



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E
SUSTENTABILIDADE**

POTENCIAL DE GANHO DE CARBONO E VIABILIDADE FINANCEIRA DE
PROJETO DE CARBONO EM REMANESCENTES DEGRADADOS NO
PONTAL DO PARANAPANEMA

Por

ÁGHATA COMPARIN ARTUSI

NAZARÉ PAULISTA, 2022



Instituto de Pesquisas Ecológicas

**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E
SUSTENTABILIDADE**

POTENCIAL DE GANHO DE CARBONO E VIABILIDADE FINANCEIRA DE
PROJETO DE CARBONO EM REMANESCENTES DEGRADADOS NO
PONTAL DO PARANAPANEMA

Por

ÁGHATA COMPARIN ARTUSI

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

LAURY CULLEN JUNIOR
RICARDO GOMES CÉSAR
RENATO SOARES ARMELIN

PROJETO APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS
NAZARÉ PAULISTA, 2022

Dedicatória

*A todos aqueles que se dedicam a
pesquisas por soluções para a conservação das florestas tropicais*

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais à ESCAS/IPÊ, pela oportunidade de estudo e confiança. À coordenação, ao corpo discente, aos profissionais e amigos da instituição pelas trocas engrandecedoras.

À CTG (*China Three Gorges Corporation*) pelo concedimento da bolsa de estudos - sem a qual o mestrado não teria sido possível.

À equipe NewFor pelo suporte técnico essencial, ensinamentos e companhia agradável nas coletas de dados em campo.

Aos meus orientadores: Laury Cullen Jr., coordenador do comitê, que a cada conversa foi poço de inspiração e conhecimento, praticamente uma enciclopédia viva. Ao Renato Soares Armelin, que me apresentou ao “mundo mágico” - e complexo - da economia: sua paciência, expertise e calma foram primordiais. Ao Ricardo Gomes César, que me acolheu desde o nascimento desse mestrado, por todos os ensinamentos e conselhos que me direcionaram.

Ao Haroldo Borges Gomes e à Gracinha de Souza do IPÊ, meu muito obrigada pela atenção dedicada ao fornecimento de informações que construíram meu trabalho.

À Priscila Coutinho, que além de trocar figurinhas sobre o universo do carbono e conceitos financeiros, foi sempre uma grande amiga.

Ao Rafael Ruas Martins e ao Vinicio Sugui, pelo auxílio com as ferramentas e produtos de SIG - mesmo com o incidente com os chocolates

À Gisela Iarussi pelos esclarecimentos quanto às taxas do VERRA; e ao Vitor Mattos e ao Cario Nigri pela iluminação quanto à planilha financeira.

Ao Ederlan Magri e à Geovana Onorato, que me salvaram com os números quando pensei que o programa *R Studio* explodiria meu computador,

À todas as empresas que contribuíram com informações que direcionaram meu trabalho: Carbonext, Ambiens - Soluções Ambientais, RubyCanion, Carbon Check, C.A Manutenção e Serviços Florestais LTDA e Elétrica São Paulo.

A todos meus queridos colegas e amigos da ESCAS, pelos quais tenho um carinho único. É um prazer enorme compartilhar essa jornada com vocês!

Por fim, à todos que contribuíram de alguma forma para esse trabalho deixo meus sinceros agradecimentos.

Ficha Catalográfica

Comparin Artusi, Ághata
Potencial de Ganho de Carbono e Viabilidade
Financeira de Projeto de Carbono em
Remanescentes Degradados no Pontal do
Paranapanema, Ano. 2022, pp. 77
Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de
Pesquisas ecológicas

