tem seguido essa tendência global (MARQUES, 2018).

Para diminuir a emissão de gás carbônico em nível mundial, os países estão fazendo mudanças drásticas. Uma delas no sentido de superar a era dos combustíveis fósseis, mudando a matriz energética (MAGALHAES, 2013).

Nas esferas nacional, estadual e municipal, algumas ações dos governos são necessárias para diminuir a emissão de gás carbônico, como: políticas governamentais mais rígidas para o controle da emissão de gás carbônico, implantação de energia renovável, incentivo a alternativas de transporte, a veículos menos poluentes e ao reflorestamento, redução do desmatamento e queima das florestas, incentivo à agricultura sustentável e a diminuição do uso de agrotóxicos (MAGALHAES, 2013).

Frente a essas possíveis ações do governo para diminuir a emissão de CO₂, um dos grandes desafios para o Brasil hoje é conter o aumento das queimadas (SOUZA *et al.*, 2021). Venda de crédito de carbono a partir de propriedades agrícolas.

A sociedade como um todo também pode auxiliar para diminuir a emissão de gás carbônico. Pode ser através da alimentação, dando preferência por alimentos orgânicos e diminuindo o consumo de carne. Além disso, optar por meios de transporte coletivo também é uma medida que causa impacto positivo, assim como escolher veículos que emitem menos CO₂ (MAGALHAES, 2013; SOUZA *et al.*, 2021)

As pesquisas na área também são de extrema importância. Um exemplo é uma tecnologia que está sendo desenvolvida por pesquisadores de Harvard. Com ela é possível aproveitar o CO₂ das indústrias, transformando-o em monóxido de carbono.

Diminuir a emissão de gás carbônico é um compromisso mundial e deve ser feito de forma rápida para diminuir os impactos do aquecimento global. Para isso, são necessárias ações do governo dos países e um crescente incentivo para que a população também colabore (ANDRADE *et al.*, 2008).

Uma questão que tem que ser pensada é a da redução dos poluentes é a expansão de florestas.

Essas são abrigos de muitas e variadas espécies de animais – desde pequenos insetos a grandes carnívoros, as florestas também são reconhecidas pela presença de árvores majestosas e inúmeras espécies de outras plantas. Além de ser habitat para essas espécies, as florestas prestam muitos serviços ecossistêmicos para nós, humanos. Podemos citar a regulação do clima, a ciclagem de nutrientes e da água, a produção de oxigênio e a estocagem de carbono. Estes dois últimos ocorrem via fotossíntese, quando os compostos de carbono assimilados são estocados nas árvores principalmente na forma de madeira, folhas, raízes e demais estruturas, enquanto o oxigênio é liberado para a atmosfera. Nesse sentido, as florestas estocam boa parte do carbono do planeta. Isso reforça a importância de conservar esses ambientes, uma vez que as emissões de CO₂ nos últimos 30 anos já ultrapassaram todas as emissões ocorridas desde o período pré-industrial. Ou seja, com a queima de combustíveis fósseis nas últimas três décadas, já superamos todas as emissões derivadas de outras fontes desde que se tem registro (PENEIREIRO, 1999; VAZ, 2002; PASINI, 2017).

Dessa forma, as Florestas Sintrópicas parecem agregar vários componentes que pontualmente compõem definições distintas de sustentabilidade. Entretanto, ela difere marcadamente de outras práticas por não se utilizar de transgênicos, por prezar pela diversidade de produtos cultivados (tanto no espaço quanto ao longo do tempo), por não utilizar fertilizantes ou biocidas sintéticos e por tender à independência de

insumos de qualquer natureza (já que se propõe a produzir o próprio adubo dentro do sistema) (PENEIREIRO, 1999; VAZ, 2002; PASINI, 2017). Ela se situa, portanto, na família das florestas orgânicas e, em parte, no conjunto de sistemas agrosilvopastoris. Entretanto, a AS se difere de outras modalidades de agricultura orgânica, agroecologia ou agroflorestal por sua característica sucessional e por ter o conceito de sintropia como matriz fundamental de interpretação e manejo do sistema, o que dá suporte à sua capacidade regenerativa (MILZ, 1997; PENEIREIRO, 1999; VAZ, 2002; HOFFMANN, 2013; MONTE, 2013; ANDRES *et. al.*, 2016; SCHNEIDER *et. al.*, 2017; PASINI, 2017).

O conceito de sintropia diz respeito à prática de organização de um sistema, e se opõem à entropia, que diz respeito à tendência ao caos. A sintropia considera a tendência ao aumento da organização e da complexidade nos seres vivos que, por sua vez, é evidenciada pelo "incremento de recursos como nutrientes, energia (...) e água" (GÖTSCH, 1992). Por isso, para a sintropia se relacionar diretamente com a sucessão natural, sendo-lhe sua expressão. "As plantas são altamente sintrópicas já que uma de suas principais características é a capacidade de transformar, organizar e otimizar fatores como água, minerais, raios solares/energia em sistemas de vida" (GÖTSCH, 1992). Essa percepção sobre as plantas, na verdade, se estende nos escritos seguintes do autor para o entendimento de todo o mecanismo da vida no planeta Terra. "A vida é parte complementar para uma outra parte do universo que conhecemos, o qual gira na energia oriunda de processos de desagregação, predominante do complexo para o simples, que conhecemos como entropia" (GÖTSCH, 1995)

2.1 O duplo desafio: as dimensões de fluxo e estoque nas mudanças climáticas

Fato importante a se atentar no estudo do controle de poluentes é que cada tipo de lançamento possui características específicas. Dessa forma, a aplicação de instrumentos de gestão para o controle da emissão de efluentes necessariamente deve refletir essas peculiaridades, seja com relação ao uso de instrumentos econômicos ou ao uso de instrumentos de comando e controle (CINELLI, 2012).

Escolheram-se duas diferenciações a se abordar no presente texto: poluições de fluxo e poluições de estoque. Considera-se também que o ponto e o agente de

emissão do efluente estão bem definidos. Fôssemos abordar a poluição difusa, por exemplo, demandar-se-ia modelo bastante diverso do exposto e, em muitos casos, o instrumento de cobrança não se mostraria tão efetivo (CINELLI, 2012).

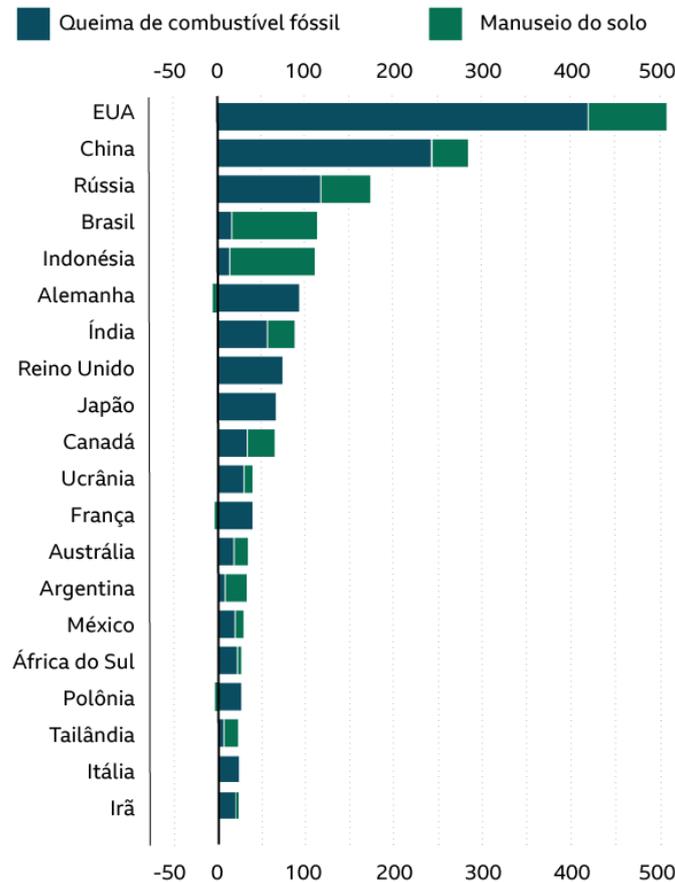
Considera-se de fluxo aquele poluente cujos danos aos usuários sejam, a grosso modo, “instantâneos”. Isto é, os efeitos negativos causados pelo efluente se sentem apenas quando da sua emissão (CINELLI, 2015).

Por outro lado, a poluição de estoque é caracterizada por danos que perduram para além do momento do lançamento do efluente. Esta poluição permanece por certo período impactando negativamente os usuários que entram em contato com a substância; mais ainda, novos lançamentos se acumulam à parte não depurada dos lançamentos anteriores (SILVA, 2013).

É natural supor que esses dois tipos de poluentes devem ser analisados de maneiras diferentes. A “vantagem” da poluição por fluxo é que podemos tratá-lo analiticamente de forma mais simples, como um problema de otimização estática. Ou seja, o controlador pode reservar um período específico em que o problema de determinação da posição ótima de emigração, e o resultado para todas as idades será analiticamente o mesmo. Por outro lado, poluentes com características de estoque não possuem instalação lógica semelhante e é necessário tratá-los em um ambiente de otimização dinâmica de lançamento de efluentes no período $t_2, t_3, \dots t_n$ causa danos não só neste período, mas nas eras e esses danos também devem ser levado em conta (SILVA, 2013b).

Uma pesquisa sobre acumulado histórico de emissões de dióxido de carbono põe o Brasil entre os maiores poluidores do mundo. No estudo, que leva em consideração pela primeira vez o desmatamento ao contabilizar a liberação de CO₂, o Brasil aparece em quarto lugar no ranking de emissões desde 1850 (CORTEZ, 2004).

O levantamento foi feito pelo think tank internacional Carbon Brief e leva em conta dados de emissões de queima de combustível fóssil, mudanças no uso do solo, produção de cimento e desmatamento de 1850 a 2021. Pesquisas anteriores consideravam no cálculo as emissões decorrentes de queima de combustível, sem incluir a poluição provocada pela destruição de florestas (BARBADO & LEAL, 2021). A Figura 3, mostram os países com maior acúmulo de emissões de CO₂ entre 1850 a 2021.

Figura 3: Países com maior acúmulo de CO₂.

Fonte: Carbon Brief

Conforme esse novo ranking, os cinco países que mais poluíram desde a Revolução Industrial, de 1850 a 2021, são: EUA, China, Rússia, Brasil e Indonésia. No Brasil e na Indonésia, a maior parte das emissões vem da derrubada de florestas e uso do solo para pecuária e agricultura, não da queima de combustíveis fósseis, como ocorre com os demais grandes poluidores (MARTINS *et al.*, 2021).

Segundo Marcio Astrini, secretário-executivo do Observatório do Clima, organização que calcula anualmente as emissões no Brasil, nos últimos 30 anos, cerca de 80% das emissões do país foram decorrentes de desmatamento e uso do solo para pecuária.

"Se você pegar os últimos 30 anos, 73% das emissões do planeta estão na área de energia. Se você pegar os últimos 30 anos no Brasil, 55% das emissões são por desmatamento. Se você incluir as emissões decorrentes da pecuária brasileira, a gente bate na casa dos 80%", disse Astrini à BBC News Brasil.

