



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE**

**MAGDA MARINHO BRAGA**

**ANÁLISE DO POTENCIAL ECONÔMICO DO ESTOQUE DE CARBONO EM**  
**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO COM MANGUEZAL NO CEARÁ**

**FORTALEZA**  
**2024**

MAGDA MARINHO BRAGA

ANÁLISE DO POTENCIAL ECONÔMICO DO ESTOQUE DE CARBONO EM  
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO COM MANGUEZAL NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B794a Braga, Magda Marinho.

Análise do Potencial Econômico do Estoque de Carbono em Unidades de Conservação com Manguezal no Ceará / Magda Marinho Braga. – 2024.

79 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos.

Coorientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

1. Mudanças Climáticas. 2. Manguezal. 3. Unidade de Conservação. 4. Mercado de Crédito de Carbono. I. Título.

---

CDD 333.7

MAGDA MARINHO BRAGA

ANÁLISE DO POTENCIAL ECONÔMICO DO ESTOQUE DE CARBONO EM  
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO COM MANGUEZAL NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 24/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda Bezerra  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse Mestrado à minha mãe Rita Marinho Braga (*in memoriam*), que sempre sonhou com esse momento mais do que todo mundo.

## AGRADECIMENTOS

Um trabalho como esse não se faz sozinha e por isso, gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela vida, pela saúde e pela oportunidade de fazer esse Mestrado. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço a minha família, minha mãe Rita (*in memoriam*), meu pai Elber, minha irmã Nara e meu marido Francisco que estiveram presentes em todos os momentos, obrigada pelo amor e incentivo que foram essenciais nessa conquista.

Agradeço ao meu “querido” Orientador Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos, por estar comigo desde o início deste trabalho, me apoiando, ensinando, tirando as minhas dúvidas, testando minha paciência e me ajudando a ser uma pessoa e uma pesquisadora melhor. Obrigada por ter aceitado ser meu orientador, sua amizade, tranquilidade, generosidade e bom humor fizeram com que esse Mestrado fosse uma experiência feliz e inesquecível para mim.

Ao meu Coorientador prof. Dr. Marcelo Freire Moro por todo o aprendizado e conhecimento compartilhados comigo. Sua empolgação e amor pela ciência são contagiantes. Agradeço pela oportunidade de participar das coletas de campo no manguezal, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e pela disposição em me ajudar sempre que precisei.

Aos professores de todas as disciplinas que assisti no decorrer desses dois anos. O conhecimento que adquiri com elas contribuiu significativamente para a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos pelos momentos de alegria, felicidade, raiva e desespero compartilhados neste período. Em especial à Mônica Freitas que está comigo desde a época em que entrar no Mestrado ainda era um sonho, e juntas conseguimos passar no Prodepa, seus conselhos durante os momentos de dúvida e preocupações foram essenciais. Assim como, à Wersângela Duaví por ouvir meus desabaços e pelas palavras de apoio e sabedoria sempre que precisei. Também agradeço ao Tiago Bessa, à Janelane Coelho e à Eliê Fedel pelas dicas super úteis e pelas conversas que tornaram leves as dificuldades encontradas pelo caminho.

A toda a equipe dos meus dois laboratórios, o Labocart (Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social) e o Bioveg (Laboratório de Biogeografia e Estudos da Vegetação) que contribuíram para a realização dessa pesquisa. Em

especial ao Mário Sérgio, que participou de todas as coletas de campo, e à Taynara Rabelo e à Maria Lígia que tiveram um papel importante no início desta etapa.

Aos meus colegas da turma de 2022.1 que dividiram comigo as primeiras disciplinas e junto com elas os primeiros momentos de aflições e alegrias.

Agradeço à Sema e à Semace por me liberar nas ocasiões em que precisei durante o Mestrado.

Aos professores membros da banca examinadora Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles e Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda Bezerra pela disposição em participar e pelas valiosas contribuições que farão este trabalho ainda melhor.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a construção dessa Dissertação.

E por fim, agradeço a mim mesma, que tive coragem para ir atrás do meu sonho e força para alcançá-lo!

“O homem é parte da natureza e a sua guerra contra a natureza é, inevitavelmente, uma guerra contra si mesmo.” (Rachel Carson)

## RESUMO

A crise climática é um dos problemas ambientais mais desafiadores já enfrentados pela humanidade, requerendo estudos e estratégias voltados a compreensão do fenômeno e mitigação dos seus efeitos. Nesse sentido, a utilização de áreas verdes legalmente protegidas na captura e armazenamento de carbono atmosférico, é uma estratégia eficiente de minimizar os efeitos adversos do aquecimento global, contribuindo assim, no combate às mudanças climáticas. A presente pesquisa tem por objetivo calcular a quantidade de carbono armazenado na vegetação de mangue presente em Unidades de Conservação (UCs) da zona costeira do estado do Ceará e o seu potencial econômico no Mercado de Crédito de Carbono. Para tal, foi realizado o inventário da biomassa na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti. Em seguida, foi calculado o estoque de carbono dessa biomassa e o seu equivalente em CO<sub>2</sub> por hectare de manguezal. Com esses dados primários foi possível estimar o estoque de carbono e CO<sub>2</sub> presentes nas demais UCs com manguezal no estado do Ceará. Por fim, realizou-se a análise econômica deste estoque, utilizando a média do preço do crédito de carbono (que equivale a 1 t/CO<sub>2</sub>) negociado na bolsa de valores. Os resultados indicaram que a vegetação de manguezal, presente nas UCs da zona costeira do Ceará, armazena 189.888,54 t de carbono e 696.890,94 t de CO<sub>2</sub> que valem mais de sessenta e oito milhões de reais (R\$ 68.600.000,00) somente no mercado voluntário. Isso demonstra que o manguezal apresenta um grande potencial para estocar carbono e um valor pecuniário significativo, reforçando a sua importância ecológica, mas também econômica, que se for bem aproveitada pode trazer benefícios para a conservação e recuperação destas relevantes regiões.

**Palavras-Chave:** mudanças climáticas; manguezal; unidade de conservação; mercado de crédito de carbono.

## ABSTRACT

The climate crisis is one of the most challenging environmental problems ever faced by humanity, requiring studies and strategies aimed at understanding the phenomenon and mitigating its effects. In this sense, the use of legally protected green areas to capture and store atmospheric carbon is an efficient strategy to minimize the adverse effects of global warming, thus contributing to the fight against climate change. This research aims to calculate the amount of carbon stored in mangrove vegetation present in Conservation Units (CUs) in the coastal zone of the state of Ceará and its economic potential in the Carbon Credit Market. To this end, an inventory of the biomass in the Environmental Protection Area (APA) of the Pacoti River was carried out. Then, the carbon stock of this biomass and its equivalent in CO<sub>2</sub> per hectare of mangrove were calculated. With this primary data, it was possible to estimate the carbon and CO<sub>2</sub> stock present in the other CUs with mangroves in the state of Ceará. Finally, an economic analysis of this stock was performed using the average price of carbon credits (equivalent to 1 t/CO<sub>2</sub>) traded on the stock exchange. The results indicated that the mangrove vegetation, present in the conservation units of the coastal zone of Ceará, stores 189.888,54 t of carbon and 696.890,94 t of CO<sub>2</sub>, which are worth more than sixty-eight million reais (R\$ 68.600.000,00) on the voluntary market alone. This demonstrates that the mangrove has great potential for storing carbon and a significant pecuniary value, reinforcing its ecological and economic importance, which, if well used, can bring benefits to the conservation and recovery of these important regions.

**Keywords:** climate changes; mangrove; conservation unit; carbon credit market.

## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                              |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | - Principais encontros internacionais sobre o clima.....                                                     | 21 |
| Figura 2  | - UCs com manguezais no Brasil .....                                                                         | 28 |
| Figura 3  | - Funcionamento de um Sistema de Comércio de Emissões (ETS).....                                             | 33 |
| Figura 4  | - Evolução dos créditos de carbono no mercado voluntário no Brasil ..                                        | 35 |
| Figura 5  | - Mapa de localização das parcelas ao longo do estuário do rio Pacoti                                        | 40 |
| Figura 6  | - Mapa de localização das parcelas ao longo do estuário do rio Pacoti                                        | 43 |
| Figura 7  | - Imagens da coleta de dados primários para o inventário de biomassa<br>realizado na APA do Rio Pacoti ..... | 44 |
| Figura 8  | - Etapas para obtenção do total de carbono a partir da biomassa .....                                        | 46 |
| Figura 9  | - Imagens do estuário do rio Pacoti.....                                                                     | 49 |
| Figura 10 | - <i>Rhizophora mangle</i> no manguezal da APA do Rio Pacoti .....                                           | 50 |
| Figura 11 | - Localização das UCs analisadas na pesquisa .....                                                           | 55 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|           |                                                                           |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 | - Quantidade de carbono nas espécies de mangue da APA do Rio Pacoti ..... | 51 |
| Gráfico 2 | - Média do preço do crédito de carbono de 2020 a 2023 (CBIO) .....        | 52 |
| Gráfico 3 | - Preço do crédito de carbono em fevereiro de 2023 (CBIO) .....           | 53 |
| Gráfico 4 | - Área de manguezal em relação à área total de cada UC analisada .        | 56 |
| Gráfico 5 | - Estoque de carbono e CO <sub>2</sub> em cada UC analisada .....         | 58 |
| Gráfico 6 | - Valor do carbono presente em cada UC no Mercado Voluntário .....        | 62 |
| Gráfico 7 | - Valor do carbono presente em cada UC no Mercado Regulado Europeu.....   | 62 |

## LISTA DE QUADROS

|          |                                                                                      |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 | - Espécies de mangue encontradas no Brasil .....                                     | 24 |
| Quadro 2 | - Serviços ecossistêmicos do manguezal .....                                         | 26 |
| Quadro 3 | - Unidades de Conservação com ocorrência de manguezal no Ceará<br>.....              | 29 |
| Quadro 4 | - Equações alométricas utilizadas para cada espécie identificada em<br>campo .....   | 45 |
| Quadro 5 | - Quantidade de carbono e CO <sub>2</sub> no manguezal da APA do Rio Pacoti<br>..... | 52 |
| Quadro 6 | - Valor do carbono armazenado no manguezal da APA do Rio Pacoti<br>.....             | 53 |
| Quadro 7 | - Valor do CO <sub>2</sub> praticado nos Mercados Voluntário e Regulado .....        | 61 |

## LISTA DE TABELAS

|          |                                                                                                          |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | - Quantidade de Biomassa (kg), Carbono (t) e CO <sub>2</sub> (t) das espécies de mangue analisadas ..... | 51 |
| Tabela 2 | - Área total e de manguezal de cada UC analisada .....                                                   | 56 |
| Tabela 3 | - Quantidade de carbono e CO <sub>2</sub> das UCs com manguezal no Ceará .                               | 58 |
| Tabela 4 | - Valor monetário do estoque de carbono de cada UC analisada .....                                       | 61 |

## SUMÁRIO

|            |                                                                                                                             |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                                                           | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b>                                                                                                            | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Objetivo Geral</b>                                                                                                       | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Objetivos Específicos</b>                                                                                                | <b>16</b> |
| <b>3</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>                                                                                                  | <b>17</b> |
| <b>3.1</b> | <b>O Aumento das Emissões de GEE no Antropoceno e a Questão Climática</b>                                                   | <b>17</b> |
| <b>3.2</b> | <b>O Manguezal e seus Serviços Ecossistêmicos</b>                                                                           | <b>22</b> |
| <b>3.3</b> | <b>O Mercado de Crédito de Carbono</b>                                                                                      | <b>30</b> |
| <b>4</b>   | <b>METODOLOGIA</b>                                                                                                          | <b>39</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Caracterização da APA do Rio Pacoti</b>                                                                                  | <b>39</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Etapas do Estudo</b>                                                                                                     | <b>40</b> |
| <b>5</b>   | <b>ESTOQUE DE CARBONO E ESTIMATIVA DO POTENCIAL ECONÔMICO DO MANGUEZAL DA APA DO RIO PACOTI</b>                             | <b>49</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Quantidade de Biomassa, Carbono e CO<sub>2</sub> armazenados no manguezal da APA do Rio Pacoti</b>                       | <b>49</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Valor do estoque de carbono no Mercado de Crédito de Carbono</b>                                                         | <b>52</b> |
| <b>6</b>   | <b>QUANTIDADE DE CARBONO E CO<sub>2</sub> ARMAZENADOS NO MANGUEZAL DAS UCS DA ZONA COSTEIRA DO CEARÁ</b>                    | <b>54</b> |
| <b>7</b>   | <b>VALOR DO ESTOQUE DE CARBONO DO MANGUEZAL PRESENTE NAS UCS DA ZONA COSTEIRA DO CEARÁ NO MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO</b> | <b>61</b> |
| <b>8</b>   | <b>CONCLUSÃO</b>                                                                                                            | <b>66</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                          | <b>69</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A prioridade do desenvolvimento econômico em detrimento de uma relação mais sustentável com os sistemas naturais está na raiz da atual crise ambiental (Oliveira, 2006). A utilização irracional dos recursos naturais, de modo mais rápido do que a sua capacidade de recuperação, aliado ao aumento da população e consequente aumento da demanda por insumos, estão degradando o meio ambiente de forma nunca antes vista (Blank, 2015). Contudo, dentre todas as consequências advindas desses problemas, o aquecimento global é uma das que mais preocupa os especialistas, já que seus efeitos são mundiais e podem definir os rumos da vida no planeta.

A questão das mudanças climáticas afeta todos os seres vivos, inclusive nós seres humanos. Pesquisas realizadas comprovam que o aquecimento global e o acúmulo de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, se não forem controlados nos próximos anos, poderão resultar em desastres de ordem ambiental, social e econômica. Com isso, reduzir e mitigar as emissões desses GEE torna-se urgente e necessário para combater o problema que a mudança do clima se tornou.

Nesse sentido, a utilização de áreas verdes legalmente protegidas, a exemplo das Unidades de Conservação (UCs), como sumidouros de carbono atmosférico, é uma estratégia eficiente de minimizar os efeitos adversos do aquecimento global, especialmente se essas áreas forem compostas por manguezais, já que eles possuem um potencial de armazenamento de carbono cerca de 4 vezes maior do que se comparado a outros biomas brasileiros (Roval *et al.*, 2022). Cerca de 10% do carbono armazenado no mundo estão nesse ecossistema, e essa porcentagem sobe para 25% quando se fala sobre os estoques de carbono nos ambientes costeiros como um todo (Dinilhuda *et al.*, 2020).

Entretanto, todo esse potencial nem sempre é utilizado pelos governos e instituições públicas como estratégia de mitigação das mudanças climáticas e também como fonte de renda por meio da negociação de créditos de carbono, fazendo com que essas áreas muitas vezes, acabem tendo sua importância subestimada. Dessa forma, a utilização dos manguezais localizados em UCs como áreas armazenadoras de carbono é um importante meio de, não apenas proteger a biodiversidade local, mas também minimizar os efeitos do aquecimento global e agregar valor econômico a essas relevantes regiões. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo

calcular a quantidade de carbono armazenado na vegetação de manguezal das UCs da zona costeira do Ceará, e o potencial econômico desse carbono por meio do mercado de crédito de carbono.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o estoque de carbono das UCs com manguezal da zona costeira do Ceará e o seu potencial econômico por meio do mercado de créditos de carbono. Para tal, realizou-se o inventário e a avaliação econômica do manguezal na APA do Rio Pacoti e em seguida os resultados foram extrapolados para as demais UCs com manguezais no CE.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Documentar a composição e estrutura da vegetação de manguezal da APA do Rio Pacoti, e estimar a quantidade de biomassa e carbono das espécies arbóreas identificadas;
- Calcular o estoque de carbono e CO<sub>2</sub> da vegetação do manguezal presente nas UCs da zona costeira;
- Demonstrar, por meio do mercado de créditos de carbono, o valor pecuniário do carbono armazenado no manguezal das UCs da zona costeira do Ceará.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O Aumento das Emissões de GEE no Antropoceno e a Questão Climática

A Terra ao longo de sua existência, passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, que se mantiveram em equilíbrio (Blank, 2015). Contudo, a partir da Revolução Industrial, por volta de 1750, com a utilização mais abrangente de combustíveis fósseis, a concentração de carbono (C) na atmosfera cresceu, tendo grande parte desse aumento ocorrido nos últimos 50 anos (Marengo, 2007).

O carbono emitido pelas atividades industriais é componente de alguns dos principais Gases de Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>), que se acumulam na atmosfera, elevando a temperatura do planeta, e causando o que hoje chamamos de aquecimento global (Rodrigues, 2010). Desses, o CO<sub>2</sub> é o principal gás causador do efeito estufa e representa em quantidade, mais da metade de todos os GEE que estão na atmosfera. Ele permeia os quatro principais estoques de carbono do planeta: a atmosfera, os oceanos, os depósitos de combustível fóssil e a biomassa (Boina, 2008). E é justamente esse aumento de GEE, que os estudos recentes associam com a mudança do clima em curso.

Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), está claro que o aumento na concentração desses GEE na atmosfera se deve à atividade humana, e que a consequente elevação de temperatura ocorrida a partir de 1970 foi a mais rápida para um período de 50 anos, se considerarmos os últimos 2000 anos (IPCC, 2023). A última década (2014-2023) foi a mais quente desde o início dos registros, e 2023 bateu recorde de temperatura que chegou a 1,1 °C acima dos níveis registrados desde 1850 (IPCC, 2023; Alves, 2024). Essa elevação na temperatura acompanha o aumento da média global da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que em 2022 foi de 417,09 ppm representando um crescimento de 150% em relação aos níveis pré-industriais, ou seja, antes de 1750 (WMO, 2023).

No Brasil o principal vetor dessas emissões está ligado ao setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta, mais especificamente ao desmatamento. Esse setor foi responsável por cerca de 48% das emissões brutas do país em 2022, de acordo com o SEEG (2024). E para piorar, muitas vezes essas áreas desmatadas são convertidas para outros usos como a agropecuária que compõem o 2º setor que mais

emite GEE no país, com 26% das emissões realizadas em 2022. Considerando as emissões globais, o Brasil ocupa o 5º lugar entre os países que mais emitem GEE, com cerca de 2,16 bilhões de toneladas de CO<sub>2e</sub> emitidas só em 2020, ficando atrás apenas de China, EUA, Rússia e Índia (Potenza *et al.*, 2021; SEEG, 2024).

Relatórios anteriores do IPCC já vinham mostrando que as mudanças climáticas estão bem mais aceleradas do que se imaginava e que suas consequências estão presentes há um bom tempo (Vale; Alves; Lorini, 2009). Muitas delas são observadas com mais intensidade atualmente, como o derretimento de geleiras, o aumento do nível do mar, enchentes, ondas de calor, furacões e secas (Marengo, 2007), além de outras menos “visíveis” como o aquecimento e acidificação dos oceanos (IPCC, 2021). Eventos extremos frequentemente, se tornam notícia e ocasionam mortes, destruição e perdas econômicas que são medidas na casa dos trilhões de dólares (PNUMA, 2021).

Em 2017 mais de mil pessoas morreram e 45 milhões ficaram desabrigadas, sem fonte de renda e serviços quando cidades do sudeste asiático foram atingidas por inundações severas. Na Califórnia, as regiões passam por incêndios florestais, e a Cidade do Cabo sofre com secas extremas desde 2015 (Bai *et al.*, 2018). Projeções indicam que em 2030, milhões de pessoas e cerca de US\$ 4 trilhões em ativos estarão em risco por tais eventos climáticos. Segundo o levantamento da Plataforma Unificada de Reporte CDP-ICLEI, em 2020, dos 293 municípios da América Latina e Caribe que reportaram ações climáticas, 274 cidades informaram pelo menos uma ameaça relacionada às mudanças do clima, totalizando 1.153 riscos divulgados (CDP, 2021).

