

SILVICULTURA DE ESPÉCIES NATIVAS COMO ALTERNATIVA PARA COMPENSAÇÃO DE CARBONO: ESTUDO DE CASO

Bruna Jacques Lopes – brunajacqueslopes@gmail.com

Universidade Luterana do Brasil, Engenharia Ambiental e Sanitária
Av. Farroupilha, 8001
92425900 – Canoas – RS

Nádia Teresinha Schröder – nadia.schroder@gmail.com

Universidade Luterana do Brasil, Engenharia Ambiental e Sanitária

Renata Farias Oliveira – renata@rebambiental.com.br

Universidade Luterana do Brasil, Engenharia Ambiental e Sanitária

Resumo: O projeto de Compensação de Carbono desenvolvido para uma empresa em Bom Princípio, RS, em 2022, é um esforço no sentido de mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) gerada nos anos de 2019, 2020 e 2021. O estudo se concentrou no plantio de sete espécies arbóreas nativas (Açoita-cavalo, Angico-vermelho, Cabreúva, Cedro, Guajuvira, Ipê-roxo e Louro-Pardo) selecionadas com base no histórico de seu bom desenvolvimento. Os resultados indicam que a empresa emitiu 505,23 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), e o projeto visa neutralizar essas emissões por meio do sequestro de carbono pelas árvores. O projeto aderiu às diretrizes da United Nations Framework Convention Climate Change (UNFCCC) e buscou avaliar a viabilidade econômica a longo prazo, considerando custos de implantação e benefícios ambientais. Isso destaca a preocupação da empresa em alinhar suas práticas com padrões internacionais e a importância de equilibrar preocupações ambientais com considerações financeiras.

Palavras-chave: Compensação de Carbono. Árvores Nativas. Viabilidade Econômica. Sustentabilidade Ambiental.

FORESTRY OF NATIVE SPECIES AS AN ALTERNATIVE FOR CARBON OFFSET: CASE STUDY

Abstract: The Carbon Offset project developed for a company in Bom Princípio, RS, in 2022, is an effort to mitigate Greenhouse Gas (GHG) emissions generated in the years 2019, 2020 and 2021. The study focused in the planting of seven native tree species (Açoita-cavalo, Angico-vermelho, Cabreúva, Cedro, Guajuvira, Ipê-roxo and Louro-Pardo) selected based on the history of their good development. The results indicate that the company emitted 505.23 tons of carbon dioxide equivalent (tCO₂e), and the project aims to neutralize these emissions through carbon sequestration by trees. The project adhered to the guidelines of the United Nations Framework Convention Climate Change (UNFCCC) and sought to evaluate long-term economic viability, considering implementation costs and environmental benefits. This highlights the company's concern to align its practices with international standards and the importance of balancing environmental concerns with financial considerations.

Keywords: Carbon Offset. Native Trees. Economic viability. Environmental Sustainability.

Realização

ABES-RS

PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br



1. INTRODUÇÃO

A silvicultura é uma atividade sustentável, pois promove o reflorestamento de áreas degradadas e a conservação da biodiversidade. Além disso, a produção florestal também contribui para a preservação do solo, da água e do clima, reduzindo assim os impactos ambientais causados pela atividade humana (RINGRANTEC, 2023). Ela pode ser aplicada na manutenção, no aproveitamento e no uso consciente de florestas e, também define o momento e forma como será feita a intervenção neste habitat, para que se obtenha rendimentos elevados, sem prejudicar o equilíbrio ecológico (BARROS, 2021). Todas essas vantagens fazem da silvicultura uma atividade estratégica para o desenvolvimento econômico e ambiental do Brasil.

O Instituto Brasileiro de Florestas (IBF, 2020) salienta a importância do plantio de árvores e da criação de florestas, para mitigar os efeitos adversos das emissões, que funcionam como mecanismos eficazes de sequestro de carbono. Este processo envolve a absorção de CO₂ do meio ambiente e sua subsequente fixação na biomassa das plantas.

A fixação de carbono é o processo pelo qual o CO₂ é incorporado em compostos orgânicos pelas plantas durante a fotossíntese. A fixação de carbono é um processo biológico natural que contribui para o sequestro de carbono, mas não inclui o armazenamento a longo prazo do carbono fixado. As florestas, por exemplo, são importantes para a fixação de carbono, pois convertem grandes quantidades de CO₂ em biomassa (AMADO, 2020; SANTANA *et al.*, 2021). Ambos os processos são cruciais para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e combater as mudanças climáticas. Enquanto a fixação de carbono é um processo natural e essencial para o crescimento das plantas, o sequestro de carbono inclui tanto processos naturais quanto tecnológicos para remover e armazenar CO₂ a longo prazo.

No contexto brasileiro, a regulamentação do mercado de créditos de carbono representa um avanço significativo. A criação desse mercado é uma recomendação do Protocolo de Kyoto e visa a redução da concentração de GEE no planeta (BAYER, 2013). O mercado de créditos de carbono, tanto em âmbito nacional quanto global, oferece às empresas dados e parâmetros para planejar seu impacto ambiental e promove oportunidades de monetização de áreas preservadas (GIACOMELLI SOBRINHO, 2023).