1. Degradação florestal
2. Estoque de carbono
3. Mercado de carbono

I. Escola Superior de Conservação Ambiental
e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMINADORA

SÃO PAULO, AGOSTO DE 2022

Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

Prof. Dr. Ricardo Gomes Cesar

Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade

SUMÁRIO

Conteúdo

AGRADECIMENTOS	4
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Definições para degradação florestal.....	14
3.3 O mercado voluntário de carbono e o setor florestal.....	16
3.3 O manejo para recuperação florestal.....	20
3.4 Custos para a recuperação florestal e para projeto de carbono.....	23
3.5 Sensoriamento remoto para estimar estoques de carbono.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 Área de estudo.....	27
4.2 Contexto histórico da degradação no Pontal do Paranapanema.....	28
4.3 Seleção dos remanescentes florestais.....	29
4.4 Coleta de dados.....	32
4.5 Análise dos dados.....	38
5 RESULTADOS	45
6 DISCUSSÃO	53
7 CONCLUSÕES	64
ANEXOS	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projetos de carbono dentro do tipo <i>Agriculture Forestry and Other Land Use</i> aplicados para tipo IFM na America Latina disponíveis no banco de dados do VERRA.	19
Tabela 2 - Resultados de análise de teste T para estoque de carbono médio ($Mg.C^{-1}ha^{-1}$) entre os remanescentes conservados e degradados.....	45
Tabela 3 - Densidade de indivíduos totais de lianas e por classe de diâmetro (DAP) entre os remanescentes conservados e degradados.....	49
Tabela 4 - Preço mínimo do crédito de carbono IFM (em dólar) para TIR superior a taxa SELIC ($\geq 13,75\%$) em todos os cenários e modelos	51
Tabela 5 - Total de Receita, Custos totais e Lucro Líquido (Receita - Custo) para 30 anos de projeto em cada um dos cenários e modelos.....	52
Tabela 6 – TIR e VPL para cada um dos cenários e modelos do projeto de carbono IFM em florestas degradadas no Pontal do Paranapanema. Asteriscos indicam inviabilidade financeira, considerando TIR e VPL.....	52
Tabela 7 – Referências para orçamentos de custos técnicos (materiais, mão-de-obra e adicionais) para cada uma das técnicas selecionadas para	76
Tabela 8 – Referência para obtenção dos custos para implementação de um projeto de carbono do tipo IFM considerando orçamentos atuais (2022).....	77

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da região do Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, Brasil. 27
- Figura 2 - Uso do solo do Pontal do Paranapanema. Fonte: Banco de dados do CTG, base do MapBiomas. Áreas de agricultura, em laranja, englobam principalmente soja e cana. 29
- Figura 3 - Registros fotográficos de remanescente degradado no Pontal do Paranapanema. 30
- Figura 4 - Registros fotográficos de remanescente conservado no Pontal do Paranapanema. 31
- Figura 5 - Áreas em amarelo: amostragem do sobrevoo LiDAR. Letras representam o Código para as amostragens em LiDAR. Pontos em vermelho: amostragem em campo (estrutura da comunidade arbórea e lianas). Amostragens dentro do quadro preto representam os remanescentes conservados, enquanto as fora representam os remanescentes degradados. 32
- Figura 6 - Identificação de indivíduos arbóreos com plaquetas..... 34
- Figura 7 – Amostragem de lianas nas parcelas de 30x30m² 35
- Figura 8 – Diferença média de estoque de carbono (Mg.C⁻¹ha⁻¹) entre as classes remanescentes conservados e degradados. O gráfico em verde representa os remanescentes conservados, enquanto o gráfico em vermelho apresenta os remanescentes degradados. 46
- Figura 9 - Diferença média de estoque de carbono (Mg.C⁻¹ha⁻¹) entre cada área amostrada por LiDAR O gráficos em verde representam os remanescentes conservados, enquanto os gráficos em vermelho apresentam os remanescentes degradados. Barras com letras diferentes em sua base indicam diferença estatística para $\alpha=0.05$. 49
- Figura 10 - Diferenças de estoque de carbono (Mg.C⁻¹ ha⁻¹) entre as parcelas para as diferentes classes de remanescentes Verde: Conservado; Vermelho: Degradado. Letras iguais entre as parcelas indicam que não tem diferença significative e letras diferentes.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 - Número total de lianas e para as diferentes classes de tamanho entre as amostragens nos remanescentes florestais degradados e conservados. Cons.: fragmentos conservados, Deg.: fragmentos degradados.....54
- Figura 12 - Áreas com camada de sobrevoo de LiDAR (à esquerda) e original (à direita). No remanescente correspondente a área D10 observa-se que os pixels em azul representam maiores valores de estoque de

carbono por hectare. Os valores altos de carbono podem indicar a presença de um córrego..... 74

Figura 13 - Amostragem de LiDAR (à esquerda) e limites da ESEC Micolleão-preto (à direita) identificados em camada do ICMBIO 2022 para as áreas D4 e D5.....80