No Brasil, segundo a Defesa Civil Nacional (Brasil, 2023), entre os anos de 2010 e 2022 mais de 150 milhões de pessoas foram afetadas por algum desastre natural relacionado aos efeitos das mudanças climáticas. Nesse contexto, o semiárido nordestino se enquadra como uma das regiões mais afetada pelos impactos das alterações no clima principalmente por suas condições edafoclimáticas, os baixos índices de desenvolvimento econômico e social e a agricultura, que na maioria dos casos, possui um baixo grau de tecnificação e uma elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais. As alterações no clima da região podem diminuir os níveis de água, trazer problemas na já complicada agricultura de subsistência, comprometer a saúde da população e ocasionar perdas na biodiversidade (Marengo, 2007).

A situação é crítica e pede urgência na adoção de medidas de redução das emissões de GEE, pois há 50% de chance de que nas próximas duas décadas o aquecimento do planeta ultrapasse 1,5 °C. E a não ser que ações sejam tomadas visando a rápida redução dessas emissões, limitar o aquecimento em 1,5 °C ou 2°C até o fim do século já não será mais possível (PNUMA, 2021).

Nessa perspectiva, há alguns anos a comunidade internacional começou a se debruçar sobre o problema relacionado à mudança do clima, principalmente após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio em 1992. A partir de então, diversas iniciativas e acordos foram sendo realizados com o objetivo de conter o aquecimento global. Dentre eles, um dos mais importantes foi o Protocolo de Quioto, criado em 1997, e que entrou em vigor em 2005. Ele foi o primeiro instrumento a estabelecer metas objetivas de redução de emissão de GEE, chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (*National Determined Contribution – NDC*), que na época tinham como foco principal a redução das emissões dos países desenvolvidos (Brasil, 2004; Duarte, 2022).

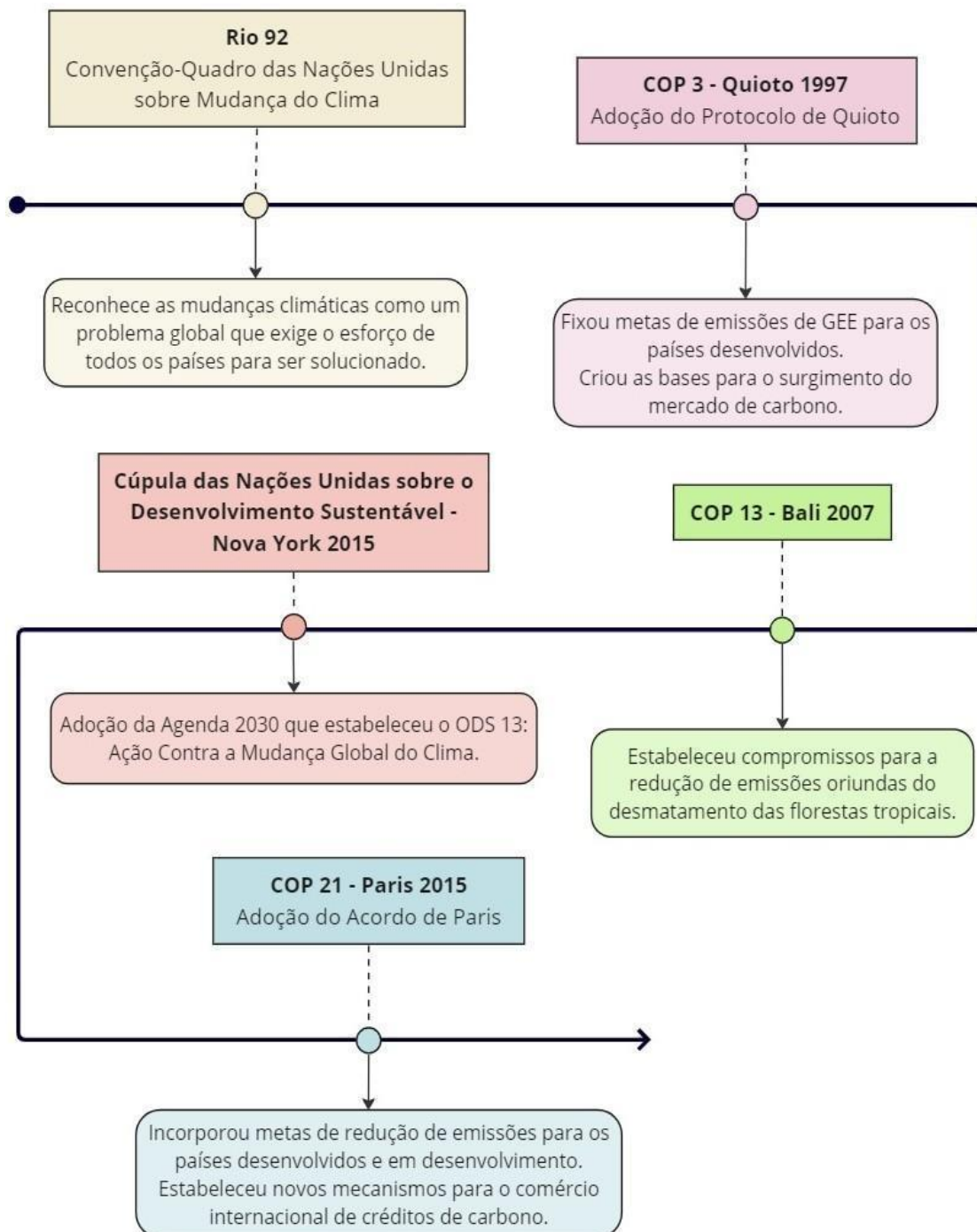
Outro marco importante é o Acordo de Paris, firmado durante a Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (COP 21), realizada em 2015 e assinado pelos 195 países participantes que se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE. Ele teve como objetivo fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, limitando o aquecimento global em 1,5 °C, de forma a não ultrapassar os 2 °C até 2100. E se diferenciou do Protocolo de Quioto, porque incorporou metas de redução de emissões tanto para os países desenvolvidos como para os em desenvolvimento, definidas nacionalmente conforme as prioridades e possibilidades de cada um (Estevo; Rodrigues, 2017).

O Brasil ratificou o Acordo de Paris em 2016 e na época se comprometeu em sua NDC a reduzir suas emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030 em relação aos níveis de 2005. Em 2021 essas metas foram revistas ampliando de 43% para 50% a redução das emissões até 2030 e o alcance da neutralidade climática até 2050. Já em 2023 o país atualizou novamente sua NDC se comprometendo a reduzir as emissões em 48% até 2025 e em 53% até 2030, mantendo o objetivo de longo prazo de alcançar a neutralidade climática até 2050. O estado do Ceará também propôs metas próprias de redução de emissões, por meio das campanhas “Race to Zero” e o “Under2 Coalition”, ambas oficializadas em 2021 e ratificadas no ano de 2023 por meio

do Decreto nº 35.503, de 2023, no qual o estado se compromete, dentre outras ações, a promover a neutralização de suas emissões líquidas até 2050 (Ceará, 2023).

Essa relevância das questões climáticas também pode ser vista na Agenda 2030, documento elaborado em 2015 durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, e que engloba os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que têm como um dos seus propósitos traçar um caminho mais sustentável para o mundo (Brasil, 2017). Dentre esses 17 objetivos, existe um específico para a questão do clima, que é o ODS 13: Ação Contra a Mudança Global do Clima. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos (PNUD, 2015). Na Figura 1 está a linha do tempo de alguns dos principais encontros internacionais sobre o clima realizados a partir de 1992, quando foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Duarte, 2022).

Figura 1 - Principais encontros internacionais sobre o clima.



Fonte: Elaborada pela autora.

Atualmente, observa-se que as questões envolvendo adaptação e mitigação estão presentes na agenda de governos e instituições ao redor do mundo, e conforme a consciência sobre a mudança do clima aumenta, a pressão pela redução ou pela compensação das emissões de GEE torna-se cada vez maior (Rodriguez, 2015). De acordo com estudos realizados pelo IPCC, em todos os cenários em que o aumento da temperatura do planeta se mantém dentro dos 1,5 °C, estabelecido como

meta no Acordo de Paris, a remoção de carbono está presente, e tem papel fundamental para que isso se concretize (IPCC, 2023).

Nesse sentido, como alternativa de mitigação e redução da concentração de GEE da atmosfera, tanto os países desenvolvidos quanto os emergentes concordam que as florestas têm papel fundamental na redução do aumento de temperatura do planeta, com enorme relevância do ponto de vista econômico, social e ambiental e por essa razão, precisam ser restauradas e preservadas (Higa *et al.*, 2014).

### **3.2 O Manguezal e seus Serviços Ecossistêmicos**

O conceito de “sequestro de carbono” foi estabelecido pelo Protocolo de Quioto em 1997, com a finalidade de conter e reverter o acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, visando a diminuição do efeito estufa (Boina, 2008). Desde então, a utilização de áreas verdes conservadas para a captação de GEE tornou-se uma forma difundida e eficiente de compensar as emissões provenientes das atividades humanas. Já que a vegetação arbórea possui a capacidade de armazenar carbono durante seu crescimento, capturando o CO<sub>2</sub> da atmosfera e liberando o oxigênio (O<sub>2</sub>) por meio da fotossíntese (Lana, 2017).

As florestas são consideradas ótimos sumidouros de carbono, pois armazenam grandes quantidade na vegetação e no solo. As árvores em especial, além de captarem o CO<sub>2</sub> atmosférico, também são os seres vivos com a maior capacidade de armazenar carbono em sua biomassa devido a seu porte avantajado, à sua longevidade e à possibilidade de crescer em maciços (Boina, 2008). Segundo dados da FAO (2020) estima-se que as florestas do mundo acumulem cerca de 291 Gt de carbono apenas em sua biomassa, que equivale a 44% de todo o carbono estocado nessas regiões. Se formos considerar, somado a esse valor, o carbono armazenado na necromassa, serrapilheira e no solo, o volume de carbono nas florestas é maior do que a quantidade presente na atmosfera (Solomon *et al.*, 2007). Por essa razão, a proteção e conservação das florestas tem sido ao longo das últimas décadas reconhecida como uma ação fundamental na mitigação das mudanças climáticas (Santos; Beltrão; Trindade, 2019).

Ao contrário do que se pensava, pesquisas mostram que, para algumas espécies, quanto maior for o tamanho e a idade de uma árvore mais ela captura CO<sub>2</sub>

para continuar seu crescimento, atuando não apenas como reservatórios, mas também como fixadoras de carbono (Stephenson *et al.*, 2014). Dessa forma, áreas com maior preservação da vegetação, e com o estágio sucessional mais avançado podem apresentar maiores produções de biomassa em relação a áreas menos preservadas e em estágios sucessionais iniciais (Lana, 2017). Nesse sentido, as regiões florestais que são legalmente protegidas, como as UCs, tendem a ter um potencial maior como áreas fixadoras de carbono atmosférico, já que possuem o uso restrito e regulamentado, permitindo a conservação e o desenvolvimento dos ecossistemas e da diversidade biológica que as compõem.

No Brasil, a primeira área protegida a ser legalmente instituída foi o Parque Nacional de Itatiaia no Rio de Janeiro, criado em 1937 com o objetivo de estimular a pesquisa científica e fornecer lazer para a população. Porém, foi somente a partir da década de 60 que houve um estímulo maior a criação dessas áreas, especialmente em outras regiões do país. Dessa forma, ao longo da segunda metade do século XX normativos legais, como o Código Florestal de 1965, foram ampliando a quantidade e a tipologia dessas regiões (Diegues, 2001), até que em 2000 foi publicada a Lei 9.985/2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) (Brasil, 2000). Com o SNUC surge também o termo “Unidade de Conservação”, que tem sua definição posta no artigo 2º, inciso I, como sendo:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (Brasil, 2000).

Segundo dados do Cadastro Estadual de Unidades de Conservação (CEUC) o Ceará possui 118 UCs que englobam uma área total de 1.292.387,51 ha e estão localizadas nas mais diversas regiões (Ceará, 2024). Essas UCs ajudam a conservar os principais representantes da biodiversidade do estado e são compostas pelos mais variados ecossistemas, dentre eles está o ecossistema manguezal, objeto de estudo desta pesquisa.

De acordo com a literatura, o manguezal é considerado um ecossistema de transição encontrado nas regiões costeiras, que se localiza entre os ambientes terrestre e marinho, e é caracterizado por uma vegetação típica lenhosa associada a outros elementos de fauna e flora, ambos adaptados às condições ambientais muito específicas e limitantes como: elevada salinidade, substrato inconsolidado, pouco

oxigenado e sob influência direta das marés (Estrada *et al.*, 2014). Já segundo o código florestal (Lei nº 12.651/2012) o manguezal é definido da seguinte forma, no inciso XIII do artigo 3º (Brasil, 2012):

XIII - manguezal: Ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina (Brasil, 2012).

Como observado, há diferentes definições para o manguezal, contudo todas seguem a mesma linha descritiva, e apesar de serem definições bem claras ainda é comum que haja confusão no uso das palavras “mangue” e “manguezal” que algumas vezes são utilizadas como sinônimos, quando na verdade não são. Pois manguezal é o ecossistema com todos os seus elementos, enquanto que a palavra mangue se refere ao conjunto das diferentes espécies de plantas que formam o ecossistema manguezal (Castello; Krug, 2017).

Nesse sentido, nos manguezais do Brasil são encontrados três gêneros de plantas, que são compostos por seis espécies chamadas “típicas de mangue”, além de algumas espécies ditas de “transição” que ocupam áreas mais altas dificilmente atingidas pelas marés. Algumas dessas espécies podem ser observadas no Quadro 1 (ICMBIO, 2018). Já no Ceará, as principais espécies típicas de mangue encontradas são: a *Rhizophora mangle*, a *Avicennia schaueriana*, a *Avicennia germinans* e a *Laguncularia racemosa*, além de algumas consideradas de transição, como a *Conocarpus erectus* (Moro *et al.*, 2015).

Quadro 1 - Espécies de mangue encontradas no Brasil.

| Gênero              | Espécie                          | Nome Popular        |
|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| <i>Rhizophora</i>   | <i>Rhizophora mangle</i>         | Mangue-vermelho     |
|                     | <i>Rhizophora racemosa</i>       |                     |
|                     | <i>Rhizophora harrisonii</i>     |                     |
| <i>Laguncularia</i> | <i>Laguncularia racemosa</i>     | Mangue-branco       |
| <i>Avicennia</i>    | <i>Avicennia schaueriana</i>     | Mangue-preto        |
|                     | <i>Avicennia germinans</i>       |                     |
| <i>Conocarpus</i>   | <i>Conocarpus erectus</i>        | Mangue-de-botão     |
| <i>Hibiscus</i>     | <i>Talipariti pernambucensis</i> | Algodoeiro-da-praia |

Fonte: ICMBIO (2018).

Os manguezais ocorrem em todo o mundo, e se desenvolvem principalmente entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, aproximadamente 96% das florestas de mangue do mundo estão nessa região, sendo mais frequentes e exuberantes próximos a linha do Equador onde ocupam grandes extensões (Pinto *et al.*, 2017). Cerca de 147 milhões de hectares das áreas costeiras tropicais e subtropicais do mundo são ocupadas por florestas de mangue, sendo a Ásia o continente com a maior quantidade de manguezais, seguido pela África e América do Sul (Leal; Spalding, 2024; Jia *et al.*, 2023). O Brasil é o segundo país em área de manguezal do mundo com 14.000 km<sup>2</sup>, cerca de 9,3% de todos os manguezais do planeta, atrás apenas da Indonésia que possui pouco menos que 30.000 km<sup>2</sup> (ICMBIO, 2018; Rovai *et al.*, 2022; Jia *et al.*, 2023). Aqui ele está presente em quase todo o litoral, indo do estuário do rio Oiapoque, no Amapá, até Laguna, em Santa Catarina (Thiers; Meireles; Santos, 2016), sendo o Rio Grande do Sul o único estado do país que não possui manguezal.

Já em relação ao tamanho desses manguezais, o estado do Maranhão é o que possui as maiores áreas contínuas de manguezais do Brasil, seguido por Pará e Amapá, que juntos respondem por 80% das áreas de manguezal do país (Rovai *et al.*, 2022). Essa zona de manguezal localizada na região norte do Brasil forma a maior porção contínua do ecossistema sob proteção legal em todo o mundo (ICMBIO, 2018). No Ceará, os manguezais ocupam uma área de 441,08 km<sup>2</sup> equivalente a 24,97% da zona costeira do Estado. Eles se localizam em 15 estuários a saber: rio Jaguaribe, rio Pirangi, rio Choró, rio Malcozinhado, rio Pacoti, rio Cocó, rio Ceará, rio São Gonçalo, rio Curu, rio Mundaú, rio Aracatiaçu, rio Aracatimirim, rio Acaraú, rio Coreaú e rio Timonha (Ceará, 2021).

Os manguezais são um recurso ecológico e econômico valioso, pois fornecem diversos serviços essenciais para o homem e a natureza, como alimento, combustível, locais para reprodução e forrageamento de peixes, mamíferos, crustáceos e demais espécies da fauna semiterrestre e aquática, também são áreas que atuam como depósito para sedimentos reduzindo a erosão e protegendo a costa, além de serem relevantes depósitos de carbono que retiram da atmosfera (Alongi, 2012). Esses serviços ecossistêmicos trazem benefícios ambientais, sociais e econômicos (Dinilhuda *et al.*, 2020) e alguns deles estão listados no Quadro 2 (ICMBIO, 2018):

Quadro 2 - Serviços ecossistêmicos do manguezal.

| <b>Categoria</b> | <b>Serviço</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Provisão         | Produção de alimentos, fornecimento de matéria prima, recursos genéticos, compostos bioquímicos, etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Categoria</b> | <b>Serviço</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Regulação        | Regulação climática e microclimática, hídrica, estoque/remoção de CO <sub>2</sub> da atmosfera, controle de erosão e retenção de sedimentos, retenção de partículas atmosféricas, controle biológico, polinização, infiltração e escoamento pluvial, recarga de aquíferos, prevenção de proliferação de doenças, estabilidade geotécnica, proteção contra vento, anteparo ao avanço da maré/estabilidade da linha de costa, fixação de dunas, etc. |
| Suporte          | Suprimento hídrico, formação de solo, ciclagem de nutrientes, dispersão de sementes, conectividade de paisagem, manutenção da biodiversidade, exportação de biomassa, etc.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Cultural         | Recreação, ecoturismo, valor educacional, valores espirituais e religiosos, beleza cênica, conservação da paisagem, etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Fonte: ICMBIO (2018).

Esses serviços são relevantes tanto do ponto de vista ecológico como também social e econômico, o que demonstra a importância da preservação e restauração dessas áreas. Dentre eles, um dos mais destacados atualmente é a sua capacidade de sequestro e estoque de carbono, sendo o estoque de carbono por área no manguezal, consideravelmente maior do que o encontrado em outras florestas terrestres (ICMBIO, 2018). Isso se deve a sua grande produtividade, que tem relação com a captação de CO<sub>2</sub>, e a pouca oxigenação do solo, o que reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica e mantém o carbono por mais tempo no ecossistema, e evitando assim seu retorno para a atmosfera, e contribuindo na mitigação das emissões de GEE e no combate às mudanças climáticas (Friess *et al.*, 2020; Rovai *et al.*, 2015).

Esse potencial de sequestro e armazenamento de carbono por ecossistemas marinhos e estuarinos é tão relevante que ganhou uma nomenclatura própria chamado “carbono azul”. Carbono azul é o termo utilizado para designar o carbono sequestrado, armazenado e liberado pelos ecossistemas costeiros e oceânicos, dentre eles o manguezal, que é um dos que possui maior capacidade de sequestro e estoque de carbono, sendo capaz de retirar da atmosfera cerca de 22,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (Santos; Beltrão; Trindade, 2019).

No manguezal, o carbono é adquirido pelas plantas de mangue, por algas presentes sobre raízes e no solo e por fontes adjacentes, tais como a água do rio e do mar que banham essas áreas, no entanto, o maior fluxo de carbono se dá entre as árvores e a atmosfera. (Alongi, 2009, 2012). Nesse sentido, o carbono total armazenado nos manguezais pode ser calculado somando-se o carbono acima do solo (aboveground carbon - AGC), o carbono abaixo do solo (belowground carbon - BGC) e o carbono orgânico presente no solo (soil organic carbon – SOC) (Maulana; Auliah; Onrizal, 2021).