As florestas desempenham um papel importante na captura do CO₂ da atmosfera, atuando como sumidouros de carbono para uma parte das emissões antrópicas de GEE, contribuindo assim para as metas de mitigação das mudanças climáticas. Quando plantadas com fins econômicos, as árvores proporcionam uma fonte de renda de longo prazo e aumentam o suprimento de madeira para fins industriais (celulose, papel, móveis e painéis de madeira), para energia (carvão e lenha) e construção. A utilização de árvores plantadas também reduz a pressão sobre as florestas naturais. Produtos madeireiros de longa duração, como madeira para construção e móveis, têm um saldo positivo na captura de CO₂, mas o mesmo não ocorre para a madeira produzida para energia, celulose e papel. É importante destacar que a madeira é atualmente considerada como um dos produtos prioritários para o financiamento de obrigações ambientais (KNOCH & VAN DER PLASKEN, 2020).

O instrumento financeiro dos créditos de carbono foi concebido com a finalidade de servir como um incentivo econômico para a redução das emissões de GEE, partindo da lógica do poluidor de pagar pelos danos que causa. No entanto, o desenvolvimento do referido mecanismo não foi isento de adversidades, como os questionáveis resultados efetivos na redução de emissões, seu uso por grandes indústrias e países para acessar a utilização marginal dos recursos pelo Terceiro Mundo e, mais recentemente, a crise econômica na Europa, que colocou outras questões na ordem do dia em detrimento deste tipo de iniciativa, que acentuou as críticas (XIMENES & FERREIRA, 2021).

Deve-se fazer a seguinte reflexão: reduzir as emissões de carbono é um dever moral, especialmente nos países industrializados, que emitem mais per capita. Como mercantilizar um dever moral? Como substituir a autorresponsabilidade por um papel que ela desempenha o mérito de outro?



Apesar disso, acredita-se que os títulos podem ser um mecanismo que internalizado pelo terceiro mundo pode gerar cenários de crescimento econômico genuinamente sustentável, promovendo, por um lado, o acesso a fontes de financiamento para as indústrias aumentarem sua capacidade produtiva e, por outro, gerem uma externalidade positiva, recorrendo a mecanismos de desenvolvimento limpo para marcar o crescimento econômico desses países (VALADA & DOS SANTOS, 2019).

O processo de certificação de créditos de carbono consiste em sete etapas. A primeira etapa consiste na elaboração do projeto de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que posteriormente será validado e aprovado. Após a emissão da carta de aprovação, o projeto MDL é registrado no Conselho Executivo (CE), órgão das Nações Unidas. Após o registro, monitoramento das atividades do projeto de MDL e verificação dos relatórios de monitoramento por Entidade Operacional Designada (EOD). Portanto, como o projeto de MDL reduz os gases atmosféricos de efeito estufa (GEE), o Conselho emitirá um Certificado de Permissões de Emissão. Os titulares de RCE's, uma vez certificados, poderão negociar esses títulos por meio de contratos bilaterais de cessão ou por meio de leilões organizados pela Bolsa de Mercadorias e Futuro (B3). Assim, todos negociam seus títulos de carbono de acordo com seus interesses e limites legais, de acordo com a atividade que exercem (XIMENES & FERREIRA, 2021).

Nas futuras B3s, os estados e municípios brasileiros estão explorando formas de tributar essas operações. No entanto, para definir a forma adequada de tributação, é importante ajustar a natureza jurídica das reduções certificadas de emissões: bens ambientais, ativos financeiros, serviços, valores mobiliários e bens puramente intangíveis. Devido à natureza jurídica das RCE's por não serem commodities ou bens tangíveis, não podem ter ICMS, imposto estadual de concorrência, nestas operações. Quanto ao ISSQN, uma vez que não há "sessão de serviço" na negociação de créditos de carbono, fica claro que o governo brasileiro precisa promulgar uma lei especificando a natureza puramente intangível dos créditos de carbono gerados e vendidos internamente e empresas internacionais que desejam mais clareza sobre o negócio conduzido e promovê-lo e tributação apropriada para parte da União porque estados e autoridades locais não podem cobrar impostos sobre transações comerciais com licenças de emissão (ALMEIDA *et al.*, 2018).

O Protocolo de Gases de Efeito Estufa (GHG Protocol), é o padrão internacional mais utilizado para a contabilidade e relatório de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Foi desenvolvido por uma parceria entre o *World Resources Institute* (WRI) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). O GHG Protocol é uma ferramenta útil para empresas que buscam não apenas cumprir com regulamentações e políticas ambientais, mas também para aquelas que visam melhorar sua sustentabilidade corporativa e transparência para com stakeholders. Este protocolo fornece ferramentas e orientações para empresas e governos quantificarem e gerenciarem suas emissões de GEE. O GHG Protocol é dividido em três escopos:

1. Escopo 1: Emissões diretas da empresa, provenientes de fontes que são de propriedade ou controladas pela empresa, como emissões de combustíveis queimados em caldeiras, veículos etc.
2. Escopo 2: Emissões indiretas associadas à geração de eletricidade, calor ou vapor comprados pela empresa.
3. Escopo 3: Outras emissões indiretas, como a extração e produção de materiais adquiridos, transporte de produtos comprados e uso de produtos vendidos.

A restauração e o reflorestamento da paisagem e de florestas são formas economicamente viáveis para mitigar o aquecimento global (WRI BRASIL, 2021) e, simultaneamente, garantir a conservação da biodiversidade, o fornecimento de serviços ambientais, bem como oportunidades de geração de emprego e renda. Em virtude da grande demanda e modernidade tem se buscado cada vez mais alternativas para promover melhorias no meio ambiente. A silvicultura com espécies nativas tem um grande potencial para a compensação de carbono, atuando como medida mitigadora das mudanças climáticas, na conservação da biodiversidade, gerando benefícios econômicos e sociais. Neste contexto, este estudo objetivou analisar o potencial da silvicultura de espécies nativas como uma alternativa eficaz para a compensação de carbono e avaliar os impactos na biodiversidade e na economia.