De acordo com uma matéria publicada na Ecycle, a Conferência de Kyoto, realizada em 1997, estipulou o sequestro de carbono com o intuito de reduzir o efeito

estufa, conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera. Sendo assim, a forma mais comum e natural de captura de carbono é realizada pelas próprias florestas, já que, na fase de crescimento, as árvores demandam uma quantidade específica de carbono para se desenvolver, e fixam esse CO₂ proveniente da fotossíntese na forma de carboidratos, que serão utilizados para seu crescimento e desenvolvimento. Ainda segundo a Ecycle, essa forma de captura ajuda bastante na diminuição de carbono em excesso na atmosfera. Isso porque cada hectare de floresta em desenvolvimento consegue capturar de 150 a 200 toneladas de carbono, um número bastante significativo considerando os impactos mundiais provocados por esse gás na atmosfera.

A Amazônia tem um grande potencial de captura de carbono, já que é considerada a maior floresta tropical do mundo, com 5,3 milhões de quilômetros quadrados, e a maior parte da biodiversidade do Brasil, sendo responsável por cerca de 14% do sequestro de carbono do planeta (BRIENEN, 2015). A floresta abriga cerca de 16 mil espécies de árvores, sendo que 182 delas realizam o processo de captura de gases causadores do efeito estufa (BBC NEWS, 2015).

No entanto, a ONU alerta para um declínio na captura de carbono realizado pela Amazônia, o que pode ser explicado pelo desmatamento desenfreado e em larga escala. Uma pesquisa publicada na revista Fapesp demonstrou que a floresta está emitindo mais dióxido de carbono em decorrência do processo de fotossíntese do que é capaz de absorver (PIVETTA, 2021). Isso, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial é reflexo do desmatamento e das mudanças climáticas (PIVETTA, 2021).

Segundo a Ecycle, outra forma natural de sequestrar carbono ocorre com a atuação dos oceanos, já que diversos organismos ali presentes capturam esse composto para manter os processos de calcificação de organismos marinhos. Em contrapartida, o excesso de carbono causa uma desregulação desse processo de absorção natural, resultando em uma variação brusca no pH dos oceanos e interferindo na vida marinha.

No que diz respeito aos oceanos, existem inúmeras reações que também liberam CO₂ na atmosfera. Os oceanos não são capazes de absorver o CO₂ extra na atmosfera na mesma velocidade em que o mesmo será emitido. Assim, se houver um aumento de 10% nas emissões de carbono na atmosfera, os oceanos só serão capazes de absorver cerca de 1% (SINCLAIR, 1991). Além disso, as algas que ficam

muito na superfície das águas se aquecem devido à alta intensidade de luz solar, e não são capazes de absorver grandes quantidades de CO₂. Segundo Sinclair (1991), o aquecimento global está causando aquecimento muito exacerbado dos oceanos, o que faz com que o carbono dissolvido sofra decomposição mais rápida, liberando novamente quantidades altas de CO₂ na atmosfera.

Uma alternativa para reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera, considerando o potencial de captura dos oceanos, é a própria preservação dos mesmos, explorando ações pontuais, como diminuição da poluição em pequena escala, e também ações mais abrangentes, considerando o setor industrial que deposita toneladas de materiais poluentes todos os dias nos oceanos.

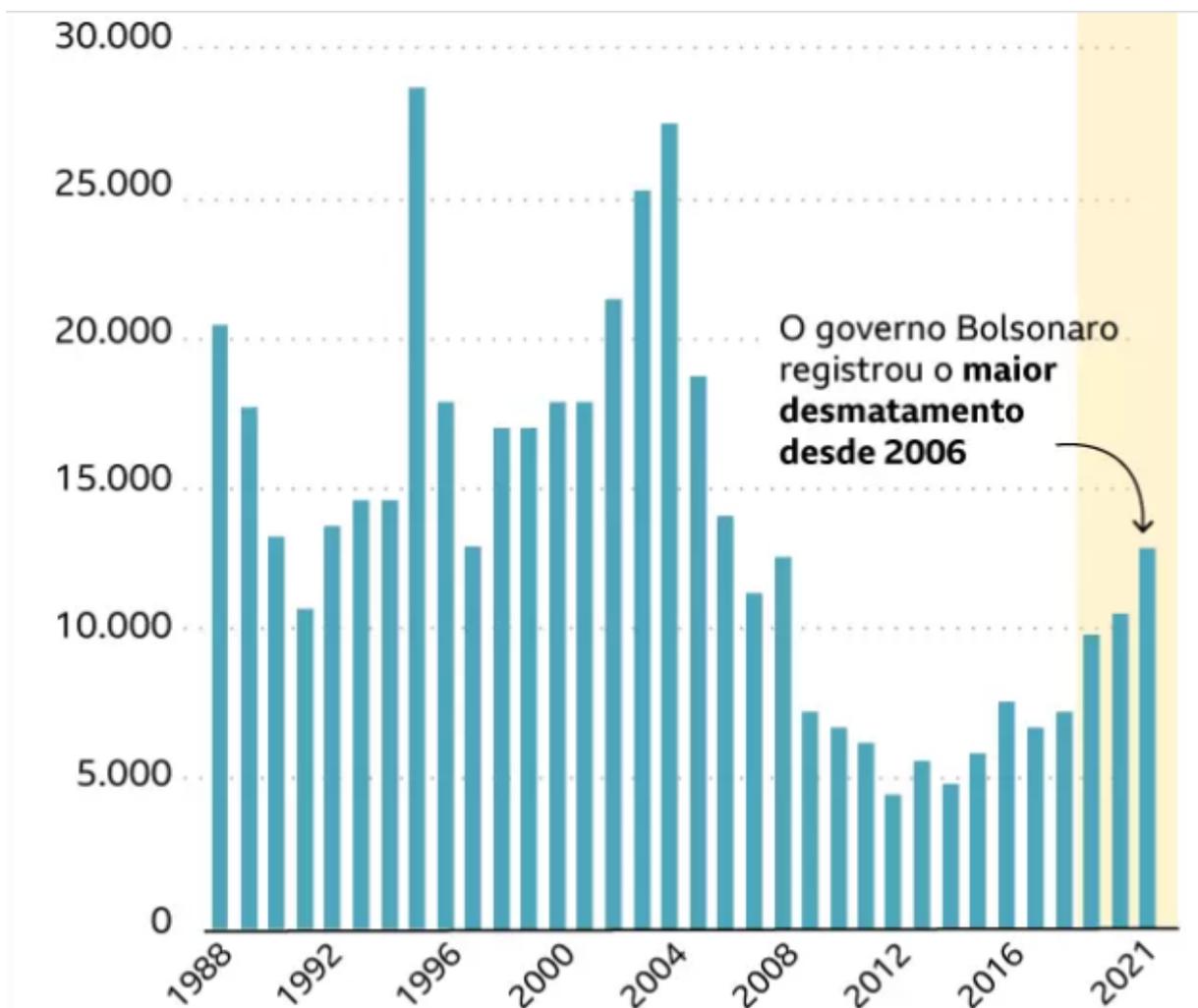
Em 27 de setembro de 2015, o Brasil apresentou sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC). Dentre essas contribuições, até 2025, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis registrados em 2005, com uma contribuição até 2030 que indica a redução de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005 (VITAL, 2018).

De acordo com Vital (2018), as políticas e os instrumentos para implementação da NDC brasileira estão baseados em cinco principais diretrizes e seus derivados:

- Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009);
- Código Florestal (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012);
- Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985, de 18 de julho de 2000);
- Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010);
- Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura; e
- Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) (Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010).

Segundo Vital (2018), uma parcela substancial das emissões de CO₂ brasileiras é proveniente de queimadas ilegais e desmatamento, principalmente o desmatamento da Amazônia, além da não conformidade legal com o Código Florestal, ou seja, são correspondentes com o não cumprimento das leis. A figura 2 representa um gráfico com informações decorrentes do desmatamento na Amazônia Legal em termos de quilômetros quadrados, dos anos de 1988 a 2021. No ano de 2021, foi registrado a maior taxa de desmatamento desde 2006, tendo um aumento de 21,97% em somente um ano (BBC NEWS, 2021).

Figura 4: Gráfico representando o desmatamento da Amazônia Legal em termos de quilômetros quadrados, dos anos de 1988 a 2021.



Fonte: BBC News, 2021.

Ainda segundo Vital (2018), a implantação efetiva do Código Florestal, tendo os CARs (O QUE SIGNIFICA) estaduais como base, pode vir a contribuir com a redução de emissões, como consequência das atividades de restauro e reflorestamento de

áreas de Reserva Legal e Preservação Permanente, a serem regularizadas. Assim, um caminho interessante e relativamente simples para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, é o reflorestamento.

De acordo com Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BRASIL, 2018) há registros de uma taxa de desmatamento de 13.235 km² da Amazônia Legal no período de 01 de agosto de 2020 a 31 de julho de 2021. Isso representa um aumento de 21,97% em relação às taxas de desmatamento do período anterior (AGÊNCIA BRASIL, 2021).

De acordo com o Inpe, Pará, Amazonas, Rondônia e Mato Grosso são responsáveis por 87,25% do desmatamento da Amazônia Legal, e o Pará é o estado com maior contribuição para esse desmatamento, com uma taxa de 5.257 km², apesar de ter uma menor variação em termos de percentual de desmatamento, com 7,31% (AGÊNCIA BRASIL, 2021).

Figura 5: Taxas de desmatamento da Amazônia Legal por Estados.

Estado	PRODES 2020 (km2)	PRODES 2021 (km2)	Variação (%)
Acre	706	871	23,37%
Amazonas	1.512	2.347	55,22%
Amapá	24	39	62,50%
Maranhão	336	363	8,04%
Mato Grosso	1.779	2.263	27,21%
Pará	4.899	5.257	7,31%
Rondônia	1.273	1.681	32,05%
Roraima	297	386	29,97%
Tocantins	25	28	12,00%
ALB	10.851	13.235	21,97%

Fonte: Agência Brasil, 2021.

Além da diminuição das taxas de desmatamento, com o intuito de buscar caminhos para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, o documento apresentado na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) afirmava ainda, que no setor de energia, o objetivo brasileiro era alcançar uma participação estimada em 45% de energias renováveis compondo a matriz energética do país em 2030, além de expandir o uso de fontes renováveis e energia hídrica, que é mais limpa, abrangendo uma participação de 28% a 33% até o ano de 2030 (BRASIL, 2016b, p. 3-4)

Ainda, expandir o uso doméstico de fontes de energia não derivadas de combustíveis fósseis, a fim de aumentar a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive considerando também o aumento da participação de energia eólica, biomassa e solar, alcançando, até 2030, 10% da eficiência no setor elétrico (BRASIL, 2016b, p. 3-4).

Em relação ao setor agrícola, Vital (2018) descreve que o documento da NDC ainda inclui fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como sendo a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, restaurando um adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2050 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF) até 2030 (BRASIL, 2016b, p. 4). Essa recuperação de pastagens degradadas faz parte de um dos planos setoriais elaborados segundo um Decreto estipulado, e tem como objetivo organizar e planejar as ações que serão realizadas para adotar tecnologias de produção sustentáveis (VITAL, 2018). Essas tecnologias são selecionadas visando responder aos compromissos de reduzir emissões de gases do efeito estufa no setor agropecuário assumidos pelo Brasil (VITAL, 2018).

Segunda Vital (2018), o Plano ABC é composto de sete programas, sendo que seis deles são referentes às tecnologias que reduzem danos ambientais, e o outro com ações que visam à adaptação às mudanças climáticas.

- Programa 1: Recuperação de Pastagens Degradadas;
- Programa 2: ILPF e SAFs;
- Programa 3: Sistema Plantio Direto (SPD);
- Programa 4: Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)
- Programa 5: Florestas Plantadas;
- Programa 6: Tratamento de Dejetos Animais; e
- Programa 7: Adaptação às Mudanças Climáticas.