Em termos globais os maiores estoques de carbono em manguezais são encontrados no Sudeste Asiático, e embora ocupem somente 0,5% das regiões costeiras globais, os manguezais são responsáveis por captar de 10 a 15% de todo o carbono costeiro sequestrado, tornando sua conservação e restauração uma excelente forma de mitigar as emissões antrópicas de GEE (Alongi, 2014; Kauffman *et al.*, 2020). Por isso, proteger e conservar esse ecossistema, assim como outras áreas inundáveis, é uma excelente estratégia para sequestrar carbono e combater os danos causados pela mudança do clima (Pinto *et al.*, 2017).

Segundo Rovai *et al.* (2022), o Brasil possui em média 8,5% dos estoques de carbono orgânicos de manguezais do mundo, o que equivale a 0,32 Gt C, ou seja 320 milhões de toneladas de carbono. Se considerarmos apenas o que está na vegetação acima do solo, temos 50 milhões de toneladas de carbono armazenado nos manguezais. Já no que diz respeito ao estoque de carbono por área, os números também são significativos, pois quando somado o carbono presente na biomassa e no solo, os manguezais armazenam 341 toneladas de carbono por hectare, um número bem maior do que o encontrado nos outros biomas brasileiros, e de 15% a 30% maior que as estimativas globais mais recentes. Essa capacidade de guardar grandes quantidades de carbono no solo por um longo período de tempo, torna esse ecossistema um importante sumidouro de CO<sub>2</sub>, contribuindo na redução da concentração atmosférica de GEE (Atwood *et al.*, 2017).

Em relação ao potencial para sequestro de carbono, a vegetação de manguezal no Brasil capta 2,44 milhões de toneladas de carbono por ano, que é um valor acima das estimativas mundiais e que equivale a 10% de todo o carbono sequestrado por vegetação de manguezal no mundo. Já de acordo com Rovai *et al.* (2022), no Ceará o estoque de carbono presente nos manguezais é estimado em 1,14 milhões de toneladas, o que equivale a 0,46% dos estoques totais do país.

Como visto, estudos já demonstraram a importância dos manguezais brasileiros no combate às mudanças climáticas, na redução das emissões nacionais de GEE e no alcance das metas estabelecidas pelo Brasil no Acordo de Paris, sendo fundamental ações que protejam e promovam a restauração dessas áreas (Rovai *et al.*, 2022). Até 2018, o Brasil possuía 120 UCs que continham manguezais, (55 federais, 46 estaduais e 19 municipais), das quais 17% estavam na categoria de proteção integral e 83% de uso sustentável. Isso representa uma área de 1.211.444 hectares, que equivale a 87% de toda a área de manguezal presente no país. Essas UCs ajudam a reforçar a proteção legal que essas regiões já possuem por serem consideradas Áreas de Preservação Permanentes (APPs) segundo o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). A Figura 2 que mostra as UCs do Brasil com manguezais (ICMBIO, 2018):

Figura 2 - UCs com manguezais no Brasil.



Fonte: ICMBIO (2018).

No Ceará, segundo dados fornecidos por Ceará (2020) e pelo ICMBio (2018) os manguezais estão presentes em 10 UCs, sendo 3 federais, 6 estaduais e 1

municipal, que protegem uma área total de 356.061,93 hectares da zona costeira. Já de acordo com o mapeamento do litoral do estado realizado em 2021 durante a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Ceará (ZEEC), foram identificadas 9 UCs que possuem manguezal (mapeados como preservados ou degradados), sendo 2 federais, 6 estaduais e 1 municipal (Ceará, 2021). O Quadro 3 apresenta as UCs com ocorrência de manguezais no estado do Ceará de acordo com cada referência citada acima.

Quadro 3 - Unidades de Conservação com ocorrência de manguezal no Ceará.

| Unidade de Conservação            | Esfera    | Presença de Manguezal |              |             |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------|--------------|-------------|
|                                   |           | ICMBio (2018)         | Ceará (2020) | ZEEC (2021) |
| APA Delta do Parnaíba             | Federal   |                       | -            |             |
| Parque Nacional de Jericoacoara   | Federal   |                       | -            |             |
| Reserva Extrativista do Batoque   | Federal   |                       | -            | -           |
| APA das Dunas do Litoral Oeste    | Estadual  | -                     | -            |             |
| APA do Estuário do Rio Ceará      | Estadual  | -                     |              |             |
| APA do Estuário do Rio Curu       | Estadual  | -                     |              |             |
| APA do Estuário do Rio Mundaú     | Estadual  |                       |              |             |
| APA do Rio Pacoti                 | Estadual  | -                     |              |             |
| Parque Estadual Botânico do Ceará | Estadual  | -                     |              | -           |
| Parque Estadual do Cocó           | Estadual  | -                     |              |             |
| APA do Manguezal da Barra Grande  | Municipal |                       | -            |             |

Fonte: Elaborado pela autora.

Contudo, apesar de ser um relevante ecossistema e de suas inúmeras funções ecológicas, os manguezais continuam sendo um dos ambientes mais ameaçados do país (Portillo; Londe; Moreira, 2017), especialmente nas últimas décadas quando se observou um aumento na degradação ambiental dos manguezais ocasionado principalmente por ações antrópicas (Thomas *et al.*, 2017). Aquicultura, agricultura, ocupação urbana desordenada, desmatamento para uso da madeira, construção de portos, drenagem de água, são algumas atividades que degradam os manguezais reduzindo sua função como sumidouro de carbono, e muitas vezes invertendo esse papel, levando a emissão do carbono que já estava armazenado nele (Spalding; Kainuma; Collins, 2010).

Estima-se que de todo o manguezal presente no Brasil, cerca de 25% já tenha sido devastado desde o início do século XX, tendo as regiões Sudeste e Nordeste os maiores índices de degradação, com cerca de 40% de área de manguezal perdida ao longo deste último século (ICMBIO, 2018). Infelizmente, no restante do planeta essa realidade não é diferente, pois a redução de 30% a 50% das áreas de manguezais do mundo ocorrida nos últimos 50 anos levou, a estimativas de que, se nada for feito para mudar esse processo de degradação, em apenas 100 anos as florestas de mangues poderão perder suas funções e até desaparecer (Maulana; Auliah; Onrizal, 2021). E essa perda tem impacto direto na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, pois com a degradação do manguezal o carbono que antes se encontrava armazenado nele acaba sendo liberado para a atmosfera (Spalding; Leal, 2021), por isso que sua conservação é tão importante.

A falta de conhecimento real a respeito do valor dos serviços ecossistêmicos prestados pelos manguezais e da magnitude dos impactos das atividades humanas sobre essas áreas são fatores que contribuem para o aumento da degradação desse ecossistema (Grasso; Schaeffer-Novelli, 1999). E essa é uma das razões que torna fundamental estudos que mostrem para a sociedade a importância não apenas ecológica, mas também econômica e social que essas áreas possuem e o valor pecuniário que sua conservação pode representar.

### **3.3 O Mercado de Crédito de Carbono**

Ao longo dos anos a comunidade internacional começou a se debruçar sobre o problema relacionado à mudança do clima, principalmente após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. A partir de então, diversas iniciativas e acordos aconteceram com o objetivo de conter o aquecimento global. Dentre eles um dos mais importantes foi o Protocolo de Quioto, adotado durante a COP 3 ocorrida no Japão em 1997 e que entrou em vigor em 2005. Ele foi assinado por 141 países que se comprometeram, entre os anos de 2008 a 2012, a reduzir em média 5,2% de suas emissões, tendo como linha de base as emissões de 1990 (Alves; Oliveira; Lopes, 2013).

Além das metas, o Protocolo de Quioto estabeleceu 3 mecanismos de flexibilização que se tornaram a base para o surgimento do mercado de carbono regulado, que são: Comércio de Emissões (CE), Implementação Conjunta (IC) e

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Esses mecanismos foram criados para ajudar os países signatários a alcançar suas metas de redução de emissões de GEE. Destes 3 citados acima, o MDL é o único que permite a participação de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, que atuam como fornecedores de créditos de carbono para os países desenvolvidos listados no Anexo I do Protocolo (Souza; Alvarez; Andrade, 2013).

O MDL permitiu que os países desenvolvidos e em desenvolvimento pudessem atuar juntos rumo à redução das emissões globais de GEE (Vargas; Delazeri; Ferreira, 2022). Por meio dele, os países desenvolvidos podem optar por financiar a redução de suas emissões fora de seus territórios, geralmente em países em desenvolvimento, onde os custos para essa redução são menores. Isso é feito mediante Certificados de Redução de Emissões (CREs), que são documentos emitidos por organizações credenciadas que atestam que determinado projeto promoveu o sequestro de GEE. Esses Certificados dão origem às Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) também conhecidas como “Créditos de Carbono” que correspondem a 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_{2e}$ ), e eles são negociados em um mercado próprio, chamado Mercado Internacional de Comercialização de Créditos de Carbono (Maciel *et al.*, 2009; Prolo *et al.*, 2021).

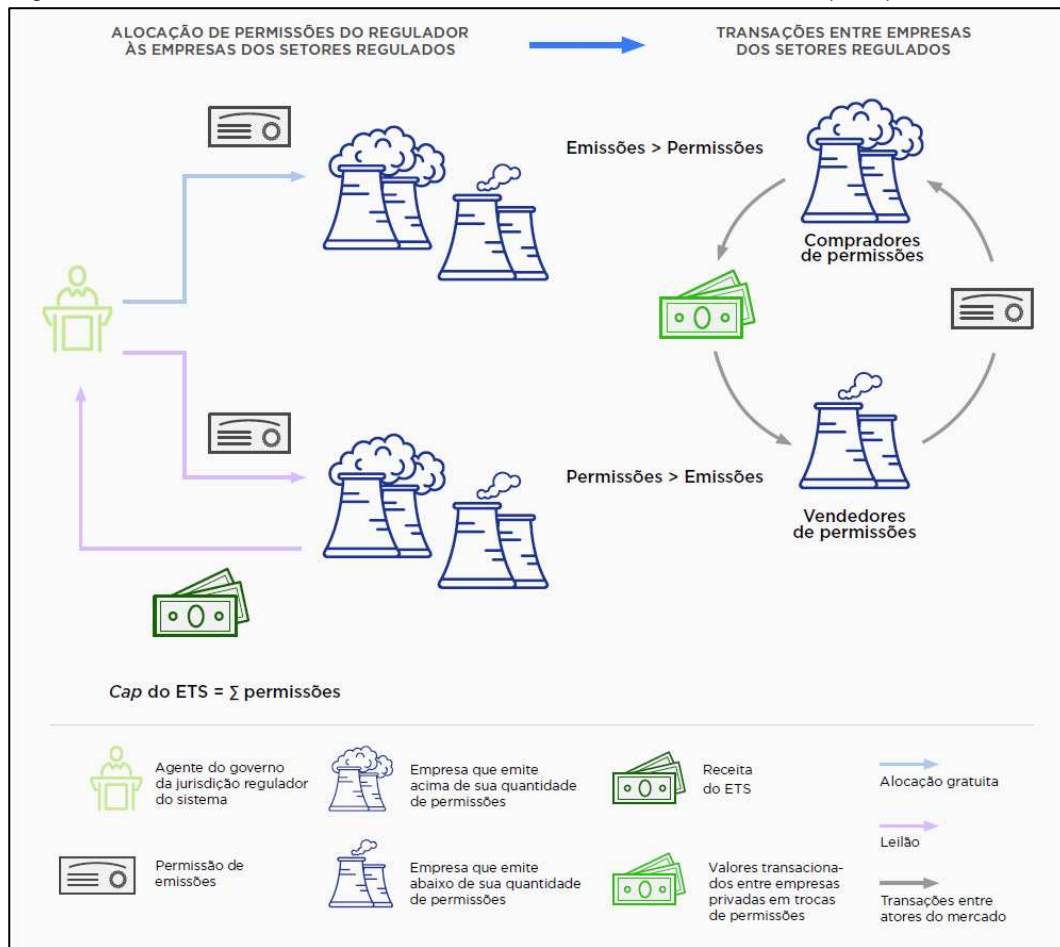
Nas últimas décadas, essa precificação do carbono vem ganhando força e se baseia no princípio do “Poluidor Pagador”, já que o responsável por produzir a externalidade negativa (que no caso é a emissão de GEE) deve internalizar o custo que está sendo gerado para a sociedade. Ela pode ser por meio de tributos sobre as emissões, chamadas “*carbon tax*” ou pelo Sistema de Comércio de Emissões, que segue a lógica do “*cap-and-trade*” (Prolo *et al.*, 2021).

A precificação é uma iniciativa que desperta bastante interesse, pois é um instrumento de mercado do tipo “custo-efetivo” que é capaz de alcançar os resultados propostos, no caso a mitigação das emissões de GEE, com o menor custo possível para a sociedade. Ao dar valor para as emissões, a precificação do carbono estimula projetos de mitigação onde eles são mais baratos de serem feitos, trazendo mais ganhos ao menor custo para seus realizadores (Prolo *et al.*, 2021). Segundo o Banco Mundial (2021) os regimes de precificação de carbono já atuam em mais de 20% das emissões mundiais de GEE, sendo 35% vinculado à taxação do carbono e 30% ao mercado de crédito de carbono, promovendo a redução dessas emissões.

Nesse sentido, o mercado de crédito de carbono traz benefícios tanto para quem compra, pois contribui para que os países desenvolvidos atinjam suas metas de emissões, quanto para quem vende, já que desenvolve toda uma cadeia de trabalho que gera receita nos países em desenvolvimento. Outro ponto que também estimula o crescimento desse mercado, é a preocupação cada vez maior das empresas em parecerem e serem mais sustentáveis, o que agrega valor a suas marcas tornando-se um diferencial (Alves; Oliveira; Lopes, 2013).

De modo geral existem dois tipos de mercados voltados para a negociação de créditos de carbono: o Mercado Regulado e o Mercado Voluntário. O primeiro também é chamado de "Sistemas de Comércio de Emissões" (ou em inglês, *Emissions Trading Systems - ETS*) (Prolo *et al.*, 2021), e nele os créditos são negociados com o objetivo de reduzir as emissões de GEE dos países com metas no Protocolo de Quioto e, mais recentemente, no Acordo de Paris. Nesse mercado o governo estabelece uma quantidade máxima de emissões agregadas de GEE para os integrantes de determinados setores da economia, e são gerados "direitos de emissão" que não podem ultrapassar esses limites estabelecidos, conforme desenho esquemático da Figura 3.

Figura 3 - Funcionamento de um Sistema de Comércio de Emissões (ETS).



Fonte: Araújo *et al.* (2023).

Essas permissões ou “allowance” são distribuídas pelo governo de forma gratuita ou via leilões, e as empresas podem comercializá-las a partir das suas necessidades e metas que não podem ser ultrapassadas. Ou seja, no mercado regulado há uma demanda garantida por crédito, já que a lei impõe um limite de emissões, ademais ele tem uma fronteira geográfica bem definida que possibilita um maior controle na compra e venda dos créditos pelos entes que fazem parte desse mercado (Thorstensen; Zuchieri; Mota, 2022).

O Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (*EU Emissions Trading System - ETS*), também chamado de Mercado Regulado Europeu, é o maior e mais antigo Sistema de Comércio de Emissões do mundo. Nele, empresas de energia e indústria têm um limite de permissão de emissões que com o tempo vai sendo reduzido, o que torna o preço do crédito nesse mercado mais atrativo (Martins *et al.*, 2014; Prolo *et al.*, 2021). Os países em desenvolvimento podem gerar e vender créditos para o mercado regulado por meio de projetos de MDL.

Já no Mercado Voluntário (*Voluntary Carbon Market – VCM*), as negociações têm por objetivo o abatimento de metas estabelecidas voluntariamente por empresas ou governos locais, fora do Protocolo de Quioto e do Acordo de Paris (Martins *et al.*, 2014). Para alcançá-las, eles compram créditos gerados por outras empresas e indivíduos por meio de projetos, são os chamados créditos “offsets”. Estes projetos devem utilizar metodologias aprovadas, e em seguida ser validados, verificados e certificados por Entidades Nacionais Designadas (END). Uma vez validados, esses créditos podem ser então comercializados (Tanaka; Renteria, 2021).

É importante ressaltar que os créditos gerados no mercado voluntário também podem ser comercializados nos mercados regulados, quando são gerados por meio dos projetos de MDL (Prolo *et al.*, 2021; Tanaka; Renteria, 2021). Esses projetos de MDL devem promover a redução das emissões ou aumentar a remoção de CO<sub>2</sub>, representando benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo no âmbito das mudanças climáticas (Frondizi, 2009). Em 2021 a geração de crédito nesse mercado bateu recorde com 352 milhões de créditos emitidos, seguido por 279 milhões em 2022 (Dyck; Streck; Trouwloon, 2023).

Apesar de ter sido considerado um marco na criação do mercado de carbono, o Protocolo de Quioto impôs restrições relacionadas às metodologias utilizadas nos projetos de MDL e aos escopos de atuação dos mesmos, o que provocou a exclusão de vários projetos que não se enquadravam nessas regras (Vargas; Delazeri; Ferreira, 2022). Para tentar contornar esses problemas que apareceram ao longo do tempo e ampliar o desenvolvimento do mercado de carbono, o Acordo de Paris, tratado global assinado durante a COP 21 em 2015, criou em seu Artigo 6 dois instrumentos de mercado que tiveram como objetivo promover a redução das emissões e o atingimento e ampliação das metas estabelecidas pelos países signatários (Prolo *et al.*, 2021).

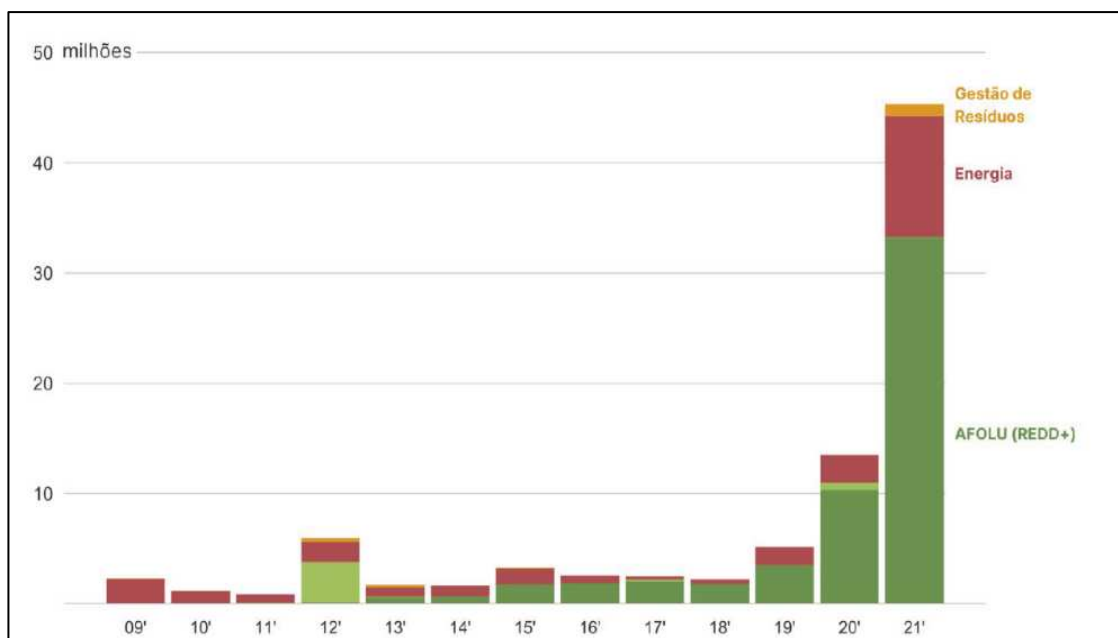
O primeiro instrumento permite que países façam parcerias e transfiram os resultados de suas ações de mitigação, chamados *Internationally Transferred Mitigation Outcomes* (ITMOs), para outros países que ainda não tenham alcançado suas metas. Já o segundo, cria um mecanismo único de certificação de créditos de carbono coordenado por um órgão vinculado ao Acordo de Paris, permitindo assim uma maior padronização dos projetos e ações redutoras de emissões (Brasil, 2020).