2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso referente ao Projeto de Compensação de Carbono (GEE), de uma empresa localizada no município de Bom Princípio - RS e, que realizou o monitoramento das mudas plantadas em 2022 para a compensação dos anos 2021, 2020 e 2019. As mudas escolhidas para o plantio foram sete espécies arbóreas nativas que nos anos anteriores tiveram melhor desenvolvimento (Açoita-cavalo, Angico-vermelho, Cabreúva, Cedro, Guajuvira, Ipê-roxo e Louro-Pardo). O projeto seguiu as diretrizes de florestamento ou reflorestamento da *United Nations Framework Convention Climate Change* (UNFCCC, 2022) e a norma AR - ACM0003 A/R Large – scale Consolidated Methodology: Afforestation and reforestation of lands except wetlands Version 02.0 ratificada pela norma brasileira ABNT NBR ISO 14064-2. A ferramenta metodológica AR - Tool 19-V2 foi utilizada pela equipe de consultoria ambiental que definiu a área a ser estudada. Considerando as regras de elegibilidade de área para plantios, as áreas de preservação permanente (APP) e áreas onde existiam florestas de 31 de dezembro de 1989 em diante não puderam ser utilizadas (VALADA & DOS SANTOS, 2019). Outros instrumentos foram essenciais para auxiliar nas visitas, como o GPS, drone, fita métrica, máquina fotográfica, planilha e EPIs, bem como a realização de pesquisa rural com a participação de funcionários e moradores da região. As delimitações das áreas em campo foram feitas por meio de cartas topográficas do exército, base da Embrapa e imagens de satélite do Google Earth Pro. Foi observada também a qualidade do terreno, os tipos de espécies, o espaçamento e o crescimento das mudas. Para estes cálculos foram considerados como sumidouro de CO₂: a biomassa acima do solo (incluindo galhos e troncos) somada a biomassa abaixo do solo (sistema radicular). Foram plantadas e contabilizadas sete espécies e cada uma teve seus cálculos de projeção de acumulação individualizados conforme os fatores: fator forma; volume (toras, copa e raízes); densidade da madeira e; a taxa de carbono no tecido lenhoso, que na ausência de uma referência específica, usou-se 0,5 (UNFCCC, 2017).

Considerando a respectiva área, poderiam ser plantadas 1.667 mudas por hectare, porém, descontados os aceiros e o acessos, totalizaram 1.500 mudas por hectare. Para o plantio de mudas é usualmente recomendado o espaçamento 3,00 x 2,00 m e 2,00 x 2,00 m (NAVE *et al.*, 2015; EMBRAPA, 2023). Neste estudo optou-se por utilizar o espaçamento de 3,00 x 2,00 m. Nos meses de junho a agosto de 2023, foram plantadas mudas arbóreas de grande porte, na margem direita do Arroio Forromeco, em Bom Princípio. Nos três primeiros meses foram realizadas vistorias mais frequentes, a fim de se observar a existência de pragas, de se realizar o coroamento – poda da vegetação que estiver num raio de 30 cm das mudas arbóreas e aplicar algum defensivo e/ ou insumo se necessário ou até replantio de mudas comprometidas.

As equações utilizadas para se estimar o volume de árvores foram baseadas no diâmetro à altura do peito (DAP), na altura da árvore (H) e no fator de forma (f). O fator de forma é obtido pela divisão do volume real da árvore pelo volume de um cilindro de diâmetro DAP e o seu comprimento ou altura (H) (PELISSARI *et al.*, 2011). Quanto mais cilíndrico o tronco, mais próximo de 1,0 é o fator de forma. A fórmula de volume utilizada é composta por um coeficiente de ajuste (0,7854) que se mostrou, um corretor muito eficiente para o cálculo de volume de variadas espécies arbóreas. Assim, o modelo de uma equação de volume total com casca (V) é: $V = 0,7854 \times f \times DAP^2 \times H$ Onde: V = Volume total com casca; f = Fator de forma; DAP = Diâmetro à Altura do Peito; H = Altura (ALMEIDA *et al.*, 2020)

A equação de absorção de dióxido de carbono é composta por fatores como o volume de cada árvore (m³), a densidade básica da madeira (g/cm³ ou kg/m³) e a quantidade de carbono nos tecidos (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Os resultados foram obtidos em quilogramas, mas transformados em tonelada (t). Estes três itens variam conforme a espécie. A densidade vem da relação entre peso seco/peso úmido e a taxa de carbono, em média, é de 50% da composição da biomassa. Segundo a Tool 14 versão 4.2, a proporção é de 1 mg biomassa = 0,5 mg carbono.

O valor de carbono fixado foi multiplicado por 3,6667, que é o fator de Conversão de CO₂ para C, ou seja, é a razão entre a massa molecular do dióxido de carbono (CO₂) igual a 44 e a massa atômica do carbono (C) igual a 12 (HOEN & SOLBERG, 1994, BALBINOT 2004, SANQUETTA *et al.*, 2014).