O Brasil pode e deve ser protagonista no processo de enfrentamento à emergência global. Historicamente, o Brasil tem sido um líder mundial nestas discussões e apresenta grande potencial de contribuição. Isto, tanto pelo fato de ser

um país mega diverso ou abriga em seu território maior parte da maior floresta tropical do mundo, quanto por possuir uma matriz energética relativamente limpa, principalmente quando se observa as fontes geradoras de energia elétrica. Todavia, o que se tem notado recentemente, a partir do ano de 2019, é que o Brasil tem vivenciado um processo de deterioração de sua imagem ambiental no exterior, uma vez que o país vem adotando políticas erráticas no que diz respeito à condução de sua política ambiental (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021). A principal forma de redução das emissões brasileiras é o combate incisivo ao desmatamento de seus biomas, já que grande parte das emissões provêm de mudanças do uso da Terra. Logo, o custo de abatimento econômicos das emissões é relativamente baixo, diferentemente de outros países que teriam que passar por mudanças estruturais na sua estrutura produtiva.

2.2 Captura de Carbono e o potencial de contribuição da Natureza

A captura e armazenando de CO₂ de forma “sintética”, ou seja, realizada pelo homem, é uma estratégia muito promissora que vem sendo desenvolvida por diversos países, utilizando inúmeros recursos. Essas instalações de captura e armazenamento são considerados os principais mecanismos desenvolvidos pelo homem que contribuem para a redução das emissões em excesso (NS ENERGY, 2019).

Assim, considerando as ações antrópicas que causam impactos ambientais, dentre eles o aquecimento global, estudar, investigar e explorar metodologias que capturam e sequestram o carbono do meio ambiente são estratégias importantes para amenizar os impactos ambientais.

Segundo Esteves e Morgado (2020), uma estratégia bastante promissora, é a captura e armazenamento geológico de carbono, que consiste no sequestro e armazenamento do carbono em formações geológicas. A utilização dessa tecnologia é discutida a nível internacional e, segundo estudos realizados pela International Energy Agency (IEA, 200), dentre as tecnologias atuais que vêm sendo utilizadas e são suscetíveis a se tornarem disponíveis comercialmente nas próximas décadas, a captura geológica de carbono apresenta uma contribuição entre 20 e 28% do total das reduções de emissão de CO₂.

De acordo com um relatório emitido pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC, 2005), a captura e armazenamento de CO₂ em reservatórios geológicos é um processo que consiste na separação do CO₂ que é emitido a partir de fontes relacionadas à produção de energia e plantas industriais, seguido do transporte e armazenamento desse CO₂ nos reservatórios geológicos, de forma a isolá-lo da atmosfera (CÂMARA; ANDRADE e ROSA, 2008).

Segundo Câmara; Andrade e Rosa (2008), com essa metodologia é possível separar o CO₂, processá-lo até atingir sua forma líquida e transportá-lo através de dutos, via marítima, ou rodovias com destino a reservatórios geológicos, tais como minas desativadas, campos de petróleo, ou outros locais de armazenamento.

De acordo com o IPCC (2005), as principais opções para o armazenamento geológico do CO₂ são: a injeção em reservatórios depletados (exauridos) de óleo e gás; o uso do CO₂ para a recuperação avançada de óleo ou gás; a injeção de CO₂ em reservatórios profundos saturados não usados de águas salinas; a injeção em camadas profundas de carvão mineral inexploráveis; o uso do CO₂ na recuperação avançada de metano em jazidas de carvão mineral (ECBM) e, outras opções sugeridas: formações basálticas, xisto betuminoso e cavernas (IPCC, 2005).

Alguns países já utilizam dessa tecnologia, e, uns estão mais avançados no domínio desse método, como: Estados Unidos, Canadá e União Europeia, com foco na Noruega (CÂMARA; ANDRADE e ROSA, 2008). No Brasil, considerando as novas descobertas do pré-sal, além da ampliação da participação na geração de energia elétrica por meio de usinas termoelétricas e as exigências da regulação internacional frente às temáticas ambientais, o desenvolvimento e exploração de captura de carbono em formações geológicas se mostra bastante promissora e uma estratégia interessante para a independência e sustentabilidade do país (ESREVES; MORGADO, 2020).

Outra tecnologia interessante e relativamente nova é a captura e armazenamento direto de carbono no ar. Essa tecnologia utiliza produtos químicos para capturar e separar o CO₂ diretamente do ar ambiente. Para separar esse CO₂ da atmosfera, com o auxílio de ventiladores, o ar passa por um dispositivo absorvente de gases de efeito estufa. Esse processo é contínuo e ocorre até que a capacidade do dispositivo se esgote, e depois, em um processo chamado de dessorção, o CO₂ é novamente liberado (OLIVETO, 2021). No entanto, os pesquisadores fazem um alerta acerca da emissão de gases causadores do efeito estufa durante o próprio processo,

e afirmam que o “uso dessa tecnologia somente fará sentido se essas emissões do processo forem significativamente menores do que as quantidades de CO₂ que ele ajuda a amenizar”, sendo necessários mais estudos para realizar os balanços que dizem respeito à essa questão (OLIVETO, 2021).

Um outro projeto com o intuito de desenvolver tecnologias para reduzir em até 90% a emissão de gases do efeito das usinas geradoras de energia, é o CACHET (SALSA, 2009). Ele é um projeto de pesquisa que foi financiado pela Comissão Europeia e é formado por Institutos de pesquisa, Universidades e empresas do mundo todo. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção de hidrogênio a partir de gás natural, já que são consideradas as mais promissoras, reduzindo em 50% o custo da energia gerada, e conseqüentemente diminuindo a emissão de carbono (SALSA, 2009).

Além desses, outro projeto elaborado em 2006 voltado à área da química industrial estuda a tecnologia de separação de CO₂ proveniente de gases industriais utilizando absorção com Monoetanolamina (MEA) (SALSA, 2009). Esse projeto é brasileiro e foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Salvador (UNIFACS).

De acordo com os pesquisadores, a absorção de CO₂ em aminas tem sido alvo de estudos, já que é uma técnica de baixo custo e bastante viável principalmente para aplicação nos setores industriais. A metodologia do trabalho foi baseada na utilização de uma planta piloto para testar a absorção com MEA e obter CO₂ puro a partir de correntes gasosas industriais (SALSA, 2009).

2.3 Soluções baseadas na Natureza (SbN) e Sistemas Agroflorestais/Florestas Sintrópicas

O conceito de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) foi definido pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) e diz respeito a abordagens voltadas à restauração e conservação de ecossistemas, serviços de adaptação climática, infraestrutura natural, gerenciamento de recursos naturais, dentre outras questões que envolvem problemáticas ambientais (WRI BRASIL, 2019). Em outras palavras, as Soluções Baseadas na Natureza se referem ao uso da própria natureza como uma estratégia econômica para o desenvolvimento humano e sustentável (NESSHOVER *et al.*, 2017).

De acordo com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), essas soluções consistem em ações para proteger e gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordem os desafios da sociedade de forma eficaz e adaptável, proporcionando tanto benefícios para o bem-estar humano, quanto para a biodiversidade” (CEBDS, 2021).

Segundo a *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), essas soluções podem ser classificadas em categorias, são elas:

- 1- Restauradoras, que consistem em restauração ecológica, da paisagem florestal e engenharia ecológicas;
- 2- Por objetivo, voltada à adaptação e mitigação baseada no ecossistema, além de redução de riscos de desastres com base no ecossistema e serviços de adaptação climática;
- 3- Infraestrutura, que considera tanto a infraestrutura natural quanto a verde;
- 4- Gerenciamento, que pode ser integrado de zonas costeiras e gestão de recursos hídricos;
- 5- Proteção, que inclui abordagens para gerenciar áreas de conservação (CEBDS, 2021).

Essas soluções podem já fazer parte do planejamento urbano, optando por incluir adaptações climáticas e soluções verdes que podem acompanhar ou substituir as soluções convencionais e tecnológicas que oferecem algum malefício ao meio ambiente. Essas soluções convencionais comumente são mais caras e mais poluentes, como por exemplo transposição de rios e de areia, canalização de rios, piscinões, dentre outros (WRI BRASIL, 2019).

A exemplo de alguns países que investiram em infraestrutura cinza, ou seja, as obras convencionais de engenharia civil acima da infraestrutura verde, que são aquelas baseadas em elementos naturais, podem-se citar Medellín, na Colômbia, que precisou construir cerca de trinta corredores verdes nas regiões com maior escassez de árvores na cidade. Com isso, já é possível observar mudanças ambientais relativamente positivas, com uma redução de até 2º na temperatura da cidade (WRI BRASIL, 2019).

Barcelona, na Espanha, também foi uma cidade que adotou algumas medidas para investir em espaços verdes, investindo em corredores verdes ao longo da cidade, que é quase inteira construída com infraestrutura cinza. A adoção dessas

infraestruturas verdes por essas e outras cidades ao redor do mundo proporciona não só o conforto térmico à população, mas também um ar mais limpo, solo mais permeável, áreas de lazer agradáveis e um ambiente mais atrativo à biodiversidade local (WRI BRASIL, 2019).

Tendo em vista isso, é possível citar algumas Soluções Baseadas na Natureza que podem ser aplicadas nas cidades e fazer parte dos centros urbanos, auxiliando a amenizar e/ou eliminar as problemáticas ambientais, ao mesmo tempo em que proporcionam diversos outros benefícios para o ser humano e a biodiversidade do planeta. Os telhados verdes são um exemplo importante que consistem em uma cobertura vegetal no lugar de coberturas de cimento. Segundo a WRI Brasil (2019), eles têm diversos benefícios e podem capturar água da chuva que, antes iria para o sistema de drenagem, além de ajudar a reduzir o uso de energia e de ruídos nos edifícios, e de absorver a energia solar em excesso que, sem as plantas iriam para a atmosfera na forma de calor. Segundo um estudo feito por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), a diferença entre a amplitude térmica em um dia de verão chegou a ser 6,7° C menor com os telhados verdes em edifícios no centro de São Paulo (WRI BRASIL, 2019).

Além dos telhados verdes, o próprio reflorestamento ao longo dos territórios das cidades é uma alternativa, tendo em vista todos os benefícios das áreas verdes. Hortas urbanas também podem ajudar a reter água, além de fortalecer comunidades de bairro e incentivar a conservação e ainda, a alimentação saudável (WRI BRASIL, 2019). Outra alternativa é investir em superfícies mais permeáveis e áreas úmidas, fazendo com que ocorra o escoamento da água da chuva de forma natural e evitando alagamentos e desastres ambientais e também sociais.

Além disso, a proteção, restauração e conservação de ecossistemas e biomas naturais, principalmente em áreas costeiras como os manguezais é importante para proteção de eventos como marés de tempestade e aumento do nível do mar (WRI BRASIL, 2019). Não só os manguezais, mas a conservação de todos os ecossistemas e biomas é importante na melhoria de problemáticas ambientais e proteção da biodiversidade mundial. De acordo com Fraga (2020), a figura abaixo aborda algumas possíveis intervenções urbanas que podem ser adotadas explorando as Soluções Baseadas na Natureza de acordo com a Comissão Europeia (2015).