Em 2007 foi realizado, no Brasil, o primeiro leilão de crédito de carbono promovido por uma bolsa de valores no mundo, na qual foram negociados créditos do

projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia, que fez a captação de metano do aterro sanitário de Bandeirantes no estado de São Paulo. Nele os créditos de carbono foram vendidos, ao preço de € 16,20 euros por tonelada, o que gerou uma arrecadação de R\$ 34 milhões de reais (Oliveira; Silva, 2016).

Atualmente, o Brasil possui um papel de destaque ocupando a terceira colocação entre os países com mais projetos de MDL registrados, com 354 projetos, e a quarta posição em quantidades de RCEs gerados, reduzindo cerca de 160 milhões de tCO<sub>2</sub> entre 2005 e 2021. O gráfico da Figura 4 mostra a evolução dos créditos de carbono no mercado voluntário no Brasil entre 2009 e 2021 (Vargas; Delazeri; Ferreira, 2022).

Figura 4 - Evolução dos créditos de carbono no mercado voluntário no Brasil.



Fonte: Vargas; Delazeri; Ferreira (2022).

Em 2005 a B3 S. A - Bolsa, Brasil Balcão (que na época era chamada de Bovespa), começou a participar do sistema de registro de atividades e projetos, (públicos e privados) voltados para a geração de créditos do carbono, e nesse período o Brasil estabeleceu alguns temas e projetos prioritários, como: fontes renováveis de energia, reflorestamento e estabelecimento de novas florestas, aterros sanitários e projetos agropecuários (Oliveira; Silva, 2016).

O mercado voluntário há décadas vem crescendo e atraindo investidores que buscam utilizar os créditos para cumprir suas próprias metas de neutralidade climática, ou a de parceiros e clientes (Funke, 2023). Exemplo do interesse que isso

vem gerando foi a compra da Waycarbon, empresa que atua produzindo e comercializando créditos de carbono, pelo banco Santander, que pretende movimentar 220 bilhões de euros em negócios verdes até 2030 (Viri, 2022).

Nesse contexto, o Brasil tem a oportunidade de ser um ator relevante na oferta de créditos de carbono, devido a imensidão de suas florestas. O país ainda é capaz de produzir créditos por meio da redução do desmatamento, do reflorestamento e da implantação de sistemas regenerativos, como os agroflorestais. Somente em 2023 o Brasil foi o segundo maior emissor de créditos com projetos de Solução Baseada na Natureza (*Nature Based Solutions - NBS*), e caso continue assim, estimativas mostram que ele tem potencial de atender de 10 % a 20% da demanda global por crédito de carbono, apenas com esse tipo de projetos (Bravo; Mikolajczyk, 2024; Soares, 2024).

Um outro sistema que vem ganhando muita relevância e hoje representa as principais experiências com o comércio de emissões é o mercado jurisdicional. A jurisdição pode ser descrita como a base territorial na qual se estabelecem os projetos de crédito de carbono, ou seja, ela pode ser o próprio país (nível nacional) ou os estados e municípios (nível subnacional) (Pacheco; Cárdenas, 2022). Os mercados jurisdicionais são organizados com regras e metas e cada jurisdição estabelece seu marco regulatório e define objetivos, natureza jurídica das permissões para emissão, plataforma, regras de comércio, registro das transações dentre outros aspectos que envolvem a comercialização dos créditos (CEBDS, 2021).

Nesse mercado estão os programas jurisdicionais no qual a geração de créditos é coordenada por um ente governamental (União, estado ou município), que cria o programa sob o qual podem estar diversos projetos de geração de créditos de carbono que podem ser públicos ou privados (Dallan, 2023). Esses projetos são chamados de “aninhados” e devem seguir as regras do programa estabelecidas pelo ente coordenador. Esse tipo de programa se tornou tão relevante que a Verra, uma das principais certificadoras de projetos de geração de créditos de carbono do mundo, já dispõe de uma metodologia específica para os programas jurisdicionais (Pereira, 2024).

A ideia é que esses créditos possam complementar o que já é ofertado pela iniciativa privada, especialmente no mercado voluntário (Soares, 2024). No entanto, ao contrário dos projetos privados que duram em média de 30 a 40 anos,

um problema que pode atingir os programas jurisdicionais é a sua descontinuidade, em virtude das mudanças de governo. No Acre, por exemplo, um programa de geração de crédito de carbono foi interrompido após a mudança de governo no estado, o que elevou os índices de desmatamento nas áreas que antes estavam protegidas por conta do projeto (Dallan, 2023). Por isso, é importante que os estados ao comercializarem seus créditos procurem estabelecer ferramentas que “protejam” seus projetos e evitem que eles fiquem suscetíveis às alterações políticas e de governo que naturalmente ocorrem ao longo dos anos.

Sobre o mercado regulado, muitas discussões aconteceram no país referentes a criação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), já previsto na Política Nacional de Mudança do Clima (Lei Federal Nº 12.187/2010), e atualmente, há diversos projetos de lei que abordam o tema de forma distinta (Prolo *et al.*, 2021). Em 2023 o PL 412/2022 que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), foi aprovado na Comissão de Meio Ambiente do Senado, em seguida foi apensado ao PL 2.148/2015 e enviado à Câmara. Contudo, na Câmara ele sofreu uma série de alterações e retornou para o Senado onde foi renomeado como PL 182/2024, e atualmente aguarda apreciação e votação.

A criação de um mercado regulado no Brasil torna-se cada vez mais urgente, tanto por questões ambientais como também econômicas, já que em maio de 2023 a União Europeia instituiu o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira, também conhecido como CBAM, que cria uma taxa extra para as importações de produtos com grande emissão de carbono agregada, que será totalmente implementado em janeiro de 2026. A partir dessa data os importadores europeus terão de declarar anualmente a quantidade de bens que entraram no bloco e as emissões incorporadas a esses produtos no ano anterior. Porém, os países que possuem mercados regulados próprios não terão esse valor extra acrescido às suas exportações para a Europa, que não é a única a seguir esse caminho, pois o Reino Unido, o Canadá e a Austrália também estão analisando instituir esse “imposto do carbono”, como está sendo chamado (Thorstensen; Zuchieri; Mota, 2022; Rosa, 2023).

Atualmente, o valor da tonelada de carbono negociado no mercado regulado europeu, está subindo em virtude da expectativa em torno da redução dos limites para emissões de GEE por parte dos países da Europa. Quanto menor for a

quantidade de GEE cuja emissão é permitida, mais fácil será para os países ultrapassarem esse limite e maior vai ser a procura por créditos de carbono que compensem essas emissões extras. Com isso, o preço dos RCEs tende a aumentar.

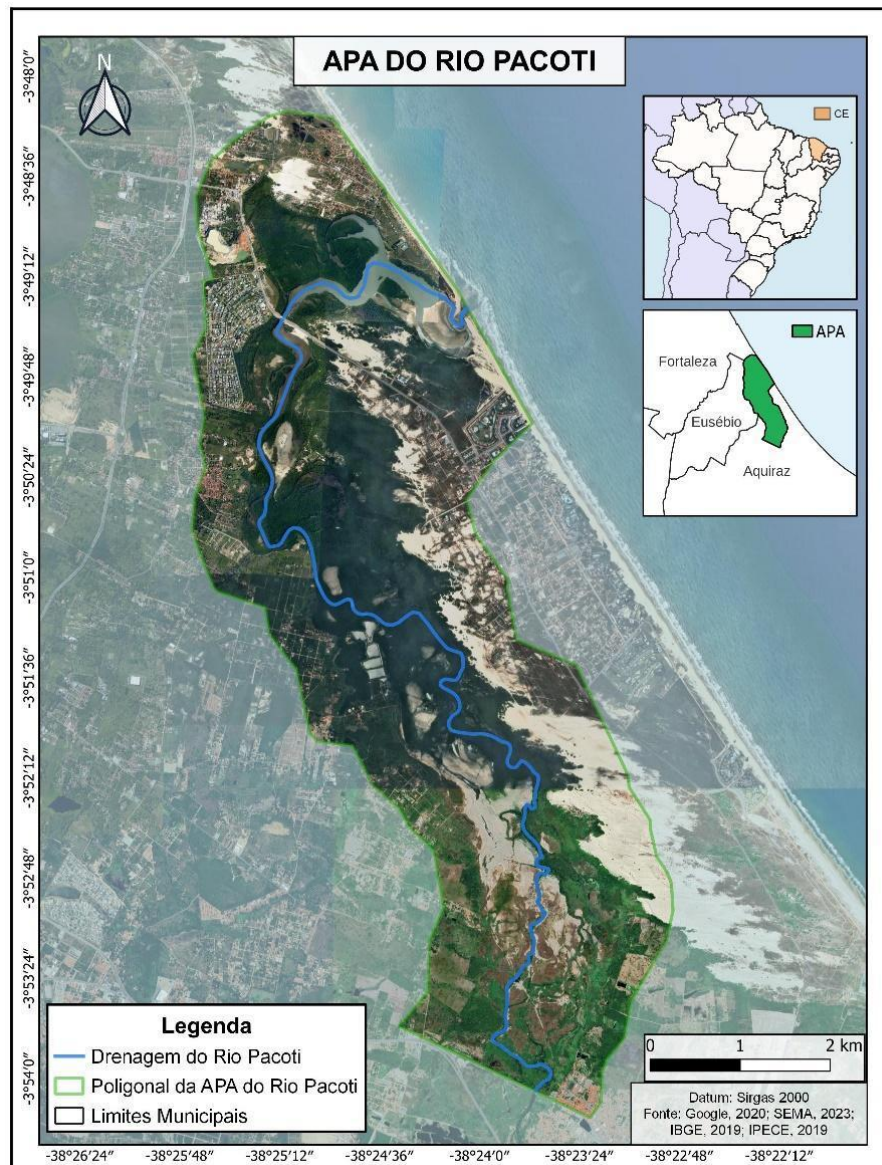
Em julho de 2021 a tonelada de CO<sub>2</sub> estava sendo negociada por cerca de € 50,00 no mercado regulado europeu, um valor duas vezes maior do que em 2020. Já em termos de volume negociado, o crescimento do mercado em 2020 foi de 68% em relação a 2019 e movimentou US\$ 252,00 dólares. A China inclusive, anunciou em agosto de 2021 a criação do seu próprio mercado, que é o maior do mundo e que pretende contribuir para que o país zere suas emissões até 2060 (Del Caro, 2021; Bethônico, 2021). Essas iniciativas mostram a importância da temática climática e devem dar novo impulso às transações com créditos de carbono.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Caracterização da APA do Rio Pacoti**

A obtenção dos dados primários para a presente pesquisa foi realizada na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti (Figura 5). A APA do Rio Pacoti é uma UC de Uso Sustentável instituída pelo Decreto 25.778 de 2000 e localizada entre os municípios de Aquiraz, Eusébio e Fortaleza, com uma área de 2.914,93 ha e perímetro de 28.128,97 m, no qual ocorre o ecossistema manguezal, além de dunas móveis e fixas que se encontram junto à faixa de praia (Ceará, 2020).

Figura 5 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborada pela autora.

## 4.2 Etapas do Estudo

O trabalho se dividiu em 3 etapas:

- I - Estimativa da biomassa florestal da APA do Rio Pacoti;
- II - Determinação do estoque de carbono nos manguezais presente nas UCs da zona costeira;
- III - Estimativa do potencial econômico do estoque de carbono no mercado de crédito de carbono.

## **I - Estimativa da biomassa florestal da APA do Rio Pacoti.**

Em uma área florestal, o carbono encontra-se estocado em diversos compartimentos de biomassa, que são: a biomassa acima do solo (aboveground biomass - AGB), a biomassa abaixo do solo (belowground biomass - BGB), a serrapilheira e a necromassa (Higa *et al.*, 2014). Em virtude de questões metodológicas, para esse trabalho foi calculado o carbono presente apenas na biomassa viva arbórea acima do solo.

O inventário de biomassa é o requisito básico, e a primeira etapa para a mensuração do estoque de carbono em florestas. Contudo, como ele fornece dados do carbono presente apenas na vegetação, esse é um método que obtém estimativas extremamente conservadoras do estoque de carbono de um ecossistema como um todo. A metodologia utilizada nesse estudo para a estimar a biomassa viva arbórea acima do solo da vegetação inserida na APA do Rio Pacoti e seu respectivo estoque de carbono, está descrita nos seguintes documentos técnicos: Protocolo de Medição e Estimativa de Biomassa e Carbono Florestal (Higa *et al.*, 2014), Metodologia para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra (Arevalo; Alegre; Vilcahuaman, 2002) e Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais (Rügnitz; Chacón; Porro, 2009).

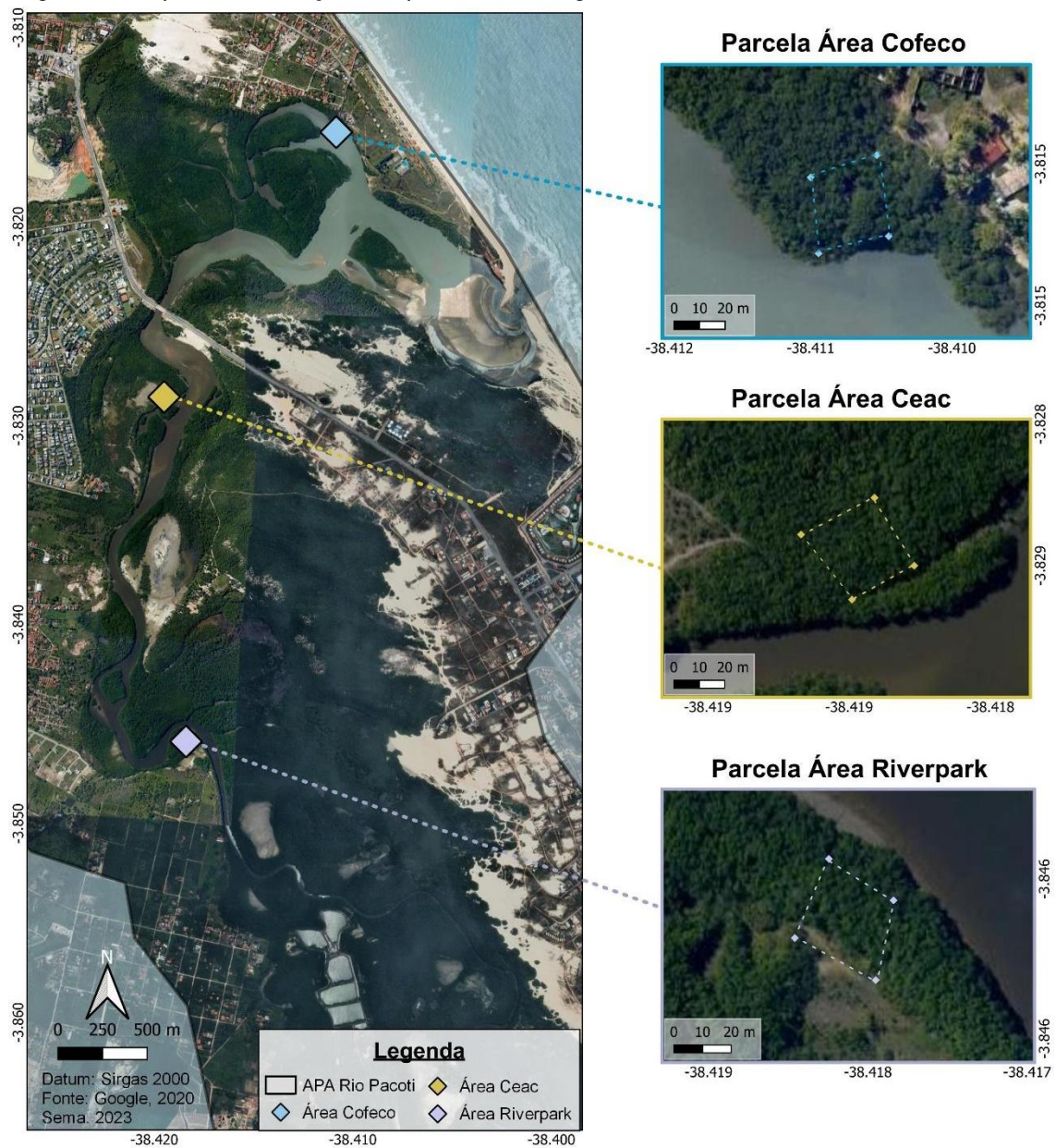
Existem dois métodos para a quantificação de biomassa arbórea acima do solo: o método direto (ou destrutivo) e o método indireto (ou estimativo) (Lana, 2017). O primeiro consiste em cortar um ou mais indivíduos (árvores) de determinada área, pesar todos os seus componentes (raízes, fuste, galhos e folhas) e a partir do peso direto determinar a biomassa de cada indivíduo, extrapolando, em seguida, os resultados para a área total. É por meio dele que são elaboradas as equações alométricas aplicadas no método indireto para a obtenção da biomassa de diferentes espécies. Contudo, esse método é menos utilizado, pois possui um custo elevado, além de demandar mais tempo e um trabalho extenso o que leva muitos pesquisadores a optarem por utilizar o método indireto (Higa *et al.*, 2014).

No método indireto, a biomassa pode ser inferida através de relações alométricas de variáveis estruturais de fácil obtenção, como o diâmetro, altura e volume das árvores (Higa *et al.*, 2014). Em virtude da ampla área amostral que foi trabalhada neste estudo, das restrições legais que envolvem a realização de pesquisas em áreas legalmente protegidas e do impacto ambiental ocasionado pelo

corte de árvores, optou-se por utilizar o método indireto de quantificação de biomassa no presente trabalho.

Para a obtenção da estimativa de biomassa de uma determinada área, é necessário primeiro instalar parcelas, cujas árvores inseridas nelas serão amostras para a obtenção dos dados necessários ao estudo. Inicialmente, foram utilizadas imagens de satélite do Google Earth, em conjunto com visitas nas áreas de estudo para o estabelecimento das parcelas. Foram instaladas 3 parcelas ao longo do rio Pacoti sendo uma em cada ponto do estuário para ilustrar a condição do local de estudo, a saber: no estuário inferior (área Cofeco), no estuário médio (área Ceac) e no estuário superior (área Riverpark) conforme ilustrado na Figura 6. Cada parcela possui um tamanho de 30 m x 30 m e é subdividida em 9 subplots de 10 m x 10 m, totalizando 27 subplots e uma área amostral de 2.700 m<sup>2</sup> ou 0,27 ha.

Figura 6 - Mapa de localização das parcelas ao longo do estuário do rio Pacoti.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os trabalhos de campo foram realizados nos meses de julho e agosto de 2022, no qual foram coletadas informações sobre o tipo de espécies, assim como o diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura (h) das árvores arbóreas vivas com altura acima de 1,30 m que estavam inseridas nas parcelas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Imagens da coleta de dados primários para o inventário de biomassa realizado na APA do Rio Pacoti.



Fonte: Registros da autora.

Com esses dados, utilizou-se equações alométricas de referência, disponíveis na literatura, para estimar a biomassa florestal de cada espécie analisada (Higa *et al.*, 2014). Considerando o volume disponível de estudos e artigos que utilizam o método indireto na análise da biomassa presente na vegetação de manguezal, em áreas semelhantes a desta pesquisa, foi possível encontrar e selecionar equações desenvolvidas para quatro das cinco espécies identificadas nas atividades de campo, sendo a *Conocarpus erectus* a única em que não se aplicou uma equação específica.

No caso das demais espécies, optou-se pelo uso de equações próprias para cada espécie, ao invés de uma única equação geral, a fim de tornar os resultados mais precisos, já que cada equação é elaborada a partir da análise de amostras de madeira retiradas diretamente de cada espécie. Para a *Conocarpus erectus*, além do DAP foi necessário utilizar também a densidade da madeira, cujo valor foi obtido a partir do Banco de Dados Global de Densidade de Madeira (*Global Wood Density Database - GWDD*).