Figura 14 - Em amarelo: área de uma amostragem LiDAR por sobrevoo. Em verde: área total de um dos remanescentes florestais degradados. À esquerda: camada de usos do solo do MapBiomias (2022)81

RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

POTENCIAL DE GANHO DE CARBONO E VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETO DE CARBONO EM REMANESCENTES DEGRADADOS NO PONTAL DO PARANAPANEMA

Por
ÁGHATA COMPARIN ARTUSI

Agosto de 2022

Orientador: Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

Florestas tropicais são particularmente abundantes em estoques de carbono, entretanto parte desse carbono é perdido devido a ações de degradação florestal. A região do Pontal do Paranapanema apresenta grande potencial de recuperação de biomassa e estoque de carbono e pode se apropriar das ferramentas do mercado voluntário para atingir esse objetivo. Nesse trabalho, apresentamos uma perspectiva ecológica - em termos de estoque de carbono - e financeira - em termos de mercado de carbono - para a recuperação de remanescentes florestais degradados. Para isso, realizamos amostragens por meio de sobrevoo LiDAR em remanescentes conservados (no Parque Estadual Morro do Diabo) e em remanescentes degradados e estimamos o estoque de carbono atual e o ganho potencial em projetos de recuperação florestal. Para estimarmos a degradação nos remanescentes, amostramos a densidade de lianas em parcelas de 900m² nas duas categorias de remanescentes florestais. Realizamos uma análise de viabilidade financeira para a implementação de projeto de carbono tipo IFM na região, testando seis cenários e quatro modelos considerando: preço do crédito; modalidades VCS e CCB do VERRA; estratégias de cercamento; e manejo de lianas. Nossos resultados demonstraram que remanescentes florestais conservados apresentam maior carbono médio ($53,1 \pm 21,3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) em relação aos degradados ($39,5 \pm 16,3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Estimamos um ganho potencial de carbono de $13,69 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$ (ou total de $317.051,67 \text{ Mg.C}^{-1}$) para os remanescentes florestais degradados em um cenário de recuperação de biomassa florestal. As áreas florestais degradadas (62 ± 30 por parcela) apresentam mais lianas em relação às áreas florestais conservadas ($34,3 \pm 24,9$ por parcela), ressaltando o estado de degradação desses ambientes. Os custos totais para implementação de um projeto IFM (em 30 anos) na região variam entre R\$ 17.973,385,42 e R\$ 33.707,968,52 (187,54%), sendo que mais baixos referentes ao modelo cercamento elétrico combinado com manejo de lianas rápido (em cenário VCS); e os custos mais elevados para cercamento tradicional combinado com manejo de lianas lento (em cenário CCB). O projeto de carbono IFM é financeiramente viável e atrativo para o investidor em todos os cenários e modelos testados com o crédito valorizado a \$ 21,55. Nosso trabalho traz uma nova perspectiva de projetos de carbono para o Pontal do Paranapanema, e enfatiza a importância da conservação de florestas já existentes e projetos de recuperação de biomassa florestal para maiores valores de estoque de carbono na Mata Atlântica.

ABSTRACT

Abstract of the Final Paper presented to the Professional Master's Degree Program in Biodiversity Conservation and Sustainable Development as partial requirement for obtaining the Master's degree