Geralmente, a densidade de árvores maduras é maior do que em árvores novas. Ainda que variáveis, os valores da densidade da madeira, por serem estudadas há mais tempo, foram obtidos nas revisões bibliográficas (Carvalho, 2008; Lorenzi, 2008). Assim sendo a fórmula para se calcular a proporção de carbono foi $C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 640 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$; onde Volume total (Vol.), Densidade da Biomassa (DB) e Proporção de Carbono (C).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxos de CO₂ entre a atmosfera e os ecossistemas são prioritariamente controlados pela fixação de carbono através da fotossíntese e liberação de CO₂ via respiração, decomposição e combustão de matéria orgânica (IPCC, 2006). Neste contexto, os resultados apresentados no projeto de 2022 contabilizou 505,23 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) nos anos de 2021, 2020 e 2019 e apresentou as formas de neutralização dessas emissões. Isso foi possível a partir das sete espécies arbóreas nativas selecionadas para o plantio e que apresentaram melhor desenvolvimento (Açoita-cavalo, Angico-vermelho, Cabreúva, Cedro, Guajuvira, Ipê-roxo e Louro-Pardo). Considerando a respectiva área poderiam ser plantadas por hectare 1.667 mudas, porém, descontados os aceiros e o acessos, totalizaram pelo menos 1.500 mudas por hectare. Para cada uma dessas espécies foram realizados cálculos de projeção de acumulação individualizados de acordo com os seguintes critérios: fator forma; volume (toras, copa e raízes); densidade da madeira e taxa de carbono no tecido lenhoso, que na ausência O estudo foi projetado para ter validade por 20 anos (2023 a 2043), período em que a área mapeada estará destinada à assimilação das emissões de carbono do ano de 2022. Ao longo destes anos será realizado o monitoramento da área, com intuito de garantir que o sequestro de carbono projetado seja realizado.

Em relação ao volume de árvores, quanto mais cilíndrico o tronco, mais próximo de 1,0 é o fator de forma. O fator de forma de uma araucária em idade avançada, por exemplo, pode ultrapassar 0,80. Assim, foram realizadas equações de volume com fatores forma de acordo com as sete espécies selecionadas (Tabela 01).

Tabela 01. Cálculos para Compensação de Emissões de GEE em 2022

Nome Popular	Fator Forma	Projeção Vol. Copa	Vol. Aéreo = Vol. tronco x Projeção Vol. Copa (m ³)	Proj. Vol. Radicular	Vol. Rad. (m ³)	Vol. Total (m ³)
Açoita - Cavalo	0,60	40%	$VA = (0,7854 \times 0,60 \times DAP^2 \times H) \times 1,40$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Angico - Vermelho	0,60	35%	$VA = (0,7854 \times 0,60 \times DAP^2 \times H) \times 1,35$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Cabreúva	0,65	30%	$VA = (0,7854 \times 0,65 \times DAP^2 \times H) \times 1,30$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Cedro	0,65	35%	$VA = (0,7854 \times 0,65 \times DAP^2 \times H) \times 1,35$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Guajuvira	0,50	40%	$VA = (0,7854 \times 0,50 \times DAP^2 \times H) \times 1,40$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Ipê - Roxo	0,60	30%	$VA = (0,7854 \times 0,60 \times DAP^2 \times H) \times 1,30$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$
Louro - Pardo	0,65	25%	$VA = (0,7854 \times 0,65 \times DAP^2 \times H) \times 1,25$	35%	$VR = VA \times 0,35$	$VT = VA + VR$

Fonte: Projeto de Compensação GEE da empresa em estudo (2023).

Cabe destacar que Alencar *et al.* (2017) registraram o fator forma para o Cedro, com 0,7 no fuste e 0,6 na copa. Neste estudo optou-se por um *ff* de valor intermediário 0,65 para o cedro. Schneider *et al.* (2001) descreveram a tendência crescente do fator forma com o passar dos anos. Em uma pesquisa com o Açoita – Cavalo obtiveram 0,48 aos cinco anos de idade e chegaram a observar o *ff* igual a 0,91 em árvores com 60 anos de idade. Para o cálculo do açoita-cavalo optou-se por um fator forma igual 0,60, a partir da análise de valores conservadores e tempo de cultivo.

Quanto a copa das árvores, Silva (1996) apontou que nas árvores jovens, as folhas e galhos contribuem com uma parcela maior no total de biomassa da árvore. À medida que as árvores se tornam adultas, este processo se inverte, cabendo ao tronco a maior parte do total de biomassa da árvore.



No estudo desenvolvido por Watzlawick (2003), em Floresta Ombrófila Mista foi quantificada a distribuição da biomassa acima do solo e seguiu a seguinte ordem decrescente: galhos vivos (45,01%) > madeira do fuste (40,53%) > casca do fuste (9,99%) > folhas (2,40%) > galhos mortos (1,16%) > e miscelânea (0,97%). Nesta pesquisa, o volume da copa assumiu critério conservador em que a copa, mesmo a volumosa como a da Guajuvira, por exemplo, não passou de 40% do volume total do fuste.

O crescimento das espécies vegetais é diretamente proporcional à assimilação do gás carbônico pela fotossíntese. A partir da determinação do estoque de carbono potencial de cada espécie de árvore, é possível prever quanto cada plantio irá sequestrar de CO₂. A absorção de dióxido de carbono depende de fatores como o volume de cada árvore (m³), a densidade básica da madeira (g/cm³ ou kg/m³) que vem da relação entre peso seco/peso úmido e a quantidade de carbono nos tecidos, cuja taxa de carbono, em média, é de 50% da composição da biomassa.

Na rota inversa da neutralização do dióxido de carbono, a quantidade de biomassa em uma floresta está relacionada à quantidade de CO₂ que pode ser emitida para a atmosfera após a queimada de uma floresta. A biomassa fornece estimativas de carbono nos reservatórios florestais, pois aproximadamente 50% da biomassa é carbono (LACERDA et al. 2009).