A consolidação e análise dos dados coletados em campo, assim como a aplicação das equações para a obtenção da biomassa das espécies analisadas, e seu respectivo volume de carbono e CO<sub>2</sub>, foram realizados utilizando-se o software Microsoft Excel. O Quadro 4 apresenta as equações alométricas empregadas e suas respectivas referências.

Quadro 4 - Equações alométricas utilizadas para cada espécie identificada em campo.

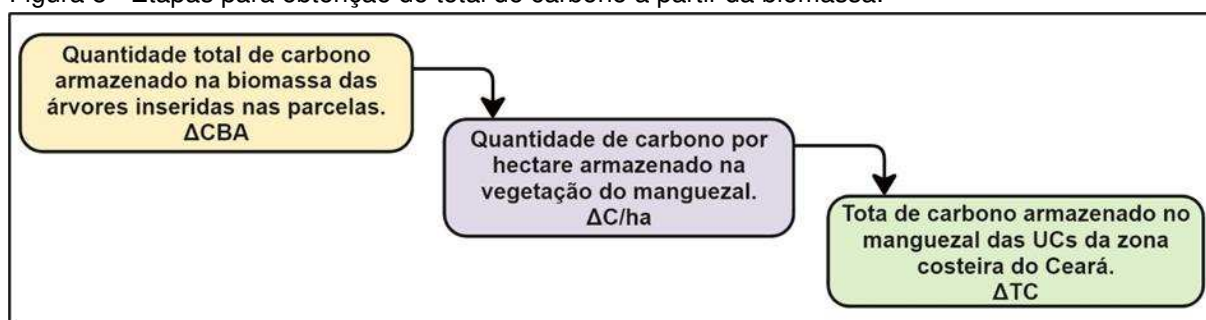
| Espécie                                                    | Equação                                  | Referência                    |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Rhizophora mangle</i>                                   | $427.26*(dbh^2) - 544.45*(dbh) + 994,63$ | Ferreira <i>et al.</i> , 2015 |
| <i>Laguncularia racemosa</i>                               | $299,3(dbh^2) - 486,06(dbh) + 393,04$    | Ferreira <i>et al.</i> , 2015 |
| <i>Avicennia schaueriana</i><br><i>Avicennia germinans</i> | $0.2309(D)^{2.0685}$                     | Medeiros; Sampaio, 2008       |
| <i>Conocarpus erectus</i>                                  | $0,168*\rho*(dbh)^{2,47}$                | Chave <i>et al.</i> , 2005    |

Onde (dbh) e (D) se referem ao diâmetro à altura do peito (DAP);  $\rho$  é a densidade da madeira (g/cm<sup>3</sup>).

## II - Determinação do estoque de carbono nos manguezais presentes nas UCs da zona costeira.

A quantidade de carbono estocada em determinada área florestal pode ser calculada a partir da quantidade de biomassa existente naquela região, que multiplicada pela fração de carbono da vegetação informam os estoques de carbono presentes na área (Lana, 2017; IPCC, 2006). A partir dos dados primários referentes ao estoque de carbono presente na vegetação de manguezal obtidos no estuário do rio Pacoti, foi possível extrapolar esses valores e estimar a quantidade de carbono armazenada nas outras áreas de manguezal presentes nas UCs analisadas neste trabalho. O esquema na Figura 8 demonstra as informações obtidas em cada etapa realizada nessa fase da pesquisa.

Figura 8 - Etapas para obtenção do total de carbono a partir da biomassa.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os tecidos das plantas de um modo geral possuem cerca de 45% a 50% de carbono em sua composição, e por essa razão a fração de carbono para biomassa viva lenhosa recomendada pelo IPCC (2014) e utilizada neste trabalho para o cálculo do carbono na biomassa foi de 45,1%. Para o cálculo do carbono total utilizou-se a seguinte fórmula (Rügnitz; Chacón; Porro, 2009):

$$\Delta CBA = (BA * CF)$$

Onde:

$\Delta CBA$  = quantidade de carbono na biomassa acima do solo que está inserida nas parcelas (t C);

BA = biomassa arbórea acima do solo (t);

CF = fração de carbono (t C /t), que foi 0,451.

Em seguida, para calcular o valor de carbono armazenado na vegetação do manguezal por hectare ( $\Delta C/ha$ ), dividiu-se a quantidade de carbono na biomassa ( $\Delta CBA$ ) pela área total das parcelas, que no caso é de 0,27 ha, conforme descrito abaixo:

$$\Delta C/ha = \frac{\Delta CBA}{0,27}$$

Após determinar a quantidade de carbono armazenado por hectare de manguezal ( $\Delta C/ha$ ), multiplicou-se esse valor pela área total com vegetação de manguezal ( $\Delta AVM$ ) presente nas UCs da zona costeira, para ao final termos a quantidade total de carbono armazenada nessas UCs ( $\Delta TC$ ), conforme equação abaixo:

$$\Delta TC = \Delta C/ha * \Delta AVM$$

Para obter a área total com vegetação do manguezal, foram utilizados os dados disponíveis no Diagnóstico do Meio Físico do Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Ceará (ZEEC) elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA) (Ceará, 2021). Dessa forma, ao final foi possível calcular a quantidade total de carbono armazenada na vegetação do manguezal presente nas UCs da zona costeira do Ceará.

### **III - Estimativa do potencial econômico do estoque de carbono no mercado de crédito de carbono.**

O serviço que foi valorado neste estudo é o de fixação de carbono. Após a obtenção das informações referentes a quantidade total de carbono (t C/ha) estocado pela vegetação de manguezal das UCs da zona costeira do Ceará, converteu-se esse valor de carbono (C) em dióxido de carbono ( $CO_2$ ), que é o gás de efeito estufa de referência utilizado como base dos trabalhos e estudos sobre mudança climática e no mercado de carbono.

Para isso, foi utilizado 3,67 como fator para a conversão do estoque de carbono (t C/ha) em dióxido de carbono (t  $CO_2$ /ha). O valor do fator de conversão é

obtido por meio da razão entre a massa molecular do dióxido de carbono que é 44 e a massa atômica do carbono que é 12. Ou seja, isso significa que uma tonelada de carbono armazenado na biomassa, equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub> atmosférico (Rügnitz; Chacón; Porro, 2009).

De posse das informações referentes a quantidade de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>/ha) estocado pela biomassa viva acima do solo da vegetação de manguezal, foi possível calcular o valor financeiro desse serviço ambiental. Para tal, foi utilizado o método de Valoração Monetária por meio da abordagem de Preferência Revelada, com a técnica da Análise de Preço de Mercado, já que o objeto valorado, no caso o carbono estocado, possui um mercado próprio no qual ele é comercializado.

Para estimar o valor monetário do estoque de carbono, foi empregado o preço médio mensal do crédito de carbono praticado na B3 – Bolsa, Brasil, Balcão, já que no Brasil ela é uma das entidades financeiras que realizam operações de compra e venda de crédito de carbono. É por meio dela que os créditos são vendidos de forma direta ou por leilões eletrônicos agendados a pedido de agentes (públicos ou privados) que queiram ofertar seus créditos de carbono no mercado (Alves; Oliveira; Lopes, 2013), e sua escolha como referência para a obtenção do preço do CO<sub>2</sub>, se deu em virtude de ser uma plataforma nacional, regulada e acessível (Maciel *et al.*, 2009). O preço de referência utilizado para a obtenção do valor total dos créditos de carbono, foi a média dos preços praticados no mês anterior à consolidação dos dados coletados em campo. Dessa forma, o valor utilizado foi a média do preço praticado na B3 em fevereiro de 2023.

## 5 ESTOQUE DE CARBONO E ESTIMATIVA DO POTENCIAL ECONÔMICO DO MANGUEZAL DA APA DO RIO PACOTI

### 5.1 Quantidade de Biomassa, Carbono e CO<sub>2</sub> armazenados no manguezal da APA do Rio Pacoti

Durante os trabalhos de campo realizados no estuário do rio Pacoti, foram medidos ao todo 1.119 indivíduos de 5 espécies, sendo: 865 de *Rhizophora mangle*, 147 de *Laguncularia racemosa*, 44 de *Avicennia schaueriana*, 21 de *Avicennia germinans*, e 42 de *Conocarpus erectus*, dispostos nas 3 parcelas analisadas ao longo do manguezal do rio Pacoti (Figura 9).

Figura 9 - Imagens do estuário do rio Pacoti.



Fonte: Registros da autora.

Utilizando as equações específicas para cada espécie, obtivemos o valor de 16,60 toneladas de biomassa viva acima do solo (AGB) armazenadas nas 1.119 plantas analisadas. Considerando que esses 1.119 indivíduos estavam em 0,27 ha, totalizam-se 61,48 toneladas de biomassa lenhosa acima do solo por hectare. A espécie com maior quantidade de biomassa foi a *Rhizophora mangle*, que representou cerca de 71% da massa total encontrada (Figura 10). Isso se deu, em

virtude da presença de uma quantidade maior de árvores dessa espécie (865 árvores) nas parcelas trabalhadas, que equivale a 77,30% do total de indivíduos analisados, além do grande porte que parte deles possuem.

Figura 10 - *Rhizophora mangle* no manguezal da APA do Rio Pacoti.



Fonte: Registros da autora.

Em relação ao total de carbono armazenado na biomassa, considerando uma fração de 45,1% de carbono, para cada tonelada de biomassa, é possível afirmar que as espécies analisadas presentes nas três parcelas acumulam 7,49 toneladas de biomassa. Convertendo esse total de carbono para CO<sub>2</sub>, se tem que 27,48 toneladas de CO<sub>2</sub> estão retidas na biomassa das plantas analisadas.

Segundo Dinilhuda, *et al.* (2020) quanto maior for o diâmetro de uma árvore de mangue, maior é sua capacidade de armazenar carbono. Já em relação à idade, plantas jovens tendem a captar muito carbono, contudo armazenam menos, pois contém uma alta porcentagem de água o que reduz a quantidade de carbono em seus tecidos. Dessa forma, observa-se que os valores de carbono são proporcionais à quantidade de biomassa de cada espécie, sendo assim, a *Rhizophora mangle* também obteve o maior estoque de carbono, correspondendo a cerca de 70% da quantidade de carbono armazenada na vegetação de manguezal analisada.

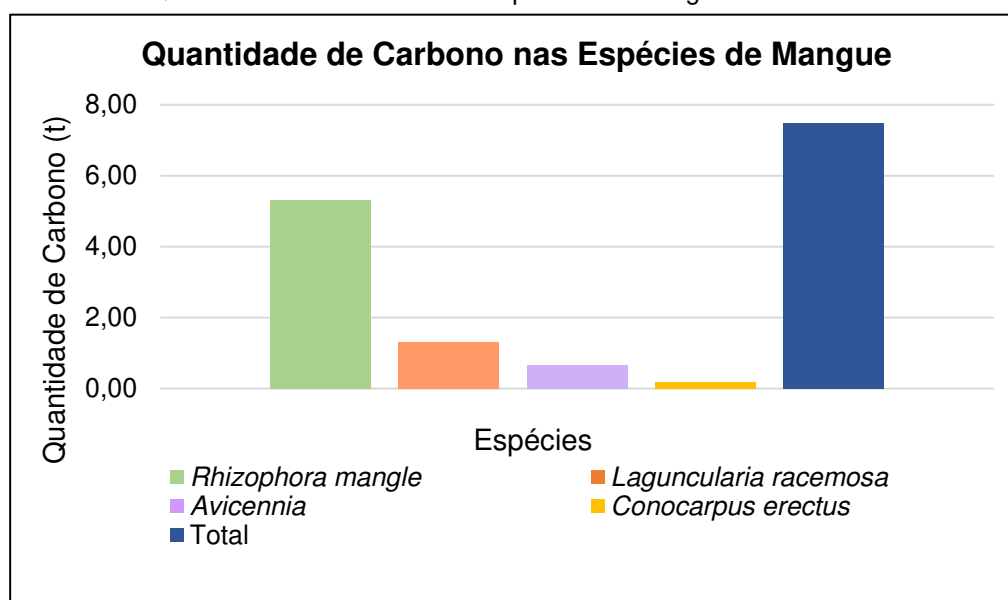
Na Tabela 1 encontram-se os dados referentes aos valores de biomassa, carbono e CO<sub>2</sub> armazenados nas espécies de mangue presentes nas parcelas inseridas na APA do Rio Pacoti. Já o Gráfico 1 mostra os dados de carbono estocado para cada espécie de mangue.

Tabela 1 - Quantidade de Biomassa (kg), Carbono (t) e CO<sub>2</sub> (t) das espécies de mangue analisadas.

| Espécies                                                   | Biomassa (kg)    | Carbono (t) | CO <sub>2</sub> (t) |
|------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| <i>Rhizophora mangle</i>                                   | 11.785,52        | 5,31        | 19,51               |
| <i>Laguncularia racemosa</i>                               | 2.894,72         | 1,31        | 4,79                |
| <i>Avicennia schaueriana</i><br><i>Avicennia germinans</i> | 1.497,42         | 0,68        | 2,48                |
| <i>Conocarpus erectus</i>                                  | 420,52           | 0,19        | 0,70                |
| <b>Total</b>                                               | <b>16.598,18</b> | <b>7,49</b> | <b>27,48</b>        |

Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 1 - Quantidade de carbono nas espécies de mangue da APA do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao valor total de carbono e CO<sub>2</sub> armazenados por hectare, temos que a vegetação de manguezal da APA do Rio Pacoti contém **27,73 t C** e **101,77 t CO<sub>2</sub>** por hectare. Multiplicando o total de carbono por hectare de manguezal, no caso 27,73 t C, pela área total com vegetação de manguezal da APA, que segundo Ceará (2021) é de 703,016 ha, obtemos um valor de **19.494,63 t C**. Esse valor multiplicado por 3,67 equivale a **71.545,29 t CO<sub>2</sub>** que estão armazenados no manguezal da APA do Rio Pacoti. Os resultados podem ser vistos no Quadro 5.

Quadro 5 - Quantidade de carbono e CO<sub>2</sub> no manguezal da APA do Rio Pacoti.

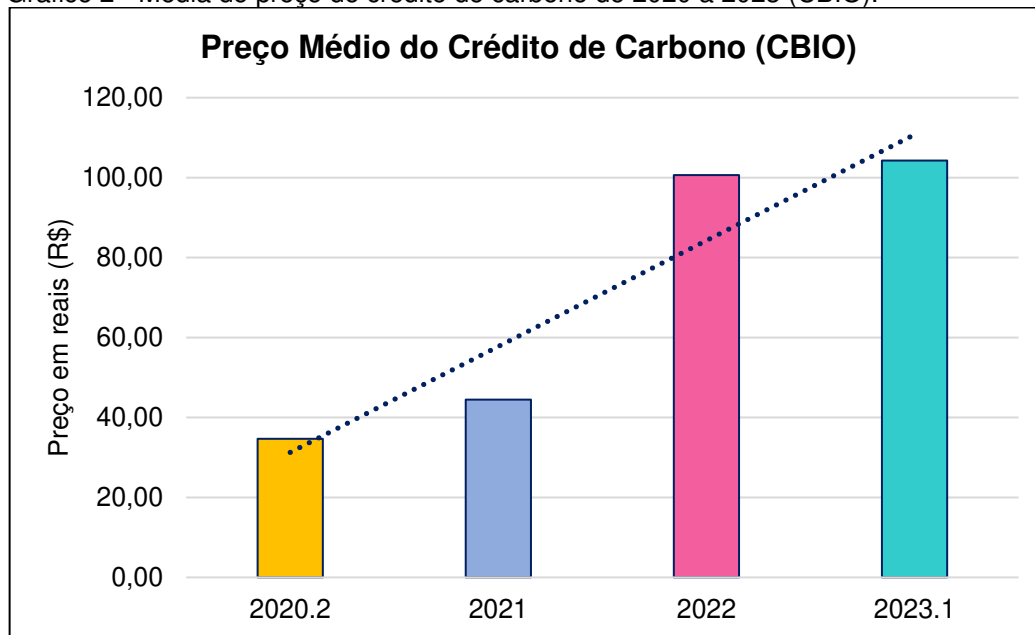
| Quantidade de carbono por hectare (t/ha) | Quantidade de CO <sub>2</sub> por hectare (t/ha) | Quantidade total de carbono (t) | Quantidade total de CO <sub>2</sub> (t) |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>27,73</b>                             | <b>101,77</b>                                    | <b>19.494,63</b>                | <b>71.545,29</b>                        |

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.2 Valor do estoque de carbono no Mercado de Crédito de Carbono

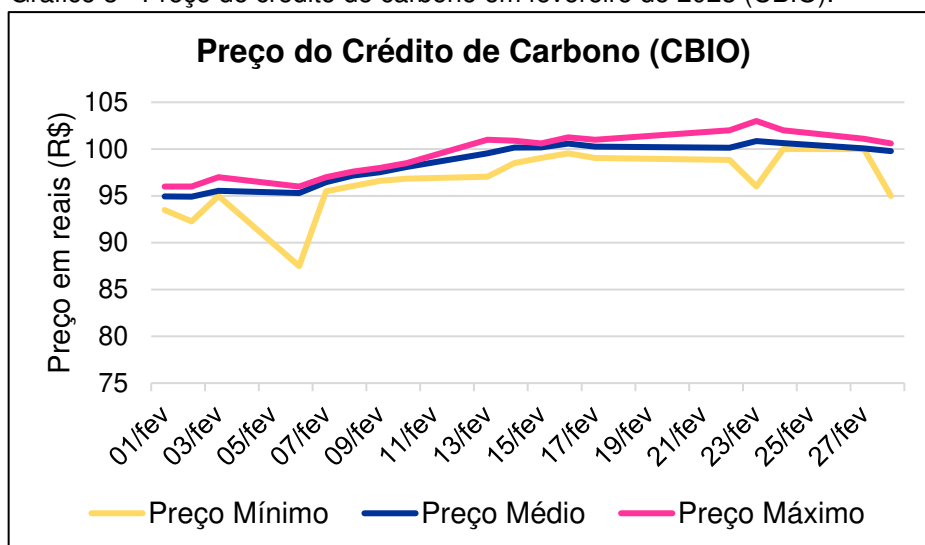
O ativo utilizado como referência nesta análise foi o do CBIO (Crédito de Descarbonização de Biocombustíveis), criado em 2017 pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Ele faz parte do Renovabio, programa desenvolvido após a COP 21 e que tem por objetivo promover a descarbonização do setor de energia incentivando a utilização de matrizes renováveis (ANBIMA, 2020). A comercialização e o registro do CBIO na B3 - Brasil, Bolsa, Balcão, teve início em abril de 2020, tendo o seu preço médio crescido ao longo dos últimos 3 anos, conforme demonstrado no Gráfico 2. Já o Gráfico 3 apresenta o preço do mesmo crédito ao longo de fevereiro de 2023 (B3, 2023).

Gráfico 2 - Média do preço do crédito de carbono de 2020 a 2023 (CBIO).



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 3 - Preço do crédito de carbono em fevereiro de 2023 (CBIO).



Fonte: Elaborado pela autora.

Após analisar os preços da tonelada de CO<sub>2</sub> comercializados na B3 no mês de fevereiro de 2023, temos que a média dos valores foi de R\$ 98,45 reais por crédito de carbono. Considerando, a quantidade de CO<sub>2</sub> que está armazenada na vegetação da APA do Rio Pacoti (71.545,29 tCO<sub>2</sub>) e o valor do crédito de carbono obtido, temos que esse carbono estocado alcançaria um valor de **R\$ 7.043.633,80** milhões se porventura fosse negociado na bolsa de valores.

Caso esse crédito fosse vendido no mercado regulado europeu, considerando o preço médio praticado em fevereiro de 2023 de € 92,08 euros, o total de CO<sub>2</sub> armazenado na APA do Rio Pacoti valeria € 6.587.890,30 milhões de euros ou R\$ 35.574.464,55 milhões de reais, conforme disposto no Quadro 6.