CARBON GAIN POTENTIAL AND FINANCIAL VIABILITY OF A CARBON PROJECT IN DEGRADED REMNANTS IN THE PONTAL DO PARANAPANEMA

By
ÁGHATA COMPARIN ARTUSI

August 2022

Advisor: Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

Tropical forests are particularly abundant in carbon stocks, however part of this carbon is lost due to forest degradation actions. The Pontal do Paranapanema region has a great potential for biomass recovery and carbon stock and can take advantage of voluntary market tools to achieve this goal. In this work, we present an ecological perspective - in terms of carbon stock - and financial perspective - in terms of carbon market - for the recuperation of degraded forest remnants. For this, we sampled by LiDAR overflight in conserved (interior of Morro do Diabo State Park) and degraded remnants and estimated the current carbon stock and the potential gain in forest recovery projects. To estimate degradation in the remnants, we sampled the density of lianas in 900m² plots in the two categories of forest remnants. We performed a financial viability analysis for the implementation of an IFM type carbon project in the region, testing six scenarios and four models considering: credit price; VERRA's VCS and CCB modalities; fencing strategies; and lianas management. Our results showed that conserved forest remnants have higher average carbon ($53.1 \pm 21.3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) compared to degraded ones ($39.5 \pm 16.3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$). We estimate a potential carbon gain of $13.69 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$ (or total of $317,051.67 \text{ Mg.C}^{-1}$) for the degraded forest remnants under a forest biomass recovery scenario. Degraded forest areas (62 ± 30 per plot) show more lianas compared to conserved forest areas (34.3 ± 24.9 per plot), highlighting the state of degradation of these environments. The total costs to implement an IFM project (in 30 years) in the region vary between R\$ 17,973,385.42 and R\$ 33,707,968.52, the lowest referring to the electric fencing model combined with fast liana management (in VCS scenario); and the highest costs for traditional fencing combined with slow liana management (in CCB scenario). The IFM carbon project is financially viable and attractive to the investor in all scenarios and models tested with the credit valued at \$21.55. Our work brings a new perspective of carbon projects for Pontal do Paranapanema, and emphasizes the importance of conservation of the existing forests and forest biomass restoration projects for higher carbon stock values in the Atlantic Forest.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o aquecimento global configuram-se como problemas ambientais significativos da atualidade e a temática vem ocupando posição de destaque em discussões de diversos segmentos sociais. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC)⁸² aponta o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera terrestre pela ação humana como o principal causador dessas alterações. Neste cenário, o desmatamento e a degradação florestal são responsáveis por cerca de 18% das emissões globais antrópicas de GEE¹.

As florestas cobrem 31% da superfície terrestre do planeta¹ e atuam como um sumidouro de carbono atmosférico². Esse processo é possível através da fotossíntese, onde os organismos vegetais absorvem o carbono atmosférico e o transformam em biomassa para ser utilizado em seus processos metabólicos³. Todavia, ações de degradação florestal devolvem parte do carbono estocado para a atmosfera, contribuindo com o aumento da temperatura planetária¹. Ecossistemas florestais que já sofreram com esse tipo de interferência apresentam menor biomassa quando comparado a florestas conservadas, e conseqüentemente, menos carbono estocado⁴.

A degradação florestal pode ter origens diversas, que podem levar a perdas ecológicas consideráveis⁵. Em 1990, estima-se que 40% das florestais tropicais do mundo já haviam sofrido algum tipo de degradação¹. Manter as florestas em pé, protegidas de interferências destrutivas, pode ser uma forma interessante de evitar emissões de GEE na atmosfera. Entretanto, no cenário atual onde grande parte das florestas nativas estão limitadas a fragmentos pequenos, degradados e isolados⁶ discute-se cada vez mais quanto a adoção de medidas complementares que potencializem o sequestro e o estoque de carbono², de forma a evitar o agravamento da crise climática.

Dentre as medidas para potencializar o sequestro e estoque de carbono florestal podemos citar o reflorestamento de novas áreas (em locais sem florestas) ou o incremento de biomassa em florestas já existentes, através de técnicas de recuperação florestal. Para atingir esses objetivos, o Brasil pode se apoiar no mercado de carbono voluntário voltado ao setor

florestal, a fim de buscar incentivos econômicos para sequestrar ou evitar a emissão de GEE na atmosfera. O Brasil possui grande potencial para se tornar um dos grandes líderes mundiais na busca de uma economia sustentável por meio de reduções de emissões de GEE⁷. De modo geral, florestas tropicais são particularmente abundantes em estoque de carbono e tendem a apresentar taxas rápidas de sequestro⁸, contribuindo com cerca de 36% da troca líquida entre a vegetação e a atmosfera⁹.

A Mata Atlântica é considerada uma das florestas tropicais mais afetadas pela degradação florestal no mundo¹⁰, restrita a cerca de 12% da sua cobertura original⁶. Estima-se que a Mata Atlântica perca em média 0.43 Mg C⁻¹ha⁻¹ por ano devido a efeitos negativos de fragmentação florestal¹¹. De acordo com Lima et al. (2020), uma das estratégias mais eficazes para recuperação da biodiversidade e biomassa nesses fragmentos florestais pode ser reverter a degradação da floresta dentro deles. Algumas regiões da Mata Atlântica apresentam grande potencial de ganho de recuperação de biomassa e carbono dentro das florestas degradadas, destacando-se proporcionalmente em comparação as outras regiões do bioma¹². Em seu trabalho, as maiores tendências foram identificadas em florestas do Alto Paraná¹², local onde está inserida a região foco desse estudo: o Pontal do Paranapanema.