Figura 6: Possíveis intervenções urbanas em Soluções baseadas na Natureza

Função	Intervenção
Regulação da qualidade do ar	Proteção de espaços urbanos verdes, para absorção de poluentes; Plantio de árvores ao longo de vias públicas para absorção de partículas
Regulação climática	Proteção de espaços verdes para o armazenamento de carbono
Regulação do fluxo de água	Adoção de jardins de chuva (rain gardens): depressões plantadas ou "swales" que permitem maior absorção da água em áreas urbanas; Utilização de lagoas de equilíbrio para conter grande quantidade de água e liberá-la lentamente; Utilização de sistemas de armazenamento subterrâneo de água
Regulação de erosão	Fitorremediação e fitoestabilização em locais contaminados; Adoção de superfícies permeáveis e vegetação sempre que possível na construção de paisagens urbanas
Purificação de água e tratamento de resíduos	Criação de lagoas e zonas úmidas para coleta, armazenamento e filtragem antes da liberação gradual das águas coletadas em cursos naturais (sistema de drenagem urbana sustentável); Redução da produção e melhoria no tratamento de efluentes municipais por meio da biodegradação e bioconversão; Remediação de resíduos antes da eliminação em solo ou água por meio da utilização de métodos biológicos, físicos e químicos; Tratamento de áreas contaminadas por meio da fitorremediação
Controle de doenças	Redução da produção e melhoria no tratamento de efluentes municipais por meio da biodegradação e bioconversão; Remediação de resíduos antes da eliminação em solo ou água por meio da utilização de métodos biológicos, físicos e químicos; Proteção de espaços verdes urbanos para incentivar a biodiversidade e o estabelecimento, em especial, de espécies de alimentação vetorial; Utilização de superfícies e vegetação permeáveis sempre que possível em áreas urbanas para reduzir as fontes de água parada e limitar a criação de vetores; Adoção de casas de morcegos e habitação/alimentadores de pássaros para o estabelecimento de espécies e regulação de mosquitos (ou outro vetor de insetos)
Redução do risco de desastres	Adoção de sistemas de drenagem urbana sustentável; Redução de pavimentação de áreas verdes; Adoção de telhados e paredes verdes; Promoção de plantio de áreas em áreas urbanas centrais; Adoção de lagoas de equilíbrio e sistemas de armazenamento subterrâneo; Adoção de superfícies permeáveis em áreas urbanas para fornecimento de recarga de aquífero; Adoção de áreas verdes recreativas ao longo de rios em zonas urbanas para limitar o potencial de danos em inundações e reconectar a população com seus cursos de água

Fonte: Fraga (2020).

Um outro mecanismo que, não necessariamente envolve tecnologias tão avançadas quando comparadas a outros métodos, mas pode ajudar a capturar carbono de maneira significativa e com um custo relativamente baixo, é o reflorestamento e manutenção das florestas já existentes. Além de capturar enormes quantidades de carbono da atmosfera, as florestas fornecem diversos outros benefícios não só ambientais, mas também sociais, culturais e econômicos, sendo importantes para a população e a vida no geral (FERNANDEZ; TANIZAKI, 2019).

De acordo com Fernandez e Tanizaki (2019), uma floresta com mais de 80 anos é considerada madura, e é capaz de armazenar aproximadamente 150 toneladas de carbono por hectare, o equivalente à captura de 550 quilos de dióxido de carbono da atmosfera. Uma área que passou por um processo de reflorestamento de 5 a 10 anos pode absorver até 25 toneladas de CO₂ por hectare por ano. Importante ressaltar a

necessidade e importância de se elaborar um reflorestamento considerando todo o ecossistema, as espécies e a biodiversidade local (FERNANDEZ; TANIZAKI, 2019).

Uma metodologia também muito promissora que vem sendo alvo de diversos estudos considerando um viés mais sustentável, de fácil aplicação e baixo custo, é a utilização de florestas sintrópicas na captura de carbono. Essas florestas têm a sucessão ecológica como princípio e seu manejo imita a sucessão de uma floresta nativa (PENEIREIRO, 2003).

Tendo em vista isso, as florestas sintrópicas possuem princípios construídos pelo pesquisador e agricultor suíço Ernst Götsch e define princípios baseados em uma agricultura visando um balanço energético positivo, mensurado pelo aumento da quantidade de vida consolidada a fim de favorecer os processos de sucessão (PASINI, 2017). Ela busca a prática de uma agricultura com o intuito de trabalhar com processos de vida e biogeoquímicos, e não com insumo, imitando o funcionamento de um ambiente submetido a dinâmicas de sucessão natural (PASINI, 2017), e permitindo que as espécies com diferentes nichos, capacidades ou funções cooperem para a melhoria do meio ambiente.

Assim, no contexto relacionado à captura de carbono, a implementação e manejo dessa metodologia se mostra muito promissora e considera, prioritariamente, os princípios do meio ambiente, dos seres vivos, da biodiversidade e da sustentabilidade em decorrência da política e da economia mundial.

Pode-se evidenciar a adoção de sistemas agroflorestais biodiversos como uma alternativa promissora que possibilita a melhor utilização dos recursos naturais dispostos no meio ambiente. Nesses sistemas, culturas agrícolas e espécies florestais são reunidas e podem desenvolver associações com sistemas simplificados, formados por poucas espécies, ou aqueles bastante biodiversos e mais complexos (MARTINS, 2013; DONATO et al., 2014).

Esses sistemas buscam uma harmonia efetiva entre a produção agrícola de uma forma geral, a manutenção dos próprios sistemas e ecossistemas, e a melhoria ambiental, sendo um mecanismo de produção agroecológica que dinamiza o solo que já é desgastado pelas ações antrópicas erroneamente aplicadas ao manejo ao longo dos anos (MARTINS, 2013; DONATO et al., 2014).

A partir da década de 1980, o agricultor suíço Ernst Götsch se mudou para o Brasil e adquiriu uma área rural de 480 hectares, no município de Piraí do Norte, no sul da Bahia (GREGIO, 2020). Essa área adquirida pelo agricultor estava bastante

degradada em decorrência do desmatamento desenfreado das terras, uso do fogo e má utilização do solo por manejos agrícolas inadequados. Segundo Gregio (2020), após 40 anos de implantação e manejo, Ernst Götsch recuperou os solos, os corpos de água e a biota da fazenda, aplicando princípios e metodologias que, hoje conhecemos como agricultura sintrópica, ou o conceito de agroflorestas. A Fazenda que, hoje é famosa e conhecida como Olhos D'Água, teve a disponibilidade de água restaurada nos seus 17 rios por meio de práticas de plantio de diversas espécies, além de desassoreamento de cursos de água, podas controladas e recuperação da fertilidade do solo utilizando matéria orgânica adequada ao manejo (GREGIO, 2020).

Gregio (2020) descreve que, no ano de 1942 o italiano Luigi Fantappiè (2011) estabeleceu o conceito de sintropia como sendo o oposto de entropia. Mais recente, no ano de 2016, o próprio agricultor Ernst Gotsch descreveu sintropia como sendo o ganho de matéria e energia onde a vida, pelo fato de estar promovendo sistemas complexos a todo momento, se torna um meio sintrópico no universo (GREGIO, 2020).

Sendo assim, considerando o termo de sintropia relacionado ao conceito de entropia que tem relação com a Segunda Lei da Termodinâmica, a Agricultura Sintrópica diz respeito à promoção de ganhos de energia a partir da otimização de processos naturais do meio ambiente (GREGIO, 2020).

Para o agricultor Götsch, na Terra “O metabolismo gira em um balanço energético positivo, em processos que vão do simples ao complexo na sintropia” (Götsch, 1997 p. 5). De acordo com Gregio (2020), no que diz respeito à sintropia no contexto da agricultura, as relações cooperativas entre as espécies são sempre muito valorizadas de forma bastante ampla, o que resulta em um saldo positivo para o sistema, já que interferem positivamente no balanço de todo o ecossistema. O próprio agricultor idealizador da agricultura sintrópica, Götsch (1997) elabora um exemplo da sintropia aplicada à ação de uma abelha. As abelhas necessitam no néctar e do pólen para sobreviver, simplificada, a ação dessa espécie é entrópica, já que existe uma retirada de recurso das flores. Porém, se considerarmos toda a ação envolvendo a polinização que a abelha produz no ambiente, sua função é sintrópica. Assim, segundo Gregio (2020), mesmo que algumas ações de alguns indivíduos na natureza seja entrópica, os benefícios para o ecossistema de uma forma geral, suprem esses malefícios, fazendo com que as relações ecológicas contribuam para o ganho de matéria e energia que realizam a manutenção do ecossistema como um todo. Além disso, Götsch (1997) faz uso desse mesmo exemplo para evidenciar que a vida deve

ser vista de uma forma ampla, considerando todos os seus aspectos, e não somente de um ponto de vista individual.

Tendo em vista isso, o conceito de Agricultura Sintrópica diz respeito a uma agricultura que se baseia nos princípios e fundamentos do funcionamento e dinâmica da vida de uma forma geral, sendo ela florestal, savânica ou qualquer outro ecossistema (GREGIO, 2020).

Ela se baseia em uma estratificação que abrange diferentes coberturas vegetais, desde arbóreos, arbustivos e herbáceos, e considera a produção agrícola otimizada em cada um deles, considerando suas particularidades e especificidades. Ainda, segundo Gregio (2020), essa produção ocorre através de interações de elementos bióticos, ou seja, entre espécies e indivíduos, e elementos abióticos, com o meio ambiente em que estão inseridos.

Götsch (1997) descreve ainda que o planejamento e as formas de aplicação do manejo e da produção, devem estar ligados à sucessão natural nos estratos vegetais, ou seja, considerando uma atividade que visa processos e não produtos, substituindo, por exemplo, insumos químicos por orgânicos que são oriundos do próprio ecossistema. Assim, o foco é no ganho de vida, e não somente na extração de recursos, de forma que esse ganho de vida gere um saldo positivo no sistema como um todo, favorecendo toda a sua complexidade e especificidade.

Algumas questões específicas relacionadas à agrofloresta são a ausência total do uso do fogo, já que sua utilização reduz os recursos naturais e resulta em uma degradação do ambiente, fugindo da proposta do sistema. Götsch (1997) descreve o fogo como sendo um fenômeno entrópico que interfere de forma negativa no sistema, tendo um efeito contrário ao da vida e diminuindo recursos ao invés de aumentá-los. Na agricultura, Sá et al., (2007) descreve que o fogo gera uma perda de potencial produtivo nos cultivos, causando uma queda da oferta de energia solar e redução da fertilidade dos solos devido à fumaça.

Gregio (2020) aponta que essa mesma concepção também se aplica aos insumos químicos e agrotóxicos, sendo necessário eliminar o uso desses insumos que provocariam uma artificialização e contaminação do ambiente, já que, no meio sintrópico, considerando aqui as agroflorestas, o aproveitamento de processos naturais do ecossistema é fundamental e necessário.

Na agricultura entrópica, as ações do fogo, a poluição, o desmatamento e todos os impactos oriundos de ações humanas de forma direta ou indireta, geram entropia,

sendo malélicas para todo o sistema (DI CORPO; VANNINI, 2014). Além disso, Gotsch (1997) cita o uso de agrotóxicos e máquinas agrícolas pesadas como contribuintes para o aumento da entropia, gerando impactos negativos no ecossistema de uma forma geral.