Na estequiometria da fotossíntese, seis moléculas de dióxido de carbono (CO₂) mais seis moléculas de água (H₂O), catalisados pela luz solar, formam uma molécula de glicose (C₆ H₁₂ O₆) e seis de oxigênio (O₂). O oxigênio é devolvido para a atmosfera, enquanto a glicose nutre o desenvolvimento das plantas, fixando o carbono nos seus tecidos. Na Tabela 02 é possível visualizar as equações utilizadas para o cálculo de dióxido de carbono sequestrado na atmosfera.

Tabela 02. Equações de Carbono em biomassa.

Nº	Nome Popular	Equações de C em biomassa (Kg)
01	Açoita - Cavalo	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 640 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$
02	Angico - Vermelho	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 850 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$
03	Cabreúva	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 910 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$
04	Cedro	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 550 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$
05	Guajuvira	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 780 \text{ kg /m}^3) \times (C: 0,50)$
06	Ipê - Roxo	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 950 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$
07	Louro - Pardo	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 780 \text{ kg/ m}^3) \times (C: 0,50)$

Legenda: Volume total (Vol.), Densidade da Biomassa (DB) e Proporção de Carbono (C).

Fonte: Projeto de Compensação GEE da empresa em estudo (2023).

A compensação das emissões da empresa em questão, onde o projeto foi implantado está fora de áreas de preservação permanente e sem vegetação arbustiva ou arbórea desde dezembro de 1989. A remoção voluntária de GEE se dará por reflorestamentos em áreas antropizadas: plantios de árvores nativas como o Angico, Cedro, Ipê em áreas que anteriormente recebiam cultivo de milho e aveia- preta. Por meio da fotossíntese, as plantas absorverão o gás CO₂ e, juntamente com a água e a luz solar, formarão sua biomassa, composta por longas e sólidas cadeias de carbono.

O plantio das 750 mudas, em uma perspectiva conservadora, gerará após 20 anos de cultivo, uma adicionalidade em volume de biomassa aérea e radicular de 365,05 m³ (Tabela 03). Com o plantio, num espaçamento de 3,00 x 2,00 metros, espera-se, de modo conservador, que a vegetação atinja em média de 12 metros de altura e um diâmetro de tronco de 0,20 metros. As espécies escolhidas pelo projeto apresentaram crescimento semelhante ao projetado para os 20 anos de sequestro de carbono. Em Bom Princípio, próximo ao Arroio Forromeco, com solo profundo e clima mais quente e de menos vento, espera-se um desenvolvimento vegetal melhor. Contudo, seguindo a premissa conservadora do projeto, estimou- se um DAP de 0,2 m após 20 anos de cultivo.



Tabela 03. Projeção de volume a ser obtido pelo crescimento das 750 mudas plantadas em Bom Princípio durante 20 anos, para a neutralização das emissões dos GEE em 2022.

Espécie	DAP (m)	H (m)	FF	Vol. de toras (m³)	Projeção Copa (%)	Vol. Copa (m³)	Vol. Aéreo (m³)	Projeção Raízes (%)	Vol. Radicular (m³)	Vol. Total (m³)	Nº de mudas	Vol. Final (m³)
Açoita-cavalo	0,25	14	0,6	0,41	40%	0,16	0,58	35%	0,2	0,78	120	93,52
Angico-Vermelho	0,2	12	0,6	0,23	35%	0,08	0,31	35%	0,11	0,41	120	49,47
Cabreúva	0,2	12	0,65	0,25	30%	0,07	0,32	35%	0,11	0,43	75	32,25
Cedro	0,2	12	0,65	0,25	35%	0,09	0,33	35%	0,12	0,45	120	53,59
Guajuvira	0,2	12	0,5	0,19	40%	0,08	0,26	35%	0,09	0,36	75	26,72
Ipê-Roxo	0,2	13	0,6	0,25	30%	0,07	0,32	35%	0,11	0,43	120	51,61
Louro-Pardo	0,2	14	0,65	0,29	25%	0,07	0,36	35%	0,13	0,48	120	57,89
Total											750	365,05

Legenda: DAP – Diâmetro à Altura do Peito; H – Altura total; FF – Fator Forma.

Fonte: Projeto de Compensação GEE da empresa em estudo (2023).

O volume de material lenhoso produzido pela fotossíntese das espécies selecionadas, considerando-se suas respectivas características biológicas, em especial a densidade da madeira, se contabilizado por toneladas, deverá fixar 137,87 toneladas de carbono, o que representa o sequestro de 505,54 toneladas de dióxido de carbono, valor ligeiramente maior do que o emitido pela empresa em GEE no ano de 2022 (Tabela 04).

Tabela 04. Espécies plantadas, o volume esperado de cada uma após os vinte anos de plantio, bem como a fórmula utilizada para a projeção de fixação de carbono (densidade em kg/m³) e de sequestro de dióxido de carbono.

Nome Popular	Volume (m³)	Equação para Estimativa de C	C Fixado (Kg)	C Fixado (ton)	CO ₂ Seq (ton)	CO ₂ Seq Rel.
Açoita-cavalo	93,52	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 640 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	29.925.62	29.926	109.728	21.70%
Angico	49,47	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 850 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	21.024.28	21.024	77.090	15.25%
Cabreúva	32,25	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 910 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	14.675.58	14.676	53.811	10.64%
Cedro	53,59	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 550 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	14.737.61	14.738	54.038	10.69%
Guajuvira	26,72	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 780 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	10.420.53	10.421	38.209	7.56%
Ipê-roxo	51,61	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 950 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	24.513.06	24.513	89.882	17.78%
Louro-pardo	57,89	$C = \text{Vol. (m}^3\text{)} \times (\text{DB: } 780 \text{ kg/m}^3) \times (C: 0,50)$	22.577.82	22.578	82.786	16.38%
Total	365,0494		137,874.49			

Fonte: Projeto de Compensação GEE da empresa em estudo (2023).