Ações de recuperação de florestas degradadas devem ser desenvolvidas em áreas prioritárias com a finalidade de aumentar o sequestro e estoque de carbono, agregando benefícios a nível ambiental e econômico. A recuperação florestal contribui ainda com a conservação da biodiversidade, fator importante para a Mata Atlântica que apresenta elevados níveis de diversidade e endemismo de espécies em sua área original¹³. Estudar as consequências da degradação florestal sob o estoque de carbono é um importante passo para o desenvolvimento de estratégias eficientes de recuperação florestal¹⁴, bem como para o desenvolvimento de planos sólidos para combate às mudanças climáticas.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivos principais:

- i) Estimar o estoque de carbono em remanescentes florestais degradados e conservados do Pontal do Paranapanema;
- ii) Estimar o ganho potencial de carbono por hectare para os remanescentes florestais degradados em um melhor estado de conservação;
- iii) Avaliar a viabilidade financeira de implementação de projeto de carbono de recuperação de biomassa florestal nos remanescentes degradados;

E como objetivos específicos:

- iv) Avaliar a densidade de lianas em remanescentes em florestas degradadas e conservadas;
- v) Calcular custos e receitas potencial que um projeto de carbono do tipo IFM poderia fornecer para a região, testando diferentes cenários e modelos;
- vi) Fornecer perspectivas ecológicas e financeiras para a recuperação de biomassa florestal do bioma Mata Atlântica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Definições para degradação florestal

Existem mais de 50 definições para a degradação florestal, refletindo não apenas diferenças biofísicas entre as formações florestais, mas também diferentes percepções, objetivos e valores¹⁵. Algumas interpretações podem ser vagas, e correm o risco de serem moldadas por interesses ou agendas políticas que podem ter pouca importância sobre realidades biofísicas^{9,15}. Nesse trabalho, a discussão sobre degradação florestal buscou focar sob nosso objetivo de estudo: o estoque de carbono. Entretanto, destacamos que os impactos sob o carbono resumem apenas uma parte da dimensão da degradação, a qual representa um sério problema ambiental, social e econômico para o planeta¹.

A degradação florestal pode ser definida como a redução temporária ou permanente de aspectos estruturais, de biomassa florestal e de estoque de carbono de uma floresta, como resultado de fatores naturais, como eventos climáticos extremos, ou ações antrópicas^{16,17}. Esse tipo de perturbação também pode resultar na diminuição ou restrição de benefícios ecológicos fornecidos pela floresta, tais como perda de biodiversidade, produtos e serviços ecossistêmicos¹⁸. A perda faunística nas florestas tropicais, sobretudo quanto aos vertebrados de médio a grande porte, pode resultar inclusive em efeitos negativos sobre o estoque de carbono¹⁹. Isso porque, conforme ocorre a redução de grandes herbívoros dispersores de sementes grandes, a dispersão e regeneração de espécies de espécies florísticas é afetada²⁰.

Anualmente, a área de florestas que sofrem com degradação já supera a área desmatada^{21,22}, sendo, portanto, uma grande fonte de emissão de gases de efeito estufa. A degradação florestal não implica necessariamente em desmatamento, apesar de facilitá-lo, e normalmente as causas são diferentes. Os principais motivadores antrópicos para a degradação florestal consistem na extração de produtos florestais e de madeira de espécies arbóreas, uso sem controle do fogo e uso intenso do solo^{17,23}. Diferentemente de um desmatamento, a floresta degradada ainda pode contar com a presença de árvores por um longo período. Apesar disso, um ecossistema florestal degradado não possui integridade ecológica, ou seja, não é capaz de sustentar ou manter uma comunidade em equilíbrio, considerando questões de saúde do ecossistema, biodiversidade e estabilidade florestal²⁴.