No que diz respeito à agricultura sintrópica, cabe descrever algumas técnicas de implantação e manejo que podem ser empregadas para garantir o equilíbrio do sistema. Uma delas, segundo Gregio (2020), é a cobertura para o solo, que é considerado uma matéria orgânica essencial para a fertilização e desenvolvimento de diferentes espécies. Gotsch (1997, p.8) cita que grande parte dessa cobertura de solo pode ser obtida através da capina seletiva, ou seja, deve-se retirar ervas que estão amadurecendo e ervas que são ecofisiologicamente substituídas por plantas cultivadas, de forma seletiva e gradual, de acordo com a necessidade do ambiente e do sistema. Além disso, o agricultor também cita a poda de acordo com a espécie e função de plantas herbáceas, perenes, arbustos e árvores como sendo uma técnica que contribui para a manutenção da matéria orgânica no solo. Essas podas são importantes para a abertura de clareiras para a entrada da luz solar, essencial para o fenômeno da fotossíntese, ao mesmo tempo em que esse material que foi podado retorna ao solo como forma de cobertura, realizando um ciclo de vida que é essencial para a manutenção e desenvolvimento do sistema (GOTSCH, 1997).

Um ponto importante a ser considerado nesse método de agrofloresta, é em relação às plantas exóticas, que são consideradas temporárias nos sistemas agroflorestais, já que não são endêmicas. Segundo Götsch (1997), cada espécie tem uma função específica e deve ser valorizada, aproveitando o potencial biológico e ecológica de cada uma, e potencializando os possíveis benefícios ao ambiente, mesmo que sejam espécies de outros ecossistemas. Um exemplo é o Eucalipto, uma espécie exótica considerada invasora e prejudicial aos ecossistemas tropicais. No entanto, para Ernst Gotsch, o potencial de crescimento dessas plantas deve ser aproveitado para gerar biomassa nos sistemas agroflorestais, já que, após um período de crescimento eles são cortados e utilizados como matéria orgânica para o solo, sendo exploradas de forma inteligente e benéfica, assim como diversas outras espécies exóticas consideradas invasoras (GREGIO, 2020).

Outro ponto importante que é muito defendido por Ernst Götsch e deve ser considerado nos sistemas agroflorestais, diz respeito às relações ecológicas entre os seres vivos e os ecossistemas em que estão inseridos, principalmente as relações de

cooperação entre ambos (GREGIO, 2020). Para o agricultor, não existe relações malélicas, mas sim, voltadas à harmonia do sistema. Nesse sentido, as famosas pragas apenas fornecem indícios de que há algum desequilíbrio no sistema, e deve ser investigado e tratado a fim de restabelecer o equilíbrio.

Ainda, de acordo com os princípios da agricultura sintrópica, o sistema não precisa de irrigação, uma vez que se mantém úmido suficiente em decorrência do manejo adequado (GREGIO, 2020). Sobre isso, Götsch (1997) afirma que “água se planta”, se referindo à umidade relativa ao manejo adequado dos sistemas.

Além desses princípios serem de extrema importância para garantir a funcionalidade do sistema, ao mesmo tempo em que preserva os ecossistemas e biodiversidade, existem formas diferentes de aplicação dessa agricultura sintrópica.

Segundo Götsch (1997), o ecossistema local e a necessidade de produção do agricultor são os dois fatores que devem ser considerados quando se trata de uma agrofloresta e tudo o que ela engloba. O ecossistema local deve ser levado em consideração, pois é preciso considerar fatores e aspectos que influenciam nas dinâmicas dos mesmos, e a questão da soberania alimentar que engloba a produção de alimentos para consumo, e a geração de renda para os próprios agricultores (GOTSCH, 1997). Para tanto, é preciso que haja uma análise das condições naturais do sistema, da mão de obra disponível, das fontes de renda e sobrevivência que podem ser utilizadas, além dos objetivos esperados com a agricultura sintrópica, tais como restauração, preservação, conservação, tipos de alimentos que seja deseja produzir, dentre outros (GREGIO, 2020).

De acordo com Cole (2018), a importância das agroflorestas vai além dos benefícios para o sistema de uma forma geral, mas também são importantes para pequenos agricultores acionistas que possuem terras limitadas e precisam aproveitar ao máximo seus recursos. Além dos benefícios econômicos das agroflorestas com foco em um manejo adequado para a manutenção do ecossistema, essas florestas sintrópicas também têm papel importante na melhoria das mudanças climáticas, logo, são importantes para diminuição de impactos ambientais causados, em sua grande maioria por ações antrópicas (COLE, 2018).

Segundo Cole (2018), esses benefícios ambientais ocorrem, pois, esses sistemas agroflorestais têm uma capacidade bastante significativa de sequestrar mais carbono atmosférico nas plantas e no solo, do que a agricultura convencional, já que as florestas sintrópicas dispõem de mecanismos ecológicos que valorizam o

ecossistema como um todo, e a abundância e crescimento de espécies, que, por sua vez, realizam o sequestro de carbono.

De acordo com Cole (2018), um estudo desenvolvido na Universidade da Pensilvânia sob orientação do professor Michael Jacobson, descobriu que, enquanto as florestas tradicionais sequestram aproximadamente 25% de carbono da atmosfera, a agricultura sintrópica armazena muito mais carbono do que a agricultura tradicional. O estudo foi desenvolvido a partir da análise de dados de outros 53 estudos que monitoravam as mudanças do carbono orgânico do solo após a terra ser convertida de floresta para terra cultivada, e a pastagem convertida para agrofloresta. Segundo os autores, essa mudança da agricultura para agrofloresta, explorando os conceitos e particularidades das florestas sintrópicas, aumentou de forma muito significativa o carbono orgânico do solo em aproximadamente 34%. Além disso, a mudança de pastagens para agroflorestas também gerou um aumento de carbono orgânico do solo em uma média de 10% (COLE, 2018).

Tendo em vista isso, os sistemas agroflorestais de uma forma geral têm um papel bastante efetivo e significativo no sequestro global de carbono, envolvendo também o armazenamento de CO₂ da atmosfera a longo prazo, sendo um mecanismo essencial de retardar ou até mesmo diminuir as taxas do aquecimento global (COLE, 2018).

Importante ressaltar que, segundo os pesquisadores do estudo, o carbono não foi armazenado de forma igual nos diferentes níveis do solo. Isso porque a conversão de floresta para agroflorestal fez com que ocorresse perdas nos estoques de carbono orgânico do solo nas camadas superiores, enquanto nas camadas mais profundas não foram encontradas diferenças significativas. Em contrapartida, ao converter a agricultura para agroflorestal observou-se um aumento nos estoques de carbono orgânico em todos os níveis do solo na maioria dos estudos analisados (COLE, 2018). Com isso, foi possível perceber que os sistemas agroflorestais em crescimento são ferramentas muito promissoras para reduzir as concentrações de carbono na atmosfera.

Em alguns países como Quênia, Indonésia e o Brasil, o governo tem pagado aos agricultores para que eles plantem árvores em suas terras como uma maneira de diminuir os impactos das mudanças climáticas. Segundo Cole (2018), essa abordagem é bastante incentivada não só para cumprir com os programas nacionais e internacionais que visam à diminuição das emissões de dióxido de carbono, mas

também por que os sistemas agrícolas são muito mais integrados aos trópicos, regiões onde esses países estão localizados e onde os benefícios econômicos são mais necessários, principalmente considerando os países em desenvolvimento (COLE, 2018).

No que diz respeito ao Brasil, o país tem um grande potencial para o desenvolvimento de florestas sintrópicas no lugar da agricultura tradicional. Isso porque o Brasil abriga uma das maiores porcentagens de biodiversidade do mundo, com 70% da biodiversidade global, mais de 55% da cobertura vegetal nativa e 15% da água doce de todo o planeta (VIEIRA, 2014). Os Biomas Mata Atlântica, Amazônia, Cerrado, Caatinga e Campos do Sul abrigam cerca de 20% das espécies do planeta, constituindo 20% da flora global, além do Pantanal que também abriga uma diversidade grande de espécies (VIEIRA, 2014).

Além disso, Varella (1997) descreve que o Brasil possui a maior variabilidade genética em termos de biodiversidade do mundo, e sua flora é detém cerca de 55 mil espécies já conhecidas, além de diversas outras que ainda não foram catalogadas por especialistas, ou mesmo são desconhecidas. Essa diversidade ocorre principalmente devido a sua posição geográfica que pode ser considerada privilegiada, além do clima, umidade e fatores bióticos e abióticos que são propícios para o desenvolvimento dessa grande variedade e diversidade de espécies (VARELLA, 1997).

Assim, considerando essas informações, Houghton (1995) e Nair (1998), garantem que explorar mecanismos que regeneram florestas, realizar o reflorestamento e investir em florestas sintrópicas, principalmente no Brasil devido ao seu potencial biodiverso, influência de forma positiva no restabelecimento de serviços que são muito importantes para a sociedade, não só a captura de carbono propriamente dita. Além do sequestro do carbono da atmosfera, a manutenção de mananciais hídricos, da estrutura e fertilidade do solo a própria conservação da biodiversidade, fornecimento de produtos florestais como madeira, medicamentos fitoterápicos e temperos, além da renda adicional aos produtores a fim de estimular a sustentabilidade financeira (HOUGHTON, 1995; NAIR, 1998).

De acordo com a Revista Ciência e Clima (2017), no que diz respeito à captura de carbono, a quantidade absorvida pelos sistemas agroflorestais é muito maior do que a emitida na forma de CO₂. Diversos estudos demonstram que a maior parte das emissões de gases maléficos ao efeito estufa no Brasil vêm do setor agropecuário, com uma porcentagem de 90% das emissões do gás metano (CH₄), enquanto 33%

são emissões de óxido nitroso (N₂O), ambos causadores do efeito estufa e intensificadores do aquecimento global (CIÊNCIA E CLIMA, 2017).

No que diz respeito ao dióxido de carbono, objeto de estudo deste trabalho, as emissões anuais totais variam entre 2,81 a 7,98 toneladas por hectare no mundo todo. Pesquisadores afirmam que esses valores são considerados baixos, devido às práticas utilizadas nos sistemas agroflorestais, que capturam grande quantidade das emissões totais de carbono na atmosfera (CIÊNCIA E CLIMA, 2017). Essas práticas podem ser exploradas de forma a diminuir o uso de máquinas agrícolas e o consumo de combustível, ao mesmo tempo em que aumentam o teor de carbono e nitrogênio orgânicos no solo, auxiliando a biomassa microbiana (CIÊNCIA E CLIMA, 2017).

Além disso, evidencia-se a importância do uso correto de sistema utilizado para cada objetivo, uma vez que a quantidade de carbono sequestrada varia conforme o tipo de sistema explorado, podendo sequestrar quantidades entre 9 e 58 toneladas de CO₂ por hectare (CIÊNCIA E CLIMA, 2017). Essa diferença depende ainda das espécies de árvores, bem como a idade, o tipo de pastagem, a localização geográfica, os aspectos ambientais envolvidos, e o manejo utilizado para manter o bom funcionamento desses sistemas, e, conseqüentemente, a captura de altas taxas de carbono (CIÊNCIA E CLIMA, 2017).

Seguindo premissas do acordo climático estabelecido em Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa em 37% até o ano de 2025, considerando as taxas de emissões datadas do ano de 2005. Para alcançar esses objetivos, uma alternativa seria considerar as características do território brasileiro, explorando as possibilidades de transformação de agriculturas tradicionais em agriculturas sintrópicas visando todos os benefícios ambientais e, principalmente a captura de carbono, haja vista que sistemas agroflorestais podem contribuir de forma abrangente e significativa não só para o país atingir suas metas de redução de gases do efeito estufa, mas também, trazendo outros benefícios como melhora do bem estar da biodiversidade de uma forma geral, incluindo os seres humanos, e incentivando a produção de culturas de forma sustentável e benéfica ao meio ambiente (CIÊNCIA E CLIMA, 2017).