Para a eficiência do projeto, foram identificados possíveis riscos e obstáculos para compensação de emissão dos GEE. Entre os riscos que podem afetar a atividade tem-se os eventos climáticos extremos como as geadas e secas bem como pragas como o ataque de brocas, formigas, carunchos, fungos, cochonilhas, entre os principais.

A fim de minimizar os riscos, foram escolhidas espécies que possuem defesas aos estresses do local, porém, cabe ressaltar o cuidado especial com as mudas de Cedro. A escolha de espécies com defesas naturais aos estresses locais é uma estratégia importante para garantir o sucesso do reflorestamento ou da arborização, especialmente em projetos de sequestro de carbono. Essas espécies são selecionadas por sua capacidade de resistir a condições adversas do ambiente, como variações climáticas, pragas, doenças e qualidade do solo.

No caso das mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), um cuidado especial é recomendado por várias razões: O Cedro é particularmente suscetível a pragas, especialmente a broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella*), uma praga que ataca os brotos terminais de árvores jovens, prejudicando seu crescimento e forma. Esta vulnerabilidade requer vigilância e medidas preventivas para proteger as mudas, é uma espécie de crescimento relativamente lento, o que significa que pode levar mais tempo para estabelecer-se e contribuir significativamente para o sequestro de carbono. Durante seu crescimento inicial, as mudas podem necessitar de cuidados adicionais para garantir sua sobrevivência, tem alto valor econômico e ecológico. Sua madeira é muito apreciada por suas qualidades, incluindo durabilidade e resistência a insetos. Além disso, a árvore tem um papel importante nos ecossistemas naturais, oferecendo habitat e recursos para a fauna local. Portanto, garantir a sobrevivência das mudas de Cedro é importante tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Além disso, embora possa ter defesas naturais contra certos estresses do local, a espécie pode ainda ser sensível a outros fatores ambientais, como condições extremas de clima ou solo. É crucial monitorar essas condições para assegurar o desenvolvimento saudável das mudas. Como uma espécie nativa em muitos locais, o Cedro contribui para a manutenção da biodiversidade. Preservar e promover seu crescimento ajuda a manter o equilíbrio ecológico e a saúde dos ecossistemas florestais. Por essas razões, é essencial dedicar atenção e cuidado especial às mudas de Cedro em projetos de plantio, implementando práticas de manejo adequadas e monitoramento constante para assegurar seu desenvolvimento e contribuição para o sequestro de carbono. Uma alternativa é fazer o plantio das mudas misturado com outras espécies nativas e se necessário utilizar defensivos agrícolas.

No caso da empresa em questão, o total de 505,23 toneladas de CO₂e pode incluir a soma das emissões dos Escopos 1, 2 e possivelmente 3 do GHG Protocol, dependendo de quão abrangente foi a avaliação. Além de calcular as emissões, é importante que as empresas desenvolvam estratégias para reduzi-las, o que pode incluir eficiência energética, uso de energias renováveis, melhorias nos processos de produção e logística, e iniciativas de reflorestamento ou compensação de carbono.

O plantio das sete espécies arbóreas nativas é uma abordagem eficaz para a neutralização das emissões de carbono, uma vez que as árvores têm a capacidade de capturar e armazenar carbono atmosférico durante seu crescimento. A escolha dessas espécies com base em seu histórico de bom desenvolvimento é uma estratégia sólida para maximizar a eficácia do projeto (Figuras 1 e 2).

O fato de o projeto seguir as diretrizes da UNFCCC é positivo, pois demonstra o compromisso da empresa com a mitigação das mudanças climáticas em conformidade com padrões globais. A avaliação da viabilidade econômica é fundamental, pois pode determinar se o projeto de compensação de carbono é sustentável a longo prazo. Isso inclui a consideração dos custos iniciais de implementação e a identificação de oportunidades de receita, como a venda de créditos de carbono, que podem compensar os custos ao longo do tempo.

Além da neutralização das emissões de carbono, o projeto de plantio de árvores também traz benefícios ambientais adicionais, como a conservação da biodiversidade, a melhoria da qualidade do solo e da água, e a promoção da resiliência climática. O projeto de compensação de carbono da empresa de Bom Princípio, RS, demonstrou uma abordagem sólida para reduzir as emissões de carbono e



contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. É importante continuar monitorando o progresso do projeto ao longo do tempo e ajustar as estratégias conforme necessário para garantir sua eficácia a longo prazo, tanto em termos ambientais quanto econômicos.



Figura 01. Angico Vermelho plantado em 2020.



Figura 02. Mudas plantadas em 2021.



Resumidamente tem-se a descrição dos custos deste projeto:

1. Área do projeto atual: 1 hectare.
2. Número de mudas por hectare: Até 1.500 mudas, (no projeto foram plantadas 750 mudas).
3. Custo por muda: R\$ 14,00.
4. Custo para preparação e plantio por muda: R\$ 2,50.
5. Custo para preparação do solo por hectare, trator e motorista: R\$1.500,00
6. Custo mensal de manutenção por hectare: R\$ 2.500,00
7. Sequestro de carbono por árvore por ano: 20 kg de CO₂e.
8. Preço de venda do crédito de carbono: R\$ 20,00 por tonelada de CO₂e.
9. Duração do projeto: 20 anos.