Quadro 6 - Valor do carbono armazenado no manguezal da APA do Rio Pacoti.

| Quantidade de tCO <sub>2</sub> | Tipo de Mercado       | Valor do Crédito       | Valor do total de carbono armazenado |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 71.545,29                      | Voluntário Brasileiro | R\$ 98,45              | R\$ 7.043.633,80                     |
|                                | Regulado Europeu      | € 92,08<br>R\$ 497,23* | € 6.587.890,30<br>R\$ 35.574.464,55* |

\*considerando o euro a R\$ 5,40

Fonte: B3 (2023); INVESTING (2023).

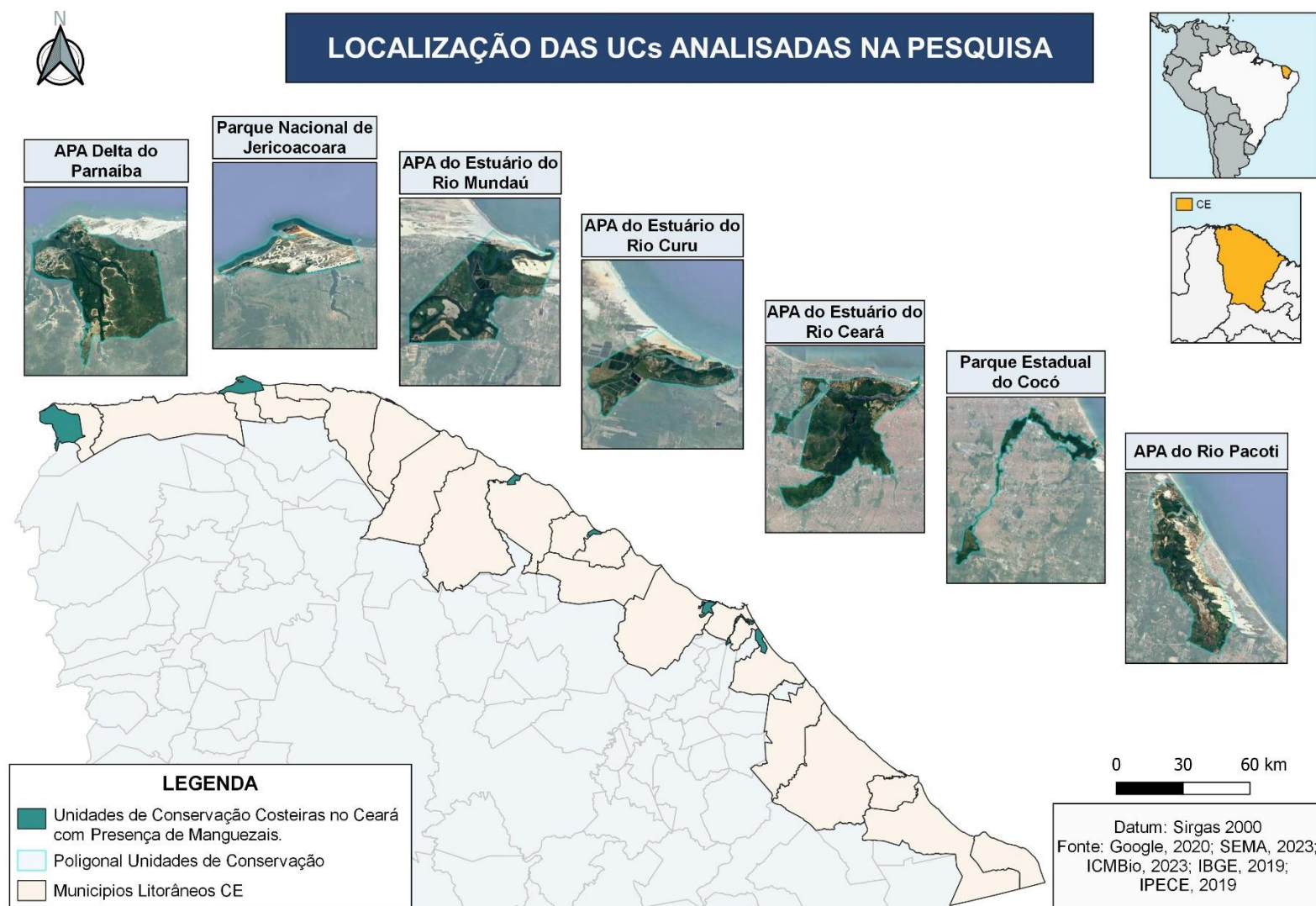
## **6 QUANTIDADE DE CARBONO E CO<sub>2</sub> ARMAZENADOS NO MANGUEZAL DAS UCS DA ZONA COSTEIRA DO CEARÁ**

Após a obtenção da quantidade de carbono armazenada por hectare na vegetação de manguezal a partir do trabalho de campo realizado na APA do Rio Pacoti, se utilizou esse dado para calcular o carbono estocado no manguezal presente nas demais UCs existentes no estado.

Por questões metodológicas foram consideradas neste trabalho somente as Unidades de Conservação cujo mapeamento produzido no ZEEC constatou a presença de manguezal preservado. Vale ressaltar que o referido mapeamento foi realizado em uma escala de 1:10.000 o que forneceu detalhes das áreas trabalhadas e contribuiu na decisão de utilizá-lo como base para este estudo. Dessa forma, foram analisadas 7 UCs (Figura 11) na presente pesquisas:

- APA Delta do Parnaíba;
- APA do Estuário do Rio Ceará;
- APA do Estuário do Rio Curu;
- APA do Estuário do Rio Mundaú;
- APA do Rio Pacoti;
- Parque Estadual do Cocó;
- Parque Nacional de Jericoacoara.

Figura 11 - Localização das UCs analisadas na pesquisa.



Fonte: Elaborada pela autora.

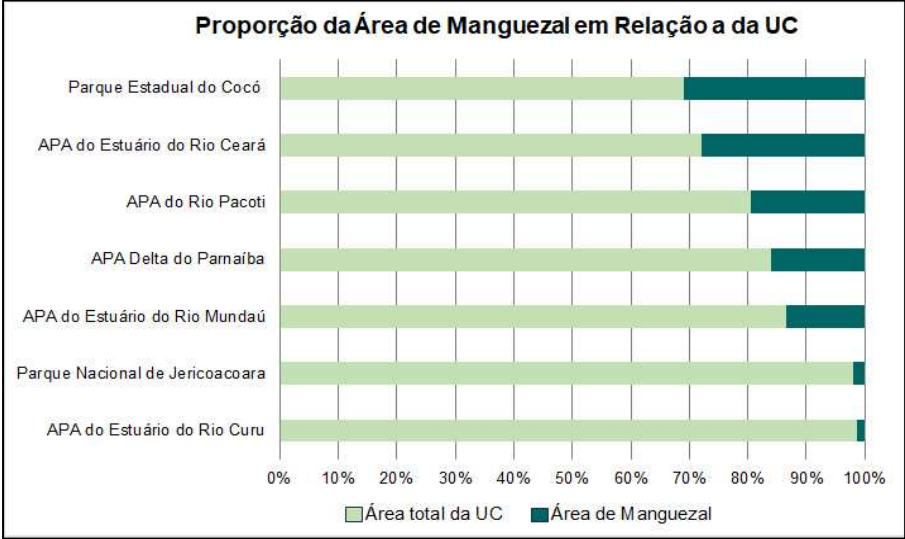
O mapeamento e sua respectiva classificação fazem parte do Diagnóstico do Meio Físico, um dos produtos do ZEEC que identificou os setores ambientais estratégicos da zona costeira do estado do Ceará. Nesse sentido, utilizou-se a área desse mapeamento como referência para o cálculo do total de carbono presente na vegetação de manguezal em cada UC. A Tabela 2 e o Gráfico 4 apresentam a área total de cada UC e sua respectiva área de manguezal preservado (Ceará, 2021, 2024; Brasil, 2024). Ressaltando que no caso da APA Delta do Parnaíba, que ocupa mais de um estado, só foi considerada como área total a região que está inserida no território do Ceará.

Tabela 2 - Área total e de manguezal de cada UC analisada.

| UNIDADE DE CONSERVAÇÃO          | Área total (ha)  | Área com Manguezal (ha) | Área com Manguezal (%) |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|
| Parque Estadual do Cocó         | 1.581,25         | 710,13                  | 45%                    |
| APA do Estuário do Rio Ceará    | 2.734,99         | 1.062,41                | 39%                    |
| APA do Rio Pacoti               | 2.914,93         | 703,016                 | 24%                    |
| APA Delta do Parnaíba           | 20.543,82        | 3.933,58                | 19%                    |
| APA do Estuário do Rio Mundaú   | 1.596,37         | 248,36                  | 16%                    |
| Parque Nacional de Jericoacoara | 8.855,00         | 177,56                  | 2%                     |
| APA do Estuário do Rio Curu     | 881,94           | 12,71                   | 1%                     |
| <b>Total</b>                    | <b>39.108,30</b> | <b>6.847,77</b>         |                        |

Fonte: Ceará (2021, 2024); Brasil (2024).

Gráfico 4 - Área de manguezal em relação à área total de cada UC analisada.



Fonte: Elaborado pela autora.

É interessante observar que a área de manguezal presente em cada UC nem sempre representa parte significativa dessa região protegida. Um exemplo é o caso da APA Delta do Parnaíba, que das UCs analisadas é a maior, tanto no que diz respeito a sua área total, como também a sua área de manguezal. Contudo, apesar dos números impressionantes quando comparado ao das outras UCs, esse manguezal só representa apenas 19% da área da APA que está inserida no Ceará. Já no extremo oposto aparece a APA do Estuário do Rio Curu, a menor de todas, cuja área de manguezal equivale a apenas cerca de 1% de sua área total.

Essa grande diferença que foi observada no tamanho da UC em relação a sua área de manguezal, se deve tanto porque em alguns casos o manguezal naturalmente ocupa um pequeno espaço dentro da UC, quanto por causa da degradação que esse manguezal pode ter sofrido. Às vezes, infelizmente são os dois fatores que ocorrem juntos e que acabam provocando a redução do tamanho desse ecossistema.

Isso também nos faz refletir sobre os critérios para a escolha de áreas para a criação de Unidades de Conservação, no que diz respeito ao tipo de ecossistema e biomas que se pretende proteger. É importante que o poder público na hora de definir essas regiões avalie tanto a biodiversidade e riqueza ambiental como também o grau de ameaça que essas regiões sofrem. Criar UCs em grandes áreas cuja relevância ambiental não é tão significativa somente para gerar números, é algo que se deve evitar caso haja o real interesse na preservação e proteção ambiental.

O caso do Parque Estadual do Cocó é um exemplo de UC que mesmo estando inserida no meio da cidade de Fortaleza rodeada de vários equipamentos urbanos, e sofrendo diversas pressões, conseguiu proteger boa parte do seu manguezal. Apesar de ser a 6ª em área total, ela possui cerca de 45% dessa área composta por manguezal preservado, o que representa em termos percentuais a maior quantidade de todas as UCs analisadas. Seguida pela APA do Estuário do Rio Ceará, que também é uma UC que fica na zona urbana, mas que tem 39% de sua área ocupada por manguezal.

No que diz respeito à quantidade de carbono e CO<sub>2</sub> existente no manguezal de cada UC analisada, conforme descrito na metodologia, esse dado foi obtido multiplicando-se a área com manguezal presente em cada UC (Tabela 2), pela quantidade de carbono por hectare obtido por meio do levantamento realizado na APA do Rio Pacoti, que no caso foi de 27,73 t C/ha. Dessa forma, como resultado é possível

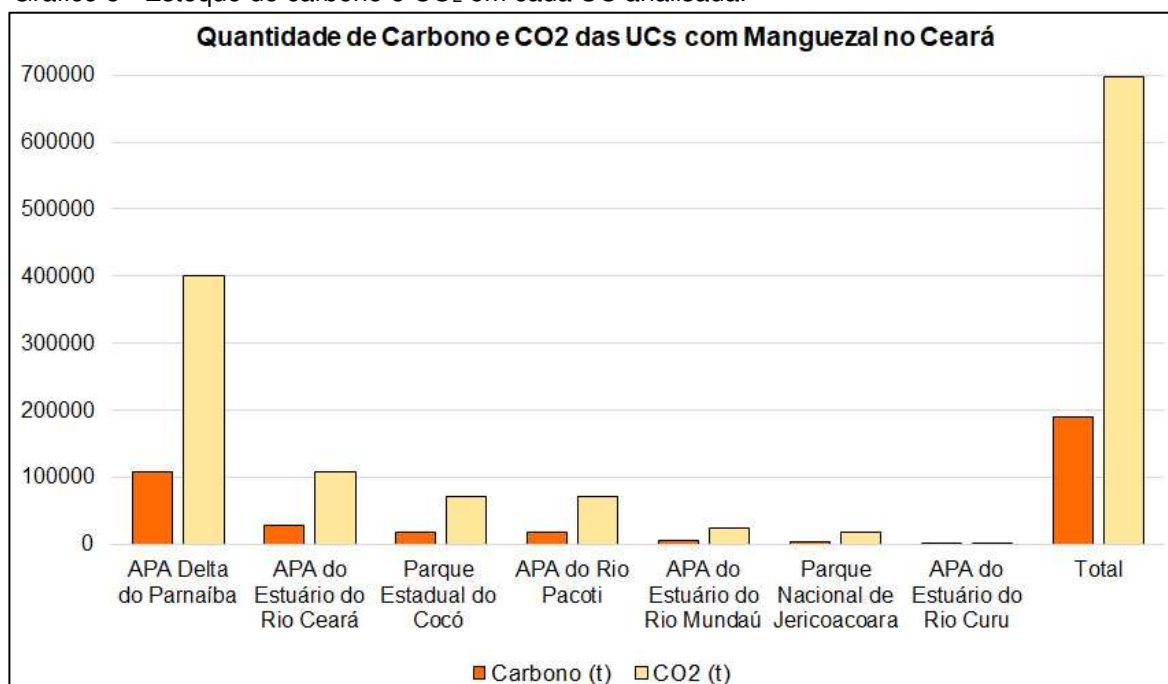
estimar que a vegetação de manguezal presente nas UCs armazena um total de **189.888,54 t de carbono** que equivalem a **696.890,94 t de CO<sub>2</sub>** (Tabela 3). O comparativo das quantidades de carbono e CO<sub>2</sub> entre as UCs analisadas pode ser encontrado no Gráfico 5.

Tabela 3 - Quantidade de carbono e CO<sub>2</sub> das UCs com manguezal no Ceará.

| UNIDADE DE CONSERVAÇÃO          | Quantidade de carbono (t) | Quantidade de CO <sub>2</sub> (t) |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| APA Delta do Parnaíba           | 109.078,17                | 400.316,88                        |
| APA do Estuário do Rio Ceará    | 29.460,63                 | 108.120,51                        |
| APA do Estuário do Rio Curu     | 352,45                    | 1.293,49                          |
| APA do Estuário do Rio Mundaú   | 6.887,02                  | 25.275,36                         |
| APA do Rio Pacoti               | 19.494,63                 | 71.545,29                         |
| Parque Estadual do Cocó         | 19.691,90                 | 72.269,27                         |
| Parque Nacional de Jericoacoara | 4.923,74                  | 18.070,13                         |
| <b>Total</b>                    | <b>189.888,54</b>         | <b>696.890,94</b>                 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 5 - Estoque de carbono e CO<sub>2</sub> em cada UC analisada.



Fonte: Elaborado pela autora.

Estudos semelhantes sobre mensuração de carbono em vegetação de manguezal, apresentaram valores diferentes para o estoque de carbono por hectare em relação aos deste trabalho, que foi de 27,73 t C/ha. Alguns foram menores, como o de Portillo, Londe e Moreira (2017), realizado no manguezal do rio Piraquê-Açu no Espírito Santo, que obteve um valor de 1,46 t C/ha, número bem abaixo do encontrado no rio Pacoti, que foi de 27,73 t C/ha. Essa diferença se deu possivelmente, em virtude da quantidade menor de indivíduos analisados e pela maioria ser da espécie *Laguncularia racemosa*, que tem um volume e quantidade de biomassa menor que *Rizophora mangle*, que representou a maior parte das árvores analisadas nesta pesquisa.

Já outros trabalhos obtiveram valores maiores de t C/ha, como em Rovai *et al.* (2021), que trabalhou em um manguezal no estado de São Paulo, Sudeste do país, nesse estudo os estoques ficaram entre 75,3 e 30,2 t C/ha a depender da localização das árvores analisadas dentro do manguezal. Por outro lado, Swangjang e Panishkan (2021) obtiveram valores bem maiores de t C/ha em manguezais conservados da Tailândia, com média de 81,73 t C/ha, enquanto que Kauffman (2020) analisando o estoque de carbono ABG em manguezais no norte e nordeste do Brasil teve como resultado 125,2 t C/ha.

A diferença entre o teor de carbono em vegetação de manguezal nos diversos estudos realizados sobre esse tema, reside em vários aspectos da metodologia, como afirma Rodrigues *et al.* (2014), que vão do tamanho da amostra, da parcela, do tipo de espécie mais frequente, até a escolha das equações alométricas que serão utilizadas, já que em alguns casos se usa para o cálculo da biomassa, além do DAP, a altura da planta, enquanto que em outros também é incorporada a densidade. Um outro ponto que muda entre os estudos é a porcentagem de carbono considerada na biomassa, que varia de acordo com os autores, sendo 46,33% em Swangjang e Panishkan (2021), 44% em Rovai *et al.* (2021) e 48% em Kauffman (2020) e que é escolhida de acordo com o objetivo de cada trabalho.

A partir dos dados obtidos com essa pesquisa, podemos concluir que os manguezais presentes em UCs no Ceará possuem grande capacidade de armazenar carbono, capacidade esta, que está diretamente relacionada com a área e o nível de preservação que este manguezal possui. Um exemplo é a APA Delta do Parnaíba que tem a maior área de manguezal preservado dentre as UCs analisadas e consequentemente, possui um maior estoque de carbono e CO<sub>2</sub>, com 109.078,17 t e

400.316,90 t respectivamente. Ao contrário da APA do Estuário do Rio Curu, que é a menor em tamanho que possui 352,45 t de carbono e 2.988,96 t de CO<sub>2</sub>, o que não chega a 1% do estoque presente na APA Delta do Parnaíba.

Em relação a capacidade de estoque das UCs como um todo e seu papel na mitigação das emissões de GEE do estado do Ceará, as 696.890,94 t de CO<sub>2</sub> que esse manguezal pode armazenar equivalem a 32% da quantidade de GEE emitida pelo setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta e a 66% das emissões do setor de Processos Industriais que foram respectivamente 2.153.640 CO<sub>2e</sub> (t) e 1.059.894 CO<sub>2e</sub> (t) no ano de 2022. Já se for considerar as subcategorias de emissões, a quantidade de CO<sub>2</sub> que a vegetação de manguezal consegue reter daria para compensar todas as 556.756 CO<sub>2e</sub> (t) emitidas pela indústria cimenteira no ano de 2022 (SEEG, 2024).

Esse carbono armazenado na vegetação, quando somado ao encontrado em outros depósitos, como o solo do manguezal, eleva ainda mais o potencial dessas áreas no combate e mitigação das mudanças climáticas. Segundo dados de Rodrigues (2022), que calculou a quantidade de carbono em solo de manguezal no estuário do Rio Pacoti, o estoque médio de carbono no solo de manguezal preservado para aquele estuário foi de 245,11 t C por hectare. Se utilizar esse dado como base temos que os 6.847,77 ha de manguezal preservados nas UCs do Ceará armazenam 1.678.456,90 t de carbono somente em seu solo.

Isso demonstra a importância que essas áreas possuem como sumidouro de carbono, tendo um papel fundamental na redução das emissões de GEE do estado e no alcance das metas climáticas estabelecidas pelo Brasil e pelo Ceará. Contudo, para que isso aconteça é importante que essas regiões sejam preservadas, já que a sua degradação além de reduzir a captura de CO<sub>2</sub> por meio da vegetação, também pode ter como consequência a liberação para a atmosfera desse carbono armazenado no solo, contribuindo assim no aumento das emissões de GEE (Bernardino *et al.*, 2024).