2.4 Relações Internacionais, mudanças climáticas e soluções baseadas na natureza: qual a conexão?

Apenas o uso de agroflorestas e florestas sintrópicas certamente não será suficiente para solucionar o problema da emergência climática. A enormidade do desafio colocado demanda da combinação de vários tipos de soluções e requererá, ainda, uma mudança estrutural do atual modelo de organização socioeconômica vigente desde a Revolução Industrial. Não se trata de uma crítica explícita ao sistema capitalista, mas sim à lógica crescimentista inerente ao sistema.

A Revolução Industrial é considerada o marco inicial que evidenciou as problemáticas voltadas ao meio ambiente, porém, todos os acontecimentos depois dela também intensificaram tais problemáticas. As discussões internacionais giram em torno de debater acerca dos problemas e propor possíveis soluções, no entanto, é preciso focar mais na prática à teoria, aplicando de forma efetiva tais soluções e analisando os possíveis resultados. Além disso, muitas vezes o foco de tais discussões é aplicado de forma pontual, não abrangendo todas as possibilidades. Isso porque a emergência climática está evidente hoje, em decorrência de uma cascata de acontecimentos que abrangem diversos aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos, e é preciso expandir o leque de possibilidades para além de somente uma vertente.

Tendo em vista a necessidade de se pensar em possíveis soluções para amenizar as problemáticas ambientais, o potencial de uso das agroflorestas e florestas sintrópicas é uma alternativa interessante e plausível, porém, será limitado caso não se repense o atual sistema alimentar mundial. Além de contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o argumento aqui é que o sistema alimentar mundial pode e deve ser repensado de modo a reduzir as problemáticas ambientais, uma vez que o sistema alimentar mundial atual é pautado em intensificar as problemáticas ambientais.

Em setembro de 2021, foi realizada a Cúpula dos Sistemas Alimentares durante a semana de Alto Nível da Assembleia Geral das Nações Unidas (GOVERNO FEDERAL). Esse evento foi convocado com o intuito de alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no contexto da Década de Ação e teve como intuito acelerar os esforços para cumprir esses objetivos por meio da transformação dos sistemas alimentares rumo à sustentabilidade mundial (GOVERNO FEDERAL).

As discussões realizadas na Cúpula estão organizadas em cinco linhas de ações temáticas:

- 1- Garantia do Acesso à alimentação saudável, segura, e sustentável para todos;
- 2- Padrões de consumo saudáveis e sustentáveis;
- 3- Produção em escala de alimentos positivos para a natureza.
- 4- Promover o sustento e a distribuição de valor equitativa;
- 5- Construção de resiliência contra vulnerabilidades, choques e tensões.

De acordo com Abramovay (2021), há 12 mil anos ocorreram eventos de crescimento da densidade populacional das sociedades humanas, que foram acompanhadas pela intensificação da agropecuária. Na segunda metade do século XX, por meio da chamada Revolução Verde, deu-se início o desafio de alimentar bilhões de pessoas, uma vez que ocorria também um avanço da fome que atingia quase metade da população mundial. Essa Revolução ocorreu em 1950 no México e mobilizou empresas, entidades governamentais, governos de diversos países e segmentos importantes da sociedade para incentivar e intensificar o aumento da produção agropecuária mundial (ABRAMOVAY, 2021).

Na tentativa de acompanhar o crescimento populacional exacerbado, a Revolução Verde proporcionou um aumento de 106% da produtividade agrícola global. Em contrapartida, resultou em um aumento de 97% da superfície irrigada, gerando um grande desperdício de água, além de intensificar o uso de fertilizantes nitrogenados em 638% e a produção de agrotóxicos em 854% (ABRAMOVAY, 2021). O uso desses compostos para acompanhar a crescente agrícola compromete de forma maléfica os serviços ecossistêmicos fundamentais, interferindo e intensificando a poluição e as problemáticas ambientais mundiais.

De acordo com Albert (2021), os sistemas alimentares atuais contribuem para as emissões mundiais de gases do efeito estufa, sendo responsáveis por 25% a 42% de todas as emissões globais desses gases. Segundo o autor, há uma urgência em se realizar reformas para tornar os sistemas alimentares mais sustentáveis, e, embora todas as etapas da cadeia alimentar contribuam para emissões de gases do efeito estufa, a pesca, aquicultura e agricultura, especificamente, produzem cerca de 39%

das emissões globais do sistema alimentar (ALBERT, 2021). Ainda, o uso da terra e as mudanças nesse uso foram o segundo maior contribuinte, com 32% das taxas de emissões de gases do efeito estufa, seguido da distribuição dos produtos, que englobam várias etapas relacionadas ao transporte, embalagem e vendas, e são responsáveis por 29% das emissões (ALBERT, 2021).

Além disso, no ano de 2015, 27% dos gases do efeito estufa foram emitidos por países industrializados, enquanto os 73% restantes foram emitidos por países em desenvolvimento (ALBERT, 2021). As altas emissões dos países em desenvolvimento, no entanto, poderiam ser devido às escolhas alimentares das pessoas, e, entre os países, são necessárias as capacidades biológicas de outros países para fornecimento dos alimentos à população (ALBERT, 2021).

Além da poluição, de acordo com Abramovay (2021), o atual sistema alimentar global vem intensificando três problemas fundamentais: as mudanças climáticas, a erosão da diversidade genética, e o avanço da pandemia da obesidade. Esses giram em torno especificamente da produção de carnes, no consumo crescente de produtos ultraprocessados, e nas dietas contemporâneas.

Considerando que o apetite pela carne, bem como ultraprocessados é maior do que a consciência social acerca dos problemas trazidos pela sua produção e consumo, é relevante o início de um pensamento e discussões entre os países durante as reuniões internacionais que visem à modificação dos sistemas alimentares mundiais (ABRAMOVAY, 2021). Em outras palavras, o argumento que aqui é que o sistema alimentar mundial precisa ser foco de discussões em reuniões internacionais de modo a evidenciar o nexos entre a forma da produção global de alimentos, as mudanças climáticas e soluções baseadas na natureza.

Afirma-se que a ausência de mudanças no sistema alimentar mundial reduz de maneira significativa o potencial de contribuição das soluções baseadas na natureza na busca de soluções para o problema das mudanças climáticas. Isto porque as formas de cultivo agroflesteais ou agroecológicas, incluindo-se aí as florestas sintrópicas discutidas anteriormente, serão apenas formas marginais de produção e não serão capazes de competir com as formas monocultoras predominantes. Em sendo assim, além do foco nas mudanças climáticas em si e na busca de soluções coletivas, a governança internacional deve também se ater ao sistema alimentar mundial para garantir a segurança alimentar e nutricional dos povos e o equilíbrio ecológico do planeta.

As soluções baseadas na natureza são uma alternativa interessante também para diminuição do consumo de carne, uma vez que vêm sendo discutida a produção de uma carne limpa, proveniente de plantas e células animais, como insetos, sem abate e sem financiar as problemáticas ambientais.

Cada vez mais há a disseminação de uma conscientização acerca da diminuição do consumo de carne. A exemplo da “segunda sem carne” que consiste na eliminação da carne às segundas feiras de todas as semanas com o intuito de que, aquelas pessoas que não conseguem abolir o consumo, consigam, ao menos diminuí-lo, já não contribuindo tanto para diversos impactos ambientais.

Segundo Albert (2021), o setor de alimentos de diversos países começará a exigir políticas de mitigação dedicadas com o intuito de tornar os sistemas alimentares mais eficientes e menos poluentes. No entanto, o autor pontua a necessidade de reduzir desperdícios de alimentos, alimentação sazonal e dieta baseada em vegetais que podem fazer a diferença.

Nesse sentido, as críticas ao sistema agroalimentar são inúmeras e devem ser pautas de discussão nas reuniões e encontros internacionais cujo objetivo é discutir problemáticas ambientais e alternativas para diminuí-las. Diversas empresas atuais procuram evidenciar à população os méritos das carnes alternativas, baseadas em plantas, por exemplo (ABRAMOVAY, 2021). Esse setor é relativamente novo e está atraindo investimentos de diversos acionistas e do sistema financeiro, uma vez que têm se mostrado bastante promissor, além de ser uma possível solução baseada na natureza. De acordo com Abramovay (2021), dentro de vinte anos esse setor tem potencial para representar 60% do que hoje é o mercado mundial de carnes.

Tendo em vista isso e considerando as questões trazidas no presente trabalho, as soluções baseadas na natureza são uma alternativa bastante promissora para diminuir os impactos ambientais causados, principalmente por ações antrópicas nos dias de hoje.

No entanto, deve-se considerar a necessidade das Relações Internacionais no sentido de focar nas discussões para debater outras possibilidades de diminuição dos impactos ambientais, uma vez que os atuais discutidos são conectados em diversos aspectos, sendo necessário perscrutar tais conexões. Este trabalho procurou contribuir ao tentar investigar as relações existentes entre Relações Internacionais, soluções baseadas na natureza para o combate às mudanças climáticas e o atual sistema alimentar. Procurou-se evidenciar a manutenção deste último, baseado na

monocultura e destruição de da biodiversidade, impede que as soluções baseadas na natureza realizem todo seu potencial. As discussões internacionais e os encontros entre os países são necessários para discutir tais questões, sendo evidente a necessidade de se pensar em outras possibilidades que considerem, por exemplo, a própria natureza, de forma a manter os serviços ecossistêmicos, preservando e mantendo um equilíbrio justo e eficiente entre o meio ambiente, a política, a economia e a sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais as problemáticas ambientais se tornam pautas de discussão em diversas instâncias nacionais e internacionais. Muitos encontros entre países são organizados ao longo dos anos com o intuito de avaliar os impactos ambientais provenientes, principalmente de ações antrópicas e discutir alternativas para minimizar e/ou exterminar esses impactos.

Um dos problemas mais evidentes hoje é o agravamento do aquecimento global, em decorrência, principalmente das emissões em excesso dos gases causadores do efeito estufa, em especial, o dióxido de carbono. Ao mesmo tempo em que discutir e debater acerca dessas problemáticas é essencial para pensar em soluções, aplicar as metodologias provenientes desses debates se faz indispensável para “tirar do papel” e “colocar na prática”, uma vez que, caso contrário, os impactos ao meio ambiente se tornarão cada vez mais graves com o passar dos anos, interferindo negativamente no ambiente de uma forma geral e na vida humana na Terra.

Tendo em vista isso, e considerando os impactos causados pela emissão exacerbada de dióxido de carbono, este trabalhou procurou trazer um olhar mais detido para o uso de tecnologias voltadas à captura de grandes quantidades de carbono como alternativa promissora que vêm sendo objeto de estudo em diversos países, assim como as soluções baseadas na própria natureza, sendo uma alternativa mais sustentável se elaborada da forma correta. Existem diversas tecnologias e possíveis soluções que vêm sendo exploradas ao longo dos anos, e analisar os benefícios e malefícios de cada uma delas é essencial para capturar a maior quantidade de carbono possível, diminuindo os impactos do aquecimento global.

No Brasil, especificamente, o uso de florestas sintrópicas como metodologia para captura de carbono é uma alternativa promissora que vem sendo discutida por especialistas. Isso porque, o Brasil possui um potencial extremamente abrangente e positivo para explorar essa tecnologia, já que é território da maior porcentagem da biodiversidade mundial, considerando os biomas riquíssimos que compõem nosso país, bem como a riqueza de espécies e diversidade genética aqui presentes.