As espécies escolhidas para este projeto apresentaram crescimento semelhante ao projetado para os 20 anos de sequestro de carbono. Uma estratégia importante para garantir o sucesso do reflorestamento ou da arborização, especialmente em projetos de sequestro de carbono é o fato dessas espécies apresentarem defesas naturais aos estresses locais. Essas espécies são selecionadas por sua capacidade de resistir a condições adversas do ambiente, como variações climáticas, pragas, doenças e qualidade do solo. Embora possa ter defesas naturais contra certos estresses do local, as espécies podem ainda ser sensível a outros fatores ambientais, como condições extremas de clima ou solo. É crucial monitorar essas condições para assegurar o desenvolvimento saudável das mudas. Para garantir a pega das mudas, vistorias de acompanhamento e podas das partes contaminadas ou até replantio de mudas comprometidas se fazem necessárias.

Os custos iniciais estimados para o plantio das mudas foram R\$13.875,00 e para a manutenção anual os valores ficaram na ordem de R\$600.000,00 e as receitas com crédito de Carbono resultaram R\$80.000,00. Registra-se ainda que o Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado com uma taxa de desconto apropriada (6% ao ano) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi determinada a partir dos fluxos de caixa projetados.

Além da viabilidade econômica, é crucial considerar a sustentabilidade ambiental do projeto. Isso inclui a escolha de espécies nativas, a promoção da biodiversidade e o impacto positivo no ecossistema local. O projeto também ofereceu uma oportunidade para educação ambiental e envolvimento comunitário.

Um projeto de reflorestamento pode trazer benefícios significativos para a comunidade local, incluindo potenciais oportunidades de emprego e melhoria da qualidade do ambiente local. Além disso, projetos que se alinham com a cultura e a história local, como a forte ligação de Bom Princípio com a agricultura e a herança alemã, tendem a ter maior aceitação e sucesso.

Como qualquer projeto de investimento, existem riscos e incertezas envolvidos, incluindo variações climáticas, pragas, mudanças nos preços dos créditos de carbono e alterações na legislação ambiental. Uma gestão de risco eficaz é essencial para mitigar esses fatores.

Dada a forte presença da agricultura de morango no município de Bom Princípio, poderia haver oportunidades para integrar o projeto de reflorestamento com as práticas agrícolas existentes, por meio desses sistemas agroflorestais ou iniciativas de turismo ecológico.

Para uma análise financeira completa, seria necessário realizar uma avaliação detalhada de fluxo de caixa descontado (DCF), incluindo um cálculo do valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR), para determinar a rentabilidade financeira do projeto.

4. CONCLUSÕES

O Projeto de Compensação de Carbono desenvolvido pela empresa localizada no município de Bom Princípio, RS, em 2022, representou um passo significativo em direção à mitigação das mudanças climáticas e à responsabilidade ambiental. Este projeto visou neutralizar as emissões de carbono geradas nos anos anteriores (2021, 2020 e 2019) por meio do plantio de sete espécies arbóreas nativas (Açoita-



cavalo, Angico-vermelho, Cabreúva, Cedro, Guajuvira, Ipê-roxo e Louro- Pardo). A escolha das espécies de árvores com base em seu histórico de bom desenvolvimento sugere uma estratégia eficaz para alcançar a neutralização de carbono, aproveitando ao máximo a capacidade de absorção dessas árvores. Os resultados apresentados demonstram um compromisso sólido com a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), totalizando 505,23 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) a serem compensadas.

A aderência do projeto às diretrizes da *United Nations Framework Convention Climate Change* (UNFCCC) reforça a sua seriedade, assegurando que este esteja alinhado com os padrões internacionais de mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a avaliação da viabilidade econômica a longo prazo também é fundamental, considerando os custos de implementação do projeto e os potenciais benefícios financeiros, como a venda de créditos de carbono. Esta abordagem econômica acrescenta uma dimensão estratégica importante à iniciativa, tornando-a sustentável e benéfica tanto para o meio ambiente quanto para a empresa. Neste contexto, além de sua contribuição para a neutralização de carbono, o projeto também traz benefícios ambientais adicionais, incluindo a conservação da biodiversidade e melhorias na qualidade do solo e da água.

O Projeto de Compensação de Carbono da empresa situada no município de Bom Princípio, RS, é um exemplo positivo de como as empresas podem desempenhar um papel ativo na mitigação das mudanças climáticas. Esta iniciativa representa um esforço tangível para reduzir as emissões de carbono, alinhando-se com padrões internacionais, considerando a viabilidade econômica e gerando benefícios adicionais para o meio ambiente. Continuar a monitorar e aprimorar o projeto é essencial para alcançar seus objetivos a longo prazo e promover a sustentabilidade em todas as dimensões.