## 7 VALOR DO ESTOQUE DE CARBONO DO MANGUEZAL PRESENTE NAS UCS DA ZONA COSTEIRA DO CEARÁ NO MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO

Para o cálculo do potencial econômico desse carbono, conforme metodologia anteriormente apresentada, foi utilizada a média dos valores do crédito de carbono praticados ao longo de fevereiro de 2023 no Mercado Voluntário e no Mercado Regulado Europeu apresentados no Quadro 7:

Quadro 7 - Valor do CO<sub>2</sub> praticado nos Mercados Voluntário e Regulado.

| Quantidade de tCO <sub>2</sub> | Tipo de Mercado       | Valor do Crédito |
|--------------------------------|-----------------------|------------------|
| 696.890,94                     | Voluntário Brasileiro | R\$ 98,45        |
|                                | Regulado Europeu      | € 92,08          |

Fonte: B3 (2023) e INVESTING (2023).

Considerando esses valores e a quantidade total de CO<sub>2</sub> que está armazenada na vegetação de manguezal das 7 UCs analisadas (696.890,94 t CO<sub>2</sub>), pode-se dizer que esse carbono estocado vale **R\$ 68.608.912,65** milhões de reais. E caso ele fosse comercializado no mercado regulado europeu, ele valeria **€ 64.169.717,36 milhões de euros** ou **R\$ 346.516.473,80 milhões de reais**. A Tabela 4 apresenta o valor, em reais e em euro, do estoque de carbono presente no manguezal de cada UC analisada, já os Gráficos 6 e 7 mostram o valor desse mesmo estoque em ambos os mercados considerados no trabalho.

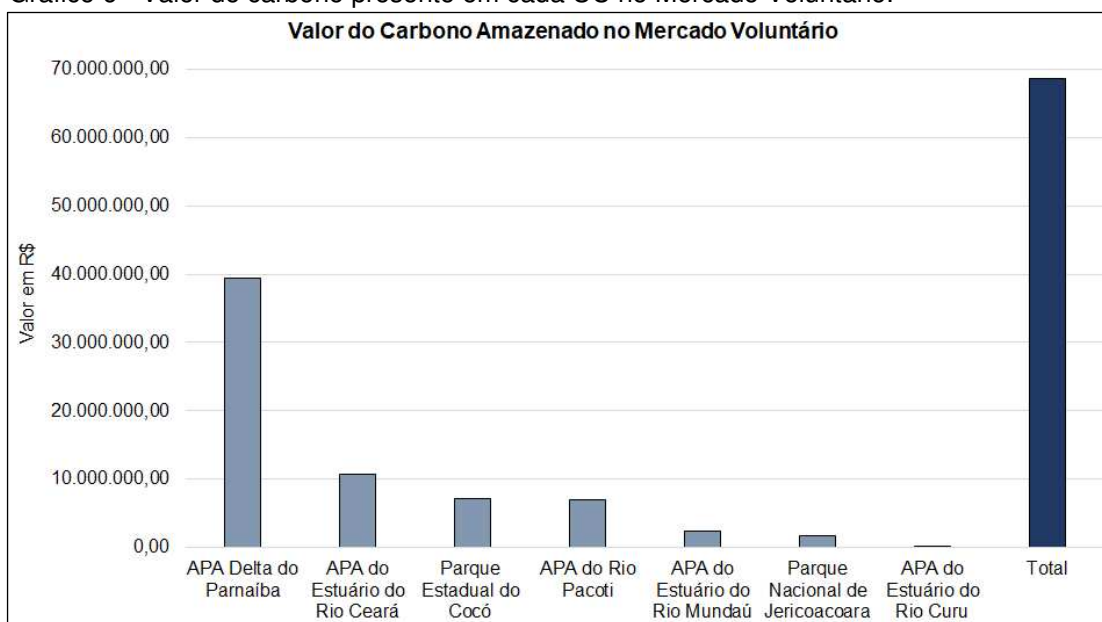
Tabela 4 - Valor monetário do estoque de carbono de cada UC analisada.

| Unidade de Conservação          | Mercado Voluntário (R\$) | Mercado Regulado Europeu (€) |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| APA Delta do Parnaíba           | 39.411.196,84            | 36.861.178,31                |
| APA do Estuário do Rio Ceará    | 10.644.464,42            | 9.955.736,75                 |
| APA do Estuário do Rio Curu     | 127.344,24               | 119.104,70                   |
| APA do Estuário do Rio Mundaú   | 2.488.359,53             | 2.327.355,46                 |
| APA do Rio Pacoti               | 7.043.633,80             | 6.587.890,30                 |
| Parque Estadual do Cocó         | 7.114.909,93             | 6.654.554,66                 |
| Parque Nacional de Jericoacoara | 1.779.003,89             | 1.663.897,18                 |
| <b>Total</b>                    | <b>R\$ 68.608.912,65</b> | <b>€ 64.169.717,36</b>       |

\*considerando o euro a R\$ 5,40

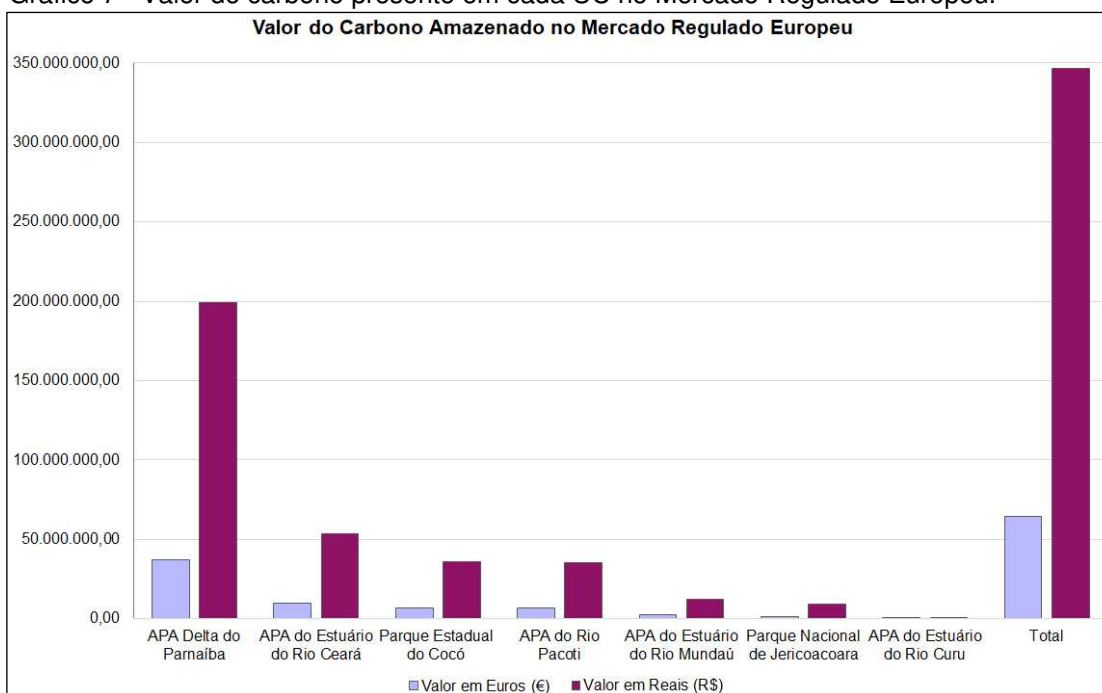
Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico 6 - Valor do carbono presente em cada UC no Mercado Voluntário.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 7 - Valor do carbono presente em cada UC no Mercado Regulado Europeu.



Fonte: Elaborado pela autora.

É importante ressaltar que esses valores são apenas projeções que representam o preço de um determinado bem em um dado momento, já que o preço dos créditos oscila diariamente, pois depende de uma série de fatores que o influenciam, como acontece com inúmeros outros ativos. Contudo, ele nos permite ter uma ideia do valor e da importância econômica que a proteção dessas áreas possui. A utilização desse potencial econômico é algo que precisa ser visto e analisado pelo

poder público, responsável pela gestão das UCs, assim como pelos proprietários das áreas de manguezal que ainda estão preservadas, pois em ambos os casos esse recurso poderia ser utilizado na manutenção e recuperação dessas regiões.

No Brasil, o projeto de lei que cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estabelece limites para emissões de GEE para alguns setores econômicos e cria um mercado de venda de títulos. Nesse mercado os créditos gerados poderão ser comercializados, vendidos pelas empresas que ficaram abaixo de suas metas e comprados pelas que precisam compensar suas emissões. Além disso, o projeto de lei prevê outras formas para a produção desses créditos e dentre elas estão os créditos gerados por APPs, por áreas de reserva legal e pelas Unidades de Conservação Integral ou de Uso Sustentável com plano de manejo (Siqueira, 2023). É nesse contexto, que entram os potenciais créditos gerados pelas UCs com manguezais existentes no Ceará, que após a criação do SBCE poderão ser comercializados tanto dentro do próprio país, por meio do seu mercado regulado, como no exterior através do mercado voluntário.

Enquanto o SBCE não se torna realidade, uma outra maneira de utilizar esse potencial econômico é por meio da criação de programas jurisdicionais nos quais os projetos de geração de créditos desenvolvidos no território do estado estariam alocados, produzindo recursos para o estado e para os donos das propriedades onde os projetos estão sendo implementados (Pereira, 2024). Atualmente, existem dois programas em operação desse tipo no Brasil, o do Tocantins e o do Acre, que englobam todo o território do estado, inclusive territórios de povos indígenas e comunidades tradicionais (Lovisi; Gabriel, 2023).

O estado do Tocantins em 2023 assinou um acordo técnico e comercial com a Mercuria Energy Trading S/A para a realização do projeto de qualificação e certificação do seu Programa de REDD+ jurisdicional, sendo o primeiro estado do Brasil a comercializar créditos de carbono no mercado de carbono voluntário. No acordo a Mercuria se compromete a investir cerca de R\$ 40 milhões na geração e registros desses créditos o que vai permitir que o Tocantins utilize os seus ativos ambientais como forma de gerar recursos que serão investidos, segundo o governo do estado, na redução da taxa de desmatamento que aumentou nos últimos anos (Dallan, 2023; Lovisi; Gabriel, 2023).

Já o governo do Acre assinou durante a COP 28, em dezembro de 2023, uma carta de intenções em que pretende vender até 10 milhões de créditos

jurisdicionais correspondentes ao carbono que deixou de ser emitido entre os anos de 2023 a 2026 em virtude do combate ao desmatamento realizado no estado (Teixeira, 2024). A estimativa é captar com essa venda, aproximadamente, U\$ 100 milhões de dólares que serão utilizados no combate ao desmatamento e em projetos que beneficiarão a população (Monteiro, 2024).

A vantagem dos programas jurisdicionais é que eles permitem que pequenas áreas que antes não eram elegíveis para o desenvolvimento de projetos de crédito de carbono possam, ao fazer parte de um programa, produzir crédito gerando renda e conservando o meio ambiente. Outro ponto positivo é que por ter uma abrangência estadual, eles evitam que o desmatamento seja direcionado para regiões vizinhas, o chamado “vazamento”, que geralmente ocorre em projetos privados que atuam em áreas menores, contribuindo assim para a redução do desmatamento e da degradação no território estadual como um todo (Dallan, 2023; Pereira, 2024; Soares, 2024). Além disso, justamente por unir diversos projetos públicos e privados em um só programa, os créditos gerados nessa modalidade não correm o risco de serem duplicados (dupla contagem) e tendem a ter um valor maior. Porém, é importante destacar que a adesão ao programa por parte dos proprietários de terra onde os projetos serão realizados deve ser voluntária (Pereira, 2024; Teixeira, 2024).

No entanto, ainda existem inúmeros desafios para que estados possam comercializar esses créditos, como a falta de clareza de como os projetos para geração de crédito de carbono elaborados pela iniciativa privada serão trabalhados dentro dos programas jurisdicionais de cada estado, já que será necessário ao contabilizar os créditos jurisdicionais, retirar os que já foram produzidos dentro das áreas privadas de modo a não comprometer a credibilidade e o valor desses créditos (Dallan, 2023).

Para isso, é fundamental que haja um alinhamento metodológico e legal para que esses projetos em áreas públicas e privadas possam coexistir. Outros pontos a serem trabalhados é a interconectividade, para uso de créditos gerados por setores não regulados, como o agroflorestal, no mercado regulado, e a integridade desses créditos, especialmente no que diz respeito aos benefícios socioambientais gerados por eles (Funke, 2023).

Ademais, para que esses créditos desenvolvidos em áreas protegidas a partir de recurso público possam contribuir na redução das metas de emissões do Brasil, é importante que na implantação de projetos de comercialização de carbono

pelos estados haja um controle em relação a sua destinação, pois se eles forem vendidos para empresas e instituições de outros países, eles acabarão contribuindo para a redução das emissões desses países e não do Brasil ou do Ceará, caso tenham sido gerados aqui, por exemplo (Dallan, 2023). Por essa razão, é necessário que haja um certo controle nesse comércio, a fim de garantir o equilíbrio entre os créditos que estão sendo produzidos e o local onde serão utilizados.

Por fim, é importante ressaltar que de todos os desafios que se apresentam no desenvolvimento de projetos para geração de crédito de carbono, seja no âmbito privado ou público, um dos mais relevantes e que ainda é fonte de diversos conflitos é a inserção das comunidades tradicionais nesses projetos. Nos últimos anos muitas denúncias vêm surgindo e dizem respeito a expulsão dessas comunidades de suas terras, mudanças no modo de vida, sobreposição de projetos privados com terras públicas, falsas promessas feitas às comunidades e irregularidades nos processos de consulta à população local (Paim; Furtado, 2024).

Um exemplo é o caso dos projetos REDD+, no qual os créditos dependem da preservação da floresta que é mantida, na maioria dos casos pelos povos e comunidades tradicionais que vivem na região e tiram dela o seu sustento, mas que acabam sendo comercializados por terceiros, que utilizam a terra das comunidades para ganhar dinheiro, sem repassar nada aos verdadeiros responsáveis pela sua preservação. Isso aconteceu na Ilha do Marajó no Pará, onde projetos privados que geram créditos de carbono ocuparam a área de duas reservas extrativistas, sem que nenhum benefício advindo desses projetos, fosse revertido aos moradores das comunidades (Anjos, 2021).

## 8 CONCLUSÃO

Determinar o valor econômico de um recurso ambiental é fazer uma estimativa do valor monetário deste bem em relação a outros bens e serviços disponíveis na economia (Motta, 1997). Saber quanto vale a natureza e inserir esse valor nos parâmetros econômicos é uma tentativa de compensar e corrigir os prejuízos ambientais oriundos do sistema de livre mercado em que boa parte da economia atual se baseia (Mattos *et al.*, 2005).

No entanto, valorar economicamente um serviço ambiental nem sempre é tarefa fácil, e apesar de existirem diversos métodos e técnicas que podem ser utilizadas para fazer a valoração monetária do meio ambiente, assim como para calcular os custos da sua degradação, ainda existem divergências quanto a classificação desses métodos, o que demonstra a complexidade da valoração ambiental (Nogueira; Medeiros; Arruda, 2000). Além disso, dar valor a algo que muitas vezes é intangível como a beleza cênica de uma paisagem, os serviços ambientais, ou a importância cultural pode ser eticamente questionado por vários grupos.

Por outro lado, se bem utilizada, a valoração ambiental pode ser uma ferramenta muito eficiente para demonstrar a importância que um dado serviço prestado pela natureza possui, assim como conscientizar uma determinada parcela da sociedade que não se interessa pelas questões ecológicas ou socioambientais, mas que enxerga e valoriza o retorno econômico que se pode obter com elas. No caso do serviço de captura e armazenamento de carbono realizado pelo manguezal, o retorno econômico que essa atividade é capaz de trazer pode ser um forte incentivo para a sua preservação, tanto por parte do poder público como da sociedade civil.

O Brasil é o segundo país em área de manguezal do mundo, possuindo cerca de 9% de todos os manguezais do planeta, contudo apesar desse número, ainda faltam estudos que identifiquem as taxas de sequestro e armazenamento de carbono dessas regiões (Rovai *et al.*, 2022). Esta pesquisa compreende a primeira estimativa de estoque de carbono e CO<sub>2</sub> em vegetação de manguezal realizada para os manguezais presentes nas UCs da zona costeira do estado do Ceará. Por meio dela, foi possível demonstrar que as sete UCs, compostas por manguezal preservado, são capazes de armazenar mais de 696 mil toneladas de CO<sub>2</sub> somente em sua vegetação, o que equivale a mais da metade as emissões do setor de Processos Industriais no Ceará no ano de 2022 (SEEG, 2024), demonstrando que essas áreas apresentam um

grande potencial como sumidouro de carbono.

Ademais, se considerarmos o valor monetário do serviço ambiental de armazenamento de carbono, prestado pelos manguezais, a sua importância passa a ser não apenas climática, mas também econômica, já que os resultados apresentados possibilitam evidenciar que o valor desse carbono armazenado pode ultrapassar os R\$ 68 milhões de reais ou € 64 milhões de euros, que se convertidos chegariam a mais de R\$ 346 milhões de reais. Esse dado é inovador e pode subsidiar o desenvolvimento de projetos voltados para a manutenção de áreas florestadas na zona costeira, por meio da comercialização dos créditos de carbono gerados por essas regiões.

Esse recurso se fosse obtido pela União, Estado e Município, responsáveis pela gestão das UCS, poderia ser revertido em ações de preservação e recuperação desse manguezal, produzindo assim um ciclo virtuoso de conservação ambiental. Ademais, com a publicação da Lei nº 18.427 de 2023 que institui a Política Estadual sobre Pagamento por Serviços Ambientais do Ceará, o sequestro, a conservação, a manutenção e o aumento do estoque de carbono passam a ser considerados legalmente serviços ambientais, o que permite que os proprietários de terras ocupadas por manguezais se tornem provedores desses serviços podendo receber o pagamento pela conservação e preservação dessas áreas.

Ao constatar com este estudo, que o manguezal conservado pode trazer benefícios financeiros, também procura-se contribuir para que velhos paradigmas que pregam a ideia de que a floresta só pode dar lucro se for derrubada, sejam revistos. Com isso, as atividades econômicas muitas vezes predatórias, que são desenvolvidas e estimuladas nos manguezais, poderiam ser alteradas, pois, considerando o valor do estoque de carbono presente neste ambiente, o custo de oportunidade de manter o manguezal conservado seria bem maior que o de degradá-lo, estimulando assim o desenvolvimento de projetos de conservação que pudessem gerar créditos de carbono para serem posteriormente comercializados.

É importante ressaltar que a presente pesquisa analisou somente o carbono armazenado na biomassa viva arbórea acima do solo da vegetação, o que representa apenas uma parcela de todo o carbono existente no manguezal, que também está presente nas raízes dessa vegetação e na própria matéria orgânica presente no solo, fatores que fazem dos manguezais fundamentais no combate às mudanças climáticas e que reforçam seu potencial econômico, já que os projetos para

venda de crédito de carbono também consideram o volume que está armazenado nesses outros compartimentos. Dessa forma, se somarmos os valores do carbono presente no ecossistema manguezal como todo, se teria recursos financeiros significativos que poderiam compensar diversas atividades econômicas que por ventura venham a degradar esse manguezal, estimulando assim os proprietários a conservar e até recuperar essas áreas.

No que diz respeito à análise econômica realizada, o estudo considerou o valor desse estoque apenas sob o ponto de vista da sua comercialização em um mercado tradicional, porém ele também poderia ser pensado a partir dos prejuízos oriundos da degradação do manguezal e da consequente perda dos serviços ecossistêmicos produzidos por ele, ou do custo para recuperar esses serviços, o chamado custo de reposição. Outro ponto importante, é que o trabalho não teve como foco desenvolver um projeto para a venda do carbono armazenado nas UCs com manguezais, mas demonstrar que existe um estoque de carbono nestas áreas protegidas e que ele possui um valor no mercado de crédito de carbono.