Assim, considerando todos os mecanismos e metodologias que dispõem da transição de agriculturas tradicionais para agriculturas sintrópicas, esse tipo de

agricultura que foca no desenvolvimento de agroflorestas é um caminho promissor para a redução em larga escala das emissões de CO₂ da atmosfera, no contexto de território brasileiro e mundial, e deve ser mais bem explorada em diversos países, mas, principalmente no Brasil.

Todavia, este trabalho mostrou que as soluções discutidas demandam uma reflexão sobre os sistemas alimentares mundiais atuais, pois apenas com mudanças importantes na forma de produção global de alimentos as soluções baseadas na natureza realizarão seu pleno potencial. Isto porque o atual sistema alimentar mundial é baseado em diversas formas de agricultura que têm impactos negativos no meio ambiente. Em outras palavras, soluções baseadas na natureza ainda serão marginais e periféricas se não houver uma reflexão importante sobre os impactos negativos advindos do atual sistema alimentar.

É neste sentido que as Relações Internacionais são importantes. Isto é, as Relações Internacionais devem focar – para além dos seus objetos tradicionais de estudo, como a paz, a segurança e os direitos humanos – o desenvolvimento de alternativas para minimizar as problemáticas ambientais, sendo as soluções baseadas na própria natureza uma opção viável e interessante, garantindo um equilíbrio entre o meio ambiente, a política, a economia e a sociedade.

Acredita-se que esse trabalho seja extremamente necessário, em especial porque, desde pelo menos 2019, o Brasil vem se tornando um ator cada vez mais excluído e distante dos debates acerca das questões ambientais, perdendo seu protagonismo e grandes oportunidades político-econômicas de cooperação e auxílio internacional, fator que poderia ser essencial para o desenvolvimento e modernização econômica sustentável, e para a preservação e utilização consciente de nossos recursos ambientais. Além disso, a forma pela qual as principais atividades econômicas vêm se desenvolvendo no Brasil coloca na direção contrária aos objetivos de desenvolvimento sustentável e preservação ambiental. Ou seja, a degradação da natureza causada pelos setores agroexportadores e pecuários brasileiros são responsáveis por criar barreiras à inserção internacional ativa e soberana do Brasil, tal como demonstrado por Scatimburgo (2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, Ricardo. Desafios para o sistema alimentar global. **Cien. Culto.**, São Paulo, v. 73, n. 1, pág. 53-57, janeiro de 2021. Disponível em <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252021000100011&lng=en&nrm=iso>. acesso em 15 de março de 2022. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100011>.

AGÊNCIA BRASIL. **Inpe: desmatamento na Amazônia Legal tem aumento de 21,97% em 2021.** 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-11/desmatamento-na-amazonia-legal-tem-aumento-de-2197-em-2021#:~:text=O%20Instituto%20Nacional%20de%20Pesquisas,a%2031%20julho%20de%202021..> Acesso em: 14 mar. 2022.

AGENDA GOTSCH. **What is syntrophic farming?** s.d.a. Disponível em: <<https://agendagotsch.com/pt/what-is-syntropic-farming/>>. Acesso em 01 de nov, 2021.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. Mudança climática, Protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. *Organizações & Sociedade*, v. 15, n. 45, p. 29-45, 2008.

BARBADO, Norma; LEAL, Antonio Cezar. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.

Barros-Plataiu, Ana & Varella, Marcelo & Schleicher, Rafael. (2004). **Meio ambiente e Relações Internacionais: perspectivas teóricas, respostas institucionais e novas dimensões de debate.** *Revista Brasileira De Política Internacional - REV BRAS POLIT INT.* 47. 10.1590/S0034-73292004000200004.

BATAILLE, CHRIS. **There are several pathways to Net-zero CO2 emissions and it's past time to get moving.** Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/63612fe387f0fa2c2d7c090f5d2bded0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=5066179>>. 2020. Acesso em: 30 out. 2021.

BBC NEWS. **1% das árvores da Amazônia 'captura metade do carbono da região'.** 2015. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/05/150507_amazonia_co2_pu. Acesso em: 14 mar. 2022.

BBC NEWS. **Desmatamento na Amazônia tem a maior taxa em 15 anos.** 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-59341478>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BELINI, Leandro. **Mudanças climáticas e Relações Internacionais.** 2012. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17973/material/Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas%20e%20RI.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BRASIL. Senado Federal. Subsecretaria de Edições Técnicas. Protocolo de Quioto e legislação correlata. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal, 2004. v. 3 (Coleção Ambiental). 88 p.

BRITO, Brenda et al. **Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon.** *Environmental Research Letters*, v. 14, 2019. Acesso em: 3 out. 2021.

BROWN, Sarah. et al. **Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: a systematic map protocol.** 2018. Disponível em: <<https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-018-0136-0#Abs1>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BUTLER, Rhet A. **Calculating deforestation figures for the Amazon**. Mongabay, 24 abr. 2018. Disponível em: <https://rainforests.mongabay.com/amazon/deforestation_calculations.html>. Acesso em: 5 out. 2021.

CÂMARA, George; ANDRADE, José Célio; ROCHA, Paulo. Tecnologia de armazenamento geológico de dióxido de carbono: panorama mundial e situação brasileira. **Sistema&Gestão**: Revista eletrônica, [s. l.], ano 2, v. 6, n. 3, p. 238-253, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/26033/1/Tecnologia%20de%20Armazenamento%20Geol%3%b3gico%20de%20Di%3%b3xido%20de%20Carbono%20Panorama%20Mundial%20e%20Situa%3%a7%3%a3o%20Brasileira.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

CARRINGTON, Damian. **Greta Thunberg tells world leaders to end fossil “madness”**. The Guardian, 2020. Acesso em: 8 out. 2021.

CARVALHO, José Luiz Ribeiro de, MACHADO, Marília Novais da Mata e MEIRELLES, Anthero de Moraes Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. **Cadernos EBAPE.BR** [online]. 2011, v. 9, n. 2 [Acessado 11 Fevereiro 2022], pp. 220-240. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1679-39512011000200002>>. Epub 25 Jul 2011. ISSN 1679-3951. <https://doi.org/10.1590/S1679-39512011000200002>.

CELENTANO, Danielle; SILLS, Erin; SALLES, Márcio; VERÍSSIMO, Adalberto. **Welfare outcomes and the advance of the deforestation frontier in the Brazilian Amazon**. World Developments, v. 40, n. 4, pp. 850-864, 2012. Acesso em: 8 out. 2021.

CESARINI, C. N. **Modelo de compensação de CO2 para empresas poluidoras do ar: um estudo de caso no Vale do Itapocu, Região Norte de Santa Catarina**. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CETESB - **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/nobre_reid_veiga_fundamentos_2012.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

CIÊNCIA e Clima. In: **Sistemas agroflorestais podem compensar as emissões da agropecuária**. [S. l.], 6 dez. 2017. Disponível em: <https://cienciaeclima.com.br/sistemas-agroflorestais-compensar-emissoes-agropecuaria/#:~:text=Os%20sistemas%20agroflorestais%20tem%20o,concluiu%20estudo%20de%20cientistas%20brasileiros.&text=Para%20cumprir%20a%20meta%2C%20o,de%20baixa%20emiss%C3%A3o%20de%20carbono>. Acesso em: 11 fev. 2022.

CIENCIA HOJE. **Sequestro de carbono**: o poder das soluções simples. [S. l.], 1 jul. 2019. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/sequestro-de-carbono/>. Acesso em: 11 fev. 2022.

CINELLI, B. A.; CASTILHO, L. R.; FREIRE, D. M.; CASTRO, A. M. A brief review on the emerging technology of ethanol production by cold hydrolysis of raw starch. *Fuel*, 150, 721-729, 2015b.

CINELLI, C. L. K. Espaço, tempo, fluxo e estoque: alguns elementos para uma discussão econômica da cobrança pelo lançamento de efluentes em corpos d'água, 2015.

COLE, Stephanie. **Importance of agroforestry systems in carbon sequestration**. [S. l.], 22 fev. 2018. Disponível em: <https://www.cabi.org/forests/science/news/65086#:~:text=Agroforestry%20can%20store%20more%20carbon%20than%20conventional%20farming&text=They%20found%20that%20while%20forests,notably%20more%20carbon%20than%20agriculture>. Acesso em: 11 fev. 2022.

Conferência das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento Sustentável – RIO+20. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br>. Acesso em: 13 jan. 2022.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **O que é o Acordo de Paris?** Disponível em: https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YeNoq_7MLIU. Acesso em: 15 jan. 2022.

GREGIO, Josué Vicente. Degradação à floresta: A Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch e sua aplicação nas fazendas Olhos D'Água e Santa Teresinha, Pirai do Norte/BA. **Ambientes: Revista de Geografia e Ecologia Política**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 106-143, 2020. DOI <https://doi.org/10.48075/amb.v2i2.26585>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/26585/16642>. Acesso em: 11 fev. 2022.

GURSKI, Bruno, et al. **Conferência de Estocolmo**: um marco na questão ambiental. p. 69. Disponível em: Acesso em: 13 jan, 2022.

GURSKI, Bruno; GONZAGA, Roberto; TENDOLINI, Patricia. **Conferência de Estocolmo: Um marco na questão ambiental**. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/conferencia-de-estocolmo-um-marco-na-questao-ambiental.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. B. “Reconstrução Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para cerrado e caatinga”. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN) e ICRAF, 2016.

How much are our food systems responsible for climate change? Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2021/04/study-food-systems-drive-an-estimated-one-third-of-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 15 março. 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Aquecimento global de 1,5°C**. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

IPCC. **Carbon dioxide capture and storage**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.

IPOEMA. **Conceitos de Agrofloresta**. Disponível em: <<https://ipoema.org.br/conceitos-de-agrofloresta/>>. 2018. Acesso em: 30 out. 2021.

JIA, G., SHEVILAKOVA, E.; ARTAXO, P. et al. Land–climate interactions. In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/05_Chapter-2.pdf>. Acesso em: 7 out. 2021.

JUNGES, Alexandre Luis et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 13, n. 5, 23 nov. 2018. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID531/v13_n5_a2018.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

JURAS, I. da A.G.M. Os impactos da indústria no meio ambiente. Brasília: Consultoria Legislativa, 2015.

KURZ, Robert. O colapso da modernização: da derrocada do socialismo de caserna à crise da economia mundial. trad. Karen E. Barbosa. Rio de Janeiro, **Paz e Terra**, 1992.

LE PRESTRE, P. “Which global environmental governance for the coming decades?” Montréal, Observatoire de l'écopolitique internationale, UQAM, 14, p. 2001a.

Luterbacher, U. and Sprinz, D. F. (2001). **International Relations and Global Climate Change**. Cambridge, MA: MIT Press.

MAGALHAES, A S. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. 2013.

MARQUES, L. Capitalismo e colapso ambiental. Editora da Unicamp, 2018.

MARTINS, Marcos Vinicius Elias; ROSA, Rayssa Guimarães; DE OLIVEIRA, Gislane Pinho. Levantamento de atividades e fontes fixas poluidoras do ar na cidade de Balsas-MA. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 16, p. e227101619506-e227101619506, 2021.