5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

- ALENCAR, A. M. S., OLIVEIRA, V. X. A., PEDROZO, C. Â., CRUZ, S. L., & BATISTA, K. D. Crescimento de mudas de cedro doce (*Pochota fendleri* (SEEM) Alverson & Duarte) em função do tempo de avaliação em viveiro. In: Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no estado de Roraima: Ciência alimentando Brasil. **Anais...Boa Vista** (RR) UERR. 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/sncttr/36126-2017>> Acesso em: 23 nov. 2023
- ALMEIDA, M. R. D. de; SILVA, J. N. M.; BARROS, P. L. C. de; ALMEIDA, E. da Silva; SILVA, D. A. S. da; SOUSA, C. S. C. de. Ajuste e seleção de modelos volumétricos de espécies comerciais no município de Ipixuna (PA). **Rev. Agro. Amb.**, v. 13, n.1, p. 259-278, jan./mar. 2020.
- ALMEIDA, M. P. P. de. **O dano moral ambiental coletivo**. 1.ed. Florianópolis:Tirant lo Blanch, 2018. 103p.
- AMADO, F. **Direito Ambiental**. 11. ed. rev., atual e ampl. Imprensa: São Paulo, Juspodivm, 2020, 1056p.
- BALBINOT, R. **Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono: estudo de viabilidade no sul do estado do Paraná, Brasil**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.
- BARROS, T. D.. **Silvicultura**. Agroenergia, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/silvicultura>> Acesso em: 10 out. 2023
- BAYER, D. A. **Princípios norteadores do direito ambiental (resumo)**. 2013. Disponível em: <<https://diegobayer.jusbrasil.com.br/artigos/121943191/principiosnorteadores-do-direito-ambiental-resumo>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. 593 p. il. color.; (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v. 3).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Código Florestal. Estratégia De Recuperação. Plantio Em Área Total. Plantio Por Mudas. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/plantio-por-mudas>. Acesso em: 23 out. 2023.
- GIACOMELLI SOBRINHO, V. All the loners mingle — where do they all come from and belong? regulating sectoral emissions and carbon markets in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 390, mar. 2023



HOEN, H. F.; SOLBERG, B. Potencial e Eficiência Econômica do Sequestro de Carbono na Biomassa Florestal por Meio do Manejo Silvicultura. **Forest Science**, v. 40, ed. 3, p: 429–451, ago. 1994.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **O que são espécies exóticas e invasoras?** ICMBio, 2023. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/flonaipanema/destaques/137-o-que-sao-especies-exoticas-invasoras.html>>. Acesso em 20 nov. 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS (IBF). **Árvores Nativas e Exóticas: as espécies de árvores nativas e exóticas são classificadas de acordo com sua origem.** ibfflorestas, 2020. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/especies-nativas-e-exoticas>>. Acesso em: 20 nov. 2023

KNOCH, M.; VAN DER PLASKEN, C. **O Mercado Emergente de Finanças Verdes no Brasil.** Brasília: GIZ, 2020 Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/mercado_financasverdes_short.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2023

LACERDA, J. S. de et al. **Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas.** METRVM, v. no, n. on line, 2009. Disponível em: <<http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:metrv:m:metrv-2009-n05.pdf>>. Acesso em 23 nov. 2023

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** 3ª ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. 384p.

OLIVEIRA, E. B. de; NAKAJIMA, N. Y.; CHANG, M.; HALISKI, M. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos/Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958, 220).

NAVE, A. G. et al. **Manual técnico de restauração ecológica para adequação ambiental de imóveis rurais do extremo sul da Bahia.** Piracicaba: USP/ESALQ/LCB. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Manual%20Restaura%C3%A7%C3%A3o%20Ecol%C3%B3gica_2015_PRESS.pdf> Acesso em: 08 out. 2023

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Relatório sobre diretrizes do IPCC de 2006 para inventários nacionais de gases de efeito estufa. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>. Acesso em: 08 nov. 2023.

PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L.R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para Pinus tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011.

RIGRANTEC. **Silvicultura – Conheça seu conceito, importância e os diferentes tipos.** 2023. Disponível em: <<https://www.rigrantec.com.br/noticia/silvicultura-conheca-seu-conceito-importancia-e-os-diferentes-tipos/198>>. Acesso em: 23 nov. 2023

SANQUETTA, C. R., et al. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 361-370, set. 2014.

SANTANA, M. C.; SOUZA, A. J, de; PEREIRA, A. P. de A. As Florestas nativas e plantadas como agentes prestadores de serviços ecossistêmicos. **A sustentabilidade ambiental da agricultura e de florestas tropicais: uma visão científica, ecológica, política e social.** Tradução. Curitiba: Appris Editora, 2021.

SCHNEIDER, P.S.P. et al. Crescimento do Açoita-cavalo (*Luhea divaricata* Mart.), na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2., 2001, Santa Maria. Anais... Santa Maria : UFSM, CCR, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2001. p.487-507. Disponível em < https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/2001_2_SIMANEJO.pdf> Acesso em: 08 out. 2023.

WRI BRASIL. **Silvicultura de nativas: O que é, tipos, retornos ambientais e econômicos.** Programa de Florestas, 2021. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/silvicultura-de-nativas-reflorestamento-pode-trazer-retornos-ambientais-e-economicos>>. Acesso em: 13 dez. 2023.



UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Relatório Anual da ONU sobre Mudanças Climáticas**. 2017. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/annualreport/>>. Acesso em: 07 mar. 2024

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Annual Report 2022**. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2024

VALADA, D. C.; LOURENÇO DOS SANTOS, J. E. A intervenção do Direito Penal brasileiro no crime de tráfico de animais silvestres e a educação ambiental. **Revista do Direito Público**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 83–102, 2019.

XIMENES, F. K. A. A.; FERREIRA, F. R. O efeito das práticas ambientalmente responsáveis sobre a agressividade fiscal: Uma análise das empresas participantes do Índice Carbono Eficiente–ICO₂. **Pensar Contábil**, v. 22, n. 79, 2021.