Como desafios que se apresentam para a comercialização do carbono presente nos manguezais das UCs do Ceará, está a necessidade de regulamentação desse comércio por parte do poder público, a ampliação do acesso a projetos para que pequenos proprietários também possam se beneficiar desse mercado, e políticas e ações que garantam às comunidades tradicionais que vivem em territórios legalmente protegidos, ou não, a oportunidade de produzir e vender créditos de carbono de forma autônoma, mantendo suas terras e de seu modo de vida.

Por fim, espera-se que este trabalho estimule pesquisas semelhantes nos manguezais, especialmente os do nordeste do Brasil, uma vez que o potencial para a mitigação das mudanças climáticas e obtenção de recursos financeiros, torna essas áreas ainda mais relevantes não apenas sob o ponto de vista ecológico, mas também social. O que demonstra, que a despeito de toda degradação, preservar e proteger essas regiões traz benefícios não somente para o meio ambiente, mas também para a economia e para a sociedade, mostrando assim que conservação ambiental e ganhos econômicos podem ser conciliados.

## REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. **The Energetics of Mangrove Forests**. Holanda: Springer, 2009.
- ALONGI, D. M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon Management**, v. 3, n. 3, 2012.
- ALONGI, D. M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. **Annual Review of Marine Science**, v. 6, n. 1, 2014.
- ALVES, J. E. D. O réveillon global mais quente da história. **EcoDebate**, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2024/01/03/o-reveillon-global-mais-quente-da-historia/>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- ALVES, R. S.; OLIVEIRA, L. A.; LOPES, P. L. Crédito de Carbono: o mercado de crédito de carbono no Brasil. *In*: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 10., 2013, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Faculdade Dom Bosco, 2013. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/2018412.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- ANJOS, A. B. Em Marajó, comunidades questionam a venda de créditos de carbono sobre seu território. **Agência Pública**, 17 dez. 2021. Disponível em: <https://apublica.org/2021/12/em-marajo-comunidades-questionam-venda-de-creditos-de-carbono-sobre-seu-territorio/>. Acesso em: 14 abr. 2024.
- ARAÚJO, B. *et al.* **Oportunidades para o Brasil em Mercados de Carbono - Relatório 2023**. WayCarbon e ICC Brasil, 2023. Disponível em: [https://www.iccbrasil.org/wp-content/uploads/2023/11/RELATORIO\\_ICCBR\\_2023.pdf](https://www.iccbrasil.org/wp-content/uploads/2023/11/RELATORIO_ICCBR_2023.pdf). Acesso em: 20 fev. 2024.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, Paraná, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES DOS MERCADOS FINANCEIRO E DE CAPITAIS (ANBIMA). **Guia de Operacionalização do CBIO**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.anbima.com.br/data/files/2B/23/E9/0F/FEF447101699D3471B2BA2A8/Guia%20de%20Operacionalizacao%20do%20CBIO.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- ATWOOD, T. B. *et al.* Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. **Nature Climate Change**, v. 7, 2017.
- B3 S. A – BOLSA BRASIL BALCÃO (B3). **CBIO - Crédito de Descarbonização. Volume Negociado**. São Paulo, 2023. Disponível em: [http://estatisticas.cetip.com.br/astec/series\\_v05/paginas/lum\\_web\\_v05\\_series\\_introducao.asp?str\\_Modulo=Ativo&int\\_Idioma=1&int\\_Titulo=6&int\\_NivelBD=2/](http://estatisticas.cetip.com.br/astec/series_v05/paginas/lum_web_v05_series_introducao.asp?str_Modulo=Ativo&int_Idioma=1&int_Titulo=6&int_NivelBD=2/). Acesso em: 14 mar. 2023.

BAI, X. *et al.* Six research priorities for cities and climate change. **Nature**, v. 555, 2018.

BANCO MUNDIAL. **Estado e Tendências da Precificação do Carbono 2021**. Washington, DC: Banco Mundial, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>. Acesso em: 16 fev. 2023.

BERNARDINO, A. F. *et al.* The inclusion of Amazon mangroves in Brazil's REDD+ program. **Nature Communications**, v. 15, n. 1549, 2024.

BETHÔNICO, T. China lança maior mercado de carbono do mundo, e Brasil fica para trás; entenda como funciona o sistema. **Folha de São Paulo**, Belo Horizonte, 28 ago. 2021. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2021/08/china-lanca-maior-mercado-de-carbono-do-mundo-e-brasil-fica-para-tras-entenda-como-funciona-o-sistema.shtml#:~:text=Como%20funciona%20para%20os%20neg%C3%B3cios,que%20conseguiram%20cortar%20suas%20emiss%C3%B5es>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, 2015. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/1190/593>. Acesso em: 17 nov. 2022.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/2979>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm). Acesso em: 12 jan. 2023.

BRASIL. **Relatório nacional voluntário sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável**. Brasília: Presidência da República, 2017. Disponível em: <https://portalods.com.br/publicacoes/relatorio-nacional-voluntario-sobre-os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 24 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Acordo de Paris**. Brasília, DF, 2020.



CHAVE, J. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, 2005.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Proposta de Marco Regulatório para o Mercado de Carbono Brasileiro**. Rio de Janeiro: CEBDS, 2021. Disponível em: [https://cebds.org/wp-content/uploads/2023/06/MERCADO-CARBONO\\_Marco-Regulatorio.pdf](https://cebds.org/wp-content/uploads/2023/06/MERCADO-CARBONO_Marco-Regulatorio.pdf). Acesso em: 20 mar. 2024.

DALLAN, J. Iniciativas jurisdicionais são bem-vindas, mas mercado de carbono brasileiro exige perenidade e alinhamento. **Um Só Planeta**, 2023. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/opiniao/colunas-e-blogs/janaina-dallan/post/2023/10/iniciativas-jurisdicionais-sao-bem-vindas-mas-mercado-de-carbono-brasileiro-exige-perenidade-e-alinhamento.ghtml>. Acesso em: 10 abr. 2024.

DEL CARO, L. Apostas em crédito de carbono animam o mercado: Mercado europeu cresceu 68% em 2020 sobre 2019, com transações de US\$ 252 bilhões. **Valor Econômico**, São Paulo, 12 ago. 2021. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/suplementos/noticia/2021/08/12/apostas-em-credito-de-carbono-animam-o-mercado-sembarreira.ghtml>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 2001.

DINILHUDA A. *et al.* Potentials of mangrove ecosystem as storage of carbon for global warming mitigation. **Biodiversitas**, v. 21, n. 11, 2020.

DUARTE, W. J. B. Tratados e conferências climáticas: uma cronologia geral e da participação do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE**. São Paulo, v. 8, n. 8, 2022.

DYCK, M.; STRECK, S.; TROUWLOON, D. O ABC do Mercado Voluntário de Carbono. **VCM Primer**, 2023. Disponível em: [https://vcmprimer.org/wp-content/uploads/2023/12/vcm-explained-fullreport\\_portuguese.pdf](https://vcmprimer.org/wp-content/uploads/2023/12/vcm-explained-fullreport_portuguese.pdf). Acesso em: 20 mar. 2024.

ESTEVO, J. S.; RODRIGUES, E. C. F. COP 15 e COP 21: dois momentos da política externa brasileira para mudanças climáticas. *In*: **9º Congresso Latino-Americano de Ciência Política**, 2017, Montevideu. Disponível em: <http://www.congresoalacip2017.org/arquivo/downloadpublic2?q=YToyOntzOjY6InBhcFtcyl7czozNToiYToxOntzOjEwOiJJRF9BUiFVSZVZPljtzOjQ6IjIwNzU0I30iO3M6MT0iaCI7czozMjoiZDVkMTgyNzQxOGM4MDNkZjVIY2E5YjM0ZjQxOWRhMjQiO30%3D>. Acesso em: 14 jan. 2023.

ESTRADA, G. C. D. *et al.* Allometric models for aboveground biomass estimation of the mangrove *Avicennia schaueriana*. **Hydrobiologia**, 2014.

FERREIRA, A. C. *et al.* Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. **Ocean & Coastal Management**, v. 110, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2020 - Key findings**. Roma, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8753en>. Acesso em: 09 jun. 2023.

FRIESS, D. A. *et al.* Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. **Oceanography and Marine Biology**, v. 58, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780429351495-3>. Acesso em: 22 jan. 2024.

FRONDIZI, I. M. R. L. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Guia de Orientação 2009**. Rio de Janeiro: FIDES, 2009. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/guia\\_mdl\\_mct\\_2009.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/guia_mdl_mct_2009.pdf). Acesso em: 20 de jan. 2023.

FUNKE, M. Com regras, Brasil pode ser protagonista em créditos de carbono. **Valor Econômico**, Revista Sustentabilidade, 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/revista-sustentabilidade/noticia/2023/08/31/com-regras-brasil-pode-ser-protagonista-em-creditos-de-carbono.ghtml>. Acesso em: 04 jan. 2024.

GRASSO, M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Economic valuation of mangrove ecosystems. In: MAY, P.H. (org.) **Natural resource valuation and policy in Brazil: methods and cases**. Nova York: Columbia Univ. Press, 1999.

HIGA, R. C. V. *et al.* **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, Paraná, 2014.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. Disponível em: [https://ava.icmbio.gov.br/pluginfile.php/4592/mod\\_data/content/14085/atlas%20dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://ava.icmbio.gov.br/pluginfile.php/4592/mod_data/content/14085/atlas%20dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em: 18 fev. 2023.

INVESTING. **Crédito Carbono Futuros - Dados Históricos**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>. Acesso em: 13 mar. 2023.

JIA, M. *et al.* Mapping global distribution of mangrove forests at 10-m resolution. **Science Bulletin**, v. 68, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095927323003110?via%3Dihub>. Acesso em: 04 fev. 2024.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. **Ecological Monographs**, v. 90, n. 2, 2020.

LANA, M. D. **Carbono em vegetação lenhosa da caatinga e viabilidade econômica de manejo**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Programa

de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2017. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/mayara\\_dalla\\_lana.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/mayara_dalla_lana.pdf). Acesso em: 26 nov. 2022.

LEAL, M.; SPALDING, M. D. **The State of the World's Mangroves 2024**. Global Mangrove Alliance, 2024.

LOVISI, P.; GABRIEL, J. Estados travam mercado de carbono na Câmara e já vendem créditos para estrangeiros. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 8 dez. 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2023/12/estados-travam-mercado-de-carbono-na-camara-e-ja-vendem-creditos-para-estrangeiros.shtml>. Acesso em: 26 mar. 2024.

MACIEL, C. V. *et al.* Crédito de Carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Revista de Informação Contábil**, Pernambuco, v. 3, 2009.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2 ed. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/986/1/mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas%20globais%20e%20seus%20efeitos%20.....pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MARTINS, L. B. B. *et al.* Processo de geração e negociação e forma de contabilização de créditos de carbono: um estudo de caso. **Custos e @gronegócios on line**, Pernambuco, v. 10, n. 2, 2014.

MATTOS, K. M. C. *et al.* Valoração econômica do meio ambiente dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 2, 2005.

MAULANA, M.; AULIAH, N.; ONRIZAL. Potential carbon storage of Indonesian mangroves. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2021.

MEDEIROS, T. C. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. **Wetlands Ecol Manage**, v. 16, 2008.

MONTEIRO, H. A fim de reduzir desmatamento, Acre é o 1º estado do país a aderir selo para venda de créditos de carbono. **G1**, Rio Branco, 22 jan. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/natureza/amazonia/noticia/2024/01/22/a-fim-de-reduzir-desmatamento-acre-e-o-1o-estado-do-pais-a-aderir-selo-para-venda-de-creditos-de-carbono.ghtml>. Acesso em: 10 abr. 2024.

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, n. 1, 2015.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F. S. T. Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 81-115, 2000.

OLIVEIRA, V. S. **Percepção social acerca da degradação ambiental e medidas de qualidade de água do rio Paraíba do Sul no trecho entre Itaocara e São João da Barra, RJ**. 2006. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://www.institutomilenioestuários.com.br/pdfs/Monografias/4\\_OliveriraVS2006percricao.pdf](http://www.institutomilenioestuários.com.br/pdfs/Monografias/4_OliveriraVS2006percricao.pdf). Acesso em: 22 nov. 2022.

OLIVEIRA, M. R.; SILVA, G. H. Determinação da taxa de crescimento das cotações do volume de crédito de carbono praticado no Brasil. **Revista de Administração de Roraima - UFRR**, Boa Vista, v. 6 n. 2, 2016.

PACHECO, P.; CÁRDENAS, C. **O que é REDD+ Jurisdicional?** Forest Trends, Washington DC, 2022. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/04/CARTILLA-1-POR.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

PAIM, E. S.; FURTADO, F. P. **Em nome do clima: mapeamento crítico - transição energética e financeirização da natureza**. São Paulo: Fundação Rosa Luxemburgo, 2024. Disponível em: <https://rosalux.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Em-nome-do-clima-mapeamento-critico.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa Volume 4: agricultura, silvicultura e outros usos do solo**. Japão: IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 17 nov. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Suplemento de 2013 às Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa**. Suíça: IPCC, 2014. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf). Acesso em: 02 mar. 2023.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Mudança Climática 2021: a base das ciências físicas**. Resumo para formuladores de políticas. Suíça: IPCC, 2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf). Acesso em: 10 jan. 2023.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Mudança Climática 2023: relatório síntese**. Resumo para formuladores de políticas. Suíça: IPCC, 2023. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf). Acesso em: 27 mai. 2023.

PEREIRA, L. V. Mercado de carbono: a pressa é inimiga da perfeição. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 2024. Opinião. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2024-jan-17/mercado-de-carbono-a-pressa-e-inimiga-da-perfeicao/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

PINTO, L. M. *et al.* Sequestro de carbono atmosférico no bosque do manguezal da APA da Serra do Guararú, Guarujá-SP. **UNISANTA Bioscience**, v. 6, n. 1, 2017.

PORTILLO, J. T. M.; LONDE, V.; MOREIRA, F. W. A. Aboveground biomass and carbon stock are related with soil humidity in a mangrove at the Piraquê-Açu River, Southeastern Brazil. **J Coast Conserv**, v. 21, 2017.

POTENZA, R. F. *et al.* **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2020)**. SEEG, 2021. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2020>. Acesso em: 20 jan. 2023.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered**. Nairobi, Quênia, 2021. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36990/EGR21.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

PROGRAMA NACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.

PROLO, C. D. *et al.* **Explicando os mercados de carbono na era do Acordo de Paris**. Rio de Janeiro: Instituto Clima e Sociedade, 2021. Disponível em: <https://laclima.org/files/explicando-mercados-rev.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

RODRIGUES, A. Nossa Mãe Terra. O que são as mudanças climáticas? A influência das atividades humanas na temperatura do planeta. **O Povo**, Fortaleza, 2010.

RODRIGUES, D. P. *et al.* Variability of carbon content in mangrove species: Effect of species, compartments and tidal Frequency. **Aquatic Botany**, v. 120, 2014.

RODRIGUES, J. V. M. **Carbono azul no semiárido nordestino: estoque de carbono do solo de um manguezal em recuperação no estuário do rio Pacoti, CE**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/66013/1/2022\\_dis\\_jvmrodrigues.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/66013/1/2022_dis_jvmrodrigues.pdf). Acesso em: 20 nov. 2023.

RODRIGUEZ, C. R. M. **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. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JSQ4PS>. Acesso em: 12 nov. 2022.

ROSA, F. Mecanismo de Ajuste de Carbono nas Fronteiras (CBAM) da EU. **Carbon Credit Consulting**, 2023. Disponível em: <https://carboncreditsconsulting.com/pt-br/mecanismo-de-ajuste-de-carbono-nas-fronteiras-cbam-da-ue/>. Acesso em: 29 mar. 2024.

ROVAI, A. S. *et al.* Scaling mangrove aboveground biomass from site-level to continental-scale. **Global Ecology and Biogeography**, 2015.

ROVAI, A. S. *et al.* Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 479, 2021.

ROVAI, A. S. *et al.* Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2022.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. 1. ed. Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 2009. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/guia\\_carbono.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/guia_carbono.pdf). Acesso em: 25 ago. 2022.

SANTOS, I. R.; BELTRÃO, N. E. S.; TRINDADE, A. R. Carbono “Azul” nos Manguezais Amazônicos: conservação e valoração econômica. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 31, n. 1, 2019.

SIQUEIRA, C. **Câmara aprova projeto que regulamenta o mercado de carbono no Brasil**. Agência Câmara de Notícias. 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1029046-camara-aprova-projeto-que-regulamenta-o-mercado-de-carbono-no-brasil-acompanhe/>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Observatório do Clima**, 2024. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission). Acesso em: 02 mai. 2024.

SOARES, M. Como o Brasil utilizará o mercado de carbono para atingir seus objetivos de desenvolvimento. **Exame**, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://exame.com/esg/como-o-brasil-utilizara-o-mercado-de-carbono-para-atingir-seus-objetivos-de-desenvolvimento/>. Acesso em: 22 fev. 2024.

SOLOMON, S. *et al.* **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm). Acesso em: 19 jan. 2023.

SOUZA, A. L. R.; ALVAREZ, G.; ANDRADE, J. C. S. Mercado Regulado de Carbono no Brasil: um ensaio sobre divergências contábil e tributária dos créditos de carbono. **Organizações & Sociedade**, Bahia, v. 20, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/osoc/a/DWXT3BmCyyXRtk7yDwdrPpG/?lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SPALDING, M.; KAINUMA, M.; COLLINS, L. **World atlas of mangroves**, London: Earthscan/James and James, 2010.

SPALDING, M. D.; LEAL, M. **The State of the World's Mangroves 2021**. Global Mangrove Alliance, 2021.

STEPHENSON, N. *et al.* Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. **Nature**, v. 507, n. 7490, 2014.

SWANGJANG, K.; PANISHKAN, K. Assessment of factors that influence carbon storage: An important ecosystem service provided by mangrove forests. **Heliyon**, v. 7, 2021.

TANAKA, K.; RENTERIA, N. **Proposta de marco regulatório para o mercado de carbono brasileiro**. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS, 2021.

TEIXEIRA, S. O plano do Acre para vender um novo tipo de crédito de carbono. **Reset**, 2024. Disponível em: <https://capitalreset.uol.com.br/carbono/o-plano-do-acre-para-vender-um-novo-tipo-de-credito-de-carbono/>. Acesso em: 25 mar. 2024.

THIERS, P. R. L.; MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, J. O. **Manguezais na costa oeste cearense**: preservação permeada de meias verdades. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2016.

THOMAS, N. *et al.* Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996 – 2010. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, 2017. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0179302>. Acesso em: 20 mar. 2024.

THORSTENSEN, V.; ZUCHIERI, A. M.; MOTA, C. R. CBAM - O mecanismo de ajuste de carbono da fronteira da EU. **Revista de Direito do Comércio Internacional**, n. 5, 2022. Disponível em: [https://ccgi.fgv.br/sites/default/files/2023-05/CBAM\\_Vera\\_Amanda\\_Cathe.pdf](https://ccgi.fgv.br/sites/default/files/2023-05/CBAM_Vera_Amanda_Cathe.pdf). Acesso em: 07 mar. 2024.

VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças Climáticas: Desafios e Oportunidades para a Conservação da Biodiversidade Brasileira. **Oecologia Brasiliensis**. Brasília, 2009.

VARGAS, D. B.; DELAZERI, L. M. M.; FERREIRA, V. H. P. **Mercado de carbono voluntário no Brasil**: na realidade e na prática. Fundação Getúlio Vargas – FGV, 2022.

VIRI, N. Por que o Santander comprou a WayCarbon. **Reset**, 2022. Disponível em: <https://capitalreset.uol.com.br/carbono/creditos-de-carbono/santander-compra-consultoria-de-esg-e-reforca-servicos-climaticos/#:~:text=O%20Santander%20j%C3%A1%20se%20comprometeu,bilh%C3%B5es%20de%20euros%20at%C3%A9%202030>. Acesso em: 15 jan. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2022**. Suíça: WMO, n. 19, 2023. Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/68532-no-19-15-november-2023>. Acesso em: 18 mar. 2024.