MATTOS, Thaís de Moraes. **Potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa pela captura e sequestro de co2 de destilarias de etanol do centro sul do brasil para utilização em recuperação avançada de petróleo.** Orientador: Roberto Schaeffer/David Alves Castelo Branco. 2018. 198 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/2018/Tese_Mestr2018_Tha%C3%ADs_de_Moraes_Mattos.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

MILZ, J. "Guia para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales". Oficinas La Paz, DED Servicio Aleman de Cooperacion Social-Tecnica. Bolívia, 1997.

MOLITERNO, Danilo. **Do início ao fim: o meio ambiente no governo Bolsonaro.** 2020. Disponível em: <http://www.jornaldocampus.usp.br/index.php/2020/11/do-inicio-ao-fim-o-meio-ambiente-no-governo-bolsonaro/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

NAIR, Ramachandran et al. **Chapter Five - Carbon Sequestration in Agroforestry Systems.** In *Advances of Agronomy*. Volume 108, 2010, pgs. 237-307. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211310080053>. Acesso em 31, out. 2021.

NASA - **National Aeronautics and Space Administration. a Scientific consensus: Earth's climate is warming.** *Global Climate Change*, s.d.a. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>. Acesso em: 7 out. 2021.

NBS. **Pesquisas buscam aumentar o sequestro de carbono e reduzir emissões de gases de efeito estufa na agropecuária e silvicultura.** *Research Centre For Greenhouse Gas Innovation*. [S. l.], 30 nov. 2021. Disponível em: <https://www.rcgi.poli.usp.br/pt-br/pesquisas-buscam-aumentar-o-sequestro-de-carbono-e-reduzir-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria-e-silvicultura/>. Acesso em: 11 fev. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Acordo de Paris: Um guia para perplexos. 2021.** Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/09/Minimanual-Acordo-de-Paris.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

OHSE, Silvana et al. Revisão: Seqüestro de carbono realizado por microalgas e florestas e a capacidade de produção de lipídios pelas microalgas. *Insula: Revista de Botânica*, [s. l.], n. 36, p. 39-74, 1 jan. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/insula/article/view/15121/13773>. Acesso em: 11 fev. 2022.

OLIVEIRA, Gabriela Andrade de et al. Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma cerrado. *Editora Científica Digital*, [s. l.], 31 jul. 2021. DOI 10.37885/210504459. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/210504459.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

OLIVETO, Paloma. **Pesquisadores testam tecnologia que captura dióxido de carbono da atmosfera.** [S. l.], 22 set. 2021. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/09/22/interna_gerais,1307741/pesquisadores-testam-tecnologia-que-captura-dioxido-de-carbono-da-atmosfera.shtml. Acesso em: 11 fev. 2022.

PACALA, S.; SOCOLOW, R. Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. *Science*, [s. l.], v. 305, p. 968-972, 13 ago. 2004. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1100103>. Acesso em: 11 fev. 2022.

PAIVA, Iure. **Relações internacionais, mudanças climáticas e dimensão ambiental da segurança energética: Inserção da temática na estrutura política, jurídica e institucional do Brasil**. 2015. 18 f. Tese (Doutorado) - Curso de Relações Internacionais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

PASINI, F. S. "A Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch: história, fundamentos e seu nicho no universo da agricultura sustentável". Dissertação de Mestrado, UFRJ/Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Macaé, RJ, 2017.

PASINI, Felipe. **O que faz o cacão do Ernst ser "premium"**. 2018. Disponível em: <<https://agendagotsch.com/pt/what-makes-ernsts-cacao-a-premium-product/>>. Acesso em: 02 nov. 2021.

PAZ, Elizabeth Maria de Souza Motta; BOCH, Everonice Elfrida; ORTEGA, Gisele Pereira; CAMPOS, Neusa Alves da Silva. **REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E MEIO AMBIENTE: QUESTÕES PARA REFLETIR**. 2015. Disponível em: <http://www.emdialogo.uff.br/content/revolucao-industrial-e-meio-ambiente-questoes-para-refletir>. Acesso em: 13 jan. 2022.

PENEIREIRO, F. M. "Sistemas Agroflorestais Dirigidos pela Sucessão Natural: um estudo de caso". Mestrado em Ciências Florestais, Esalq: Piracicaba, 1999.

PERES, Fabio de Faria. Meio Ambiente e Saúde: os efeitos fisiológicos da poluição do ar no desempenho físico - o caso do monóxido de carbono (CO). **Arquivos em Movimento**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 55-63, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/am/article/viewFile/9049/7179>. Acesso em: 11 fev. 2022.

PHILIPPI JR, A. ROMÉRO, M. A., BRUNNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. Rev. **Estudos Avançados** 31 (89), 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0271.pdf>. Acesso: 13 jan, 2022.

RAFFLEGEAU, Sylvain et al. **Ecosystem services functional motif: a new concept to analyse and design agroforestry systems**. 2019. Disponível em: <<https://agritrop.cirad.fr/592786/>>. Acesso em: 02 nov. 2021.

RENNER, Rosana Maria. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2004/d387_0560-M.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

REUTERS. **Bolsonaro diz que pode retirar Brasil do Acordo de Paris se eleito**. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/politica-eleicao-bolsonaro-acordoparis-idBRKCN1LJ1YT-OBRDN>>. Acesso em: 7 out. 2021.

ROCHA, W. M. "Da belle-epoque à bréa-epoque": Relações Internacionais e a governança das mudanças climáticas na Amazônia: um diálogo entre o público, o privado e o internacional no desenvolvimento sustentável dos Estados do Pará e do Amazonas. 2019.

RODRÍGUEZ, Carlos René Muñiz. **Estimativa do potencial sequestro de carbono em áreas de preservação permanente de cursos d'água e topos de morros mediante reflorestamento com espécies nativas no município de São Luiz do Paraitinga**. Orientador: Dra. Maria Paulete Pereira Martins. 2015. 148 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/07.20.21.31/doc/publicacao.pdf?metadatarpository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31>. Acesso em: 11 fev. 2022.

RODRIGUEZ, Carlos. **Estimativa do potencial sequestro de carbono em áreas de preservação permanente de cursos d'água e topos de morros mediante reflorestamento com espécies nativas no município de São Luiz do Paraitinga**. 2015. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/07.20.21.31/doc/publicacao.pdf?metadatarpository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31>>. Acesso em: 30 out, 2021.

SALLES, João Moreira; ESTEVES, Bernardo. **O mundo sem a Amazônia**. Revista Piauí, 17 out. 2019. Acesso em: 7 out. 2021.

SCHNEIDER, M.; ANDRES, C.; TRUJILLO, G.; ALCON, F.; AMURRIO, P.; PEREZ, E.; MILZ, J. "Cocoa and Total System Yields of Organic and Conventional Agroforestry Vs. Monoculture Systems in a Long Term Field Trial in Bolivia". *Experimental Agriculture*, 53(3), 351–374, 2017.

SILVA JÚNIOR, Jorge Henrique e; DANTAS, Lailson Marcos; ARAËJO, Lucas Fernando Silveira de; FARIAS, Izaura Pereira. *As Conferências Internacionais sobre Meio Ambiente e a RIO+20*. In: **Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 7., 2012, Tocantins.

SILVA, A. L. A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da Bacia do Ribeirão da Estiva, SP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.

Silva, C. Lagrangian modeling of atmospheric dispersion of radionuclides and geographical information systems as tools to support emergency planning in area of influence of nuclear complex of Angra dos Reis, RJ, Brazil; Modelagem Lagrangeana da dispersão atmosférica de radionuclídeos e sistemas de informação geográfica como ferramentas de suporte ao planejamento de emergência na área de influência do complexo nuclear de Angra dos Reis, RJ, 2013

SILVA, Robson Willians da Costa; PAULA, Beatriz Lima de. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didática**, [s. l.], p. 42-49, 2009. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

SISTEMAS Agroflorestais e Reflorestamento para Captura de Carbono e Geração de Renda. [S. l.], [ca. 2006]. Disponível em: http://www.uvm.edu/~jfarley/UFSC/literatura/literatura%20em%20portugues/Sistemas%20Agroflorestais_e_Carbono.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

SOUZA, I. C. C. D., OLIVEIRA, J. S. D., & KONO, L. G. (2021). Venda de crédito de carbono a partir de propriedades agrícolas.

TOMSKI, Pamela. 2010. **Energy Security and Climate Change Solutions: US-EU Cooperation on Carbon Capture and Storage Technologies**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mihaela-Carstei/publication/334045258_Energy_and_Climate_Change_Solutions_US-EU_Cooperation_on_Carbon_Capture_and_Storage_Technology/links/5d13ba69299bf1547c821697/Energy-and-Climate-Change-Solutions-US-EU-Cooperation-on-Carbon-Capture-and-Storage-Technology.pdf. Acesso em: 01 out. 2021.

Toniolo J. C., Carneiro C. D. R. 2010. Processos geológicos de fixação do carbono na terra e aquecimento global. *Terræ Didática*, 6(1):31-56

UNFCCC. **The Paris Agreement**. s.d.a. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> - Acesso 31 out. 2021.

VARELLA, Marcelo Dias. Biodiversidade: o Brasil e o quadro internacional. **Revista Brasileira de Política Internacional** [online]. 1997, v. 40, n. 1 [Acessado 11 Fevereiro 2022], pp. 123-141. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-73291997000100005>. Epub 13 Out 2008. ISSN 1983-3121. <https://doi.org/10.1590/S0034-73291997000100005>.

VAZ, P. S. "Sistemas Agroflorestais para Recuperação de Matas Ciliares em Piracicaba, SP". Dissertação Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo: Piracicaba, 2002.

VEZZOLI, C.; KOHTALA, C.; SRINIVASAN, A., AGUINALDO DOS SANTOS, X. L., CHAVES, L. I., CASTILLO, L. A. Sistema produto+ serviço sustentável: fundamentos. 2018.

VIEIRA, Liszt. **O rumo atual e a perda da biodiversidade no Brasil**. [S. l.], 15 set. 2014. Disponível em: <https://oeco.org.br/analises/28642-o-rumo-atual-e-a-perda-da-biodiversidade-no-brasil/#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20um%20dos,constituindo%2020%25%20da%20flora%20global>. Acesso em: 11 fev. 2022.

VITAL, Marcos H. F. **Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO₂ e o surgimento dos mercados de carbono no mundo**. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. 84 p. v. 24. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16043/2/PRArt214085_Aquecimento%20global_copl_P.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

WHAT are the top carbon capture and storage projects around the world? [S. l.], 19 jul. 2019. Disponível em: <https://www.nsenenergybusiness.com/features/top-carbon-capture-storage-projects/#>. Acesso em: 11 fev. 2022.

WOLF, Rhaysa; BARBOSA, Francis Régis Gonçalves Mendes; SILVA, Luciana Ferreira da; PADOVAN, Milton Parron. 093 - **Sistemas agroflorestais: potencial para sequestro de carbono e produção de outros serviços ambientais**. In: Seminário De Agroecologia de Mato Grosso do Sul, 4., 2012, Glória de Dourados. [...]. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68494/1/093-Sistemas-agroflorestais-potencial-para-sequestro-de-carbono.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

ZANIOLO, Lincoln. **O Protocolo de Quioto e o mercado de carbono**. 2008. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Comércio Exterior, Universidade do Vale do Itajaí (Univali), Itajaí, 2008.

ZARBIN, Aldo J. G. e ORTH, Elisa S. Algumas estruturas do carbono elementar e sua importância para o desenvolvimento e soberania do Brasil. **Química Nova** [online]. 2019, v. 42, n. 10 [Acessado 11 Fevereiro 2022] , pp. 1225-1231. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170437>>. Epub 14 Feb 2020. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170437>.