Ecossistemas florestais que enfrentam a degradação são afetados por mudanças em suas características físicas, como efeito de borda e abertura de clareiras, cujas alterações de temperatura, umidade e entrada de luz no fragmento favorecem o desenvolvimento de algumas espécies de lianas^{25,26}. Apesar de sua importância ecológica no ecossistema, em condições ambientais de degradação as lianas podem se tornar superabundantes²⁷ e vir a prejudicar o crescimento e estabelecimento dos indivíduos arbóreos²⁸, causar danos físicos às copas das árvores²⁶ e desequilibrar a estrutura

florestal²⁹. Dessa maneira, devido à menor de biomassa florestal, essas florestas tendem a apresentar baixo estoque de carbono^{30,31}.

A degradação florestal já atingiu níveis de irreversibilidade em extensas áreas do planeta¹. Nas regiões tropicais, estima-se que esses impactos tenham afetado cerca de 500 milhões de hectares florestais^{15,32}. Só no bioma Mata Atlântica, um dos *hotspots* tropicais mais ameaçados do mundo, dos 12% de cobertura florestal restante do território brasileiro, 80% são representadas por fragmentos florestais pequenos com áreas inferiores a 50 hectares⁶. Dentre as fitofisionomias do bioma, a Floresta Estacional Semidecidual (FES) é a mais impactada e conta com apenas 7,1% de sua vegetação original⁶. Em razão desse cenário, discute-se sobre a necessidade de ações de manejo para potencializar a conservação da biodiversidade bem como a recuperação do estoque de carbono nesses remanescentes florestais^{33,34,35,36}.

3.30 mercado voluntário de carbono e o setor florestal

Em 2005, o Protocolo de Quioto consistiu em um acordo multilateral entre países que adotou instrumentos de mercado para auxiliar seus signatários a reduzirem ou compensarem suas emissões de GEE. Entre esses instrumentos, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o que permite a participação de países em desenvolvimento ou em processo de industrialização, como o Brasil, no esquema global de comércio de emissões³⁷.

A mitigação das emissões é contabilizada em cada projeto MDL, gerando créditos de carbono que são posteriormente comercializados no mercado regulado de carbono, com regras estabelecidas e monitoradas pelo sistema ONU³⁸. O mercado de carbono, que engloba as vertentes regulada e voluntária, funciona através da compra e venda de créditos de carbono, onde cada crédito é igual a uma tonelada de carbono equivalente (CO₂eq) evitada ou sequestrada da atmosfera.

O Brasil até o momento funciona dentro dos mecanismos do mercado voluntário, onde os agentes assumem de forma voluntária o compromisso de reduzir ou compensar suas emissões de GEE, por meio da compra de créditos de carbono³⁹. Dentro do mercado de carbono voluntário, os projetos mais comuns para geração de créditos de carbono estão relacionados ao setor de “Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas”, no acrônimo LULUCF (em inglês *Land Use, Land-Use Change and Forest*)³⁹.

O setor LULUCF possui diversos subsetores, dentre eles o florestal – “Floresta (4.A)”, conforme as diretrizes do IPCC (2006)⁴⁰. Esse subsetor é caracterizado principalmente pelo adensamento de árvores no estrato superior do dossel (copa das árvores) das formações vegetacionais, onde algumas árvores podem chegar a atingir alturas até ou superiores a 50m⁴¹. O subsetor Floresta (4.A) divide-se ainda nas categorias Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) e Área convertida para Floresta (4.A.2)⁴¹. Conforme descrito no quadro a seguir, existem diferentes tipos de projetos florestais característicos do setor LULUCF.

Quadro 1 - Tipos de projetos florestais característicos do setor *Land Use, Land-Use Change and Forest* (LULUCF).

<i>Forestation, Reforestation and Revegetation (ARR)</i> (Florestamento, Reflorestamento e Revegetação)	<i>Improved Forest Management (IFM)</i> (Melhoria no Manejo Florestal)	<i>Reducing Emissions from Deforestation (REDD) –</i> (Redução das Emissões por Deflorestação)
Aumenta o sequestro de carbono e/ou reduz as emissões de GEE; Converte áreas não florestais em áreas florestais; Envolve estabelecimento, melhoria ou restauração da cobertura vegetal;	Aumenta o sequestro de carbono e/ou reduz as emissões de GEE; Ocorre em áreas florestais já existentes; Foca na recuperação de biomassa e/ou na melhoria das práticas de gestão florestal.	Evita as emissões de GEE resultantes da deflorestação e degradação florestal; Mantém as florestas existentes em pé; Incentiva a evitar a deflorestação e a degradação da floresta.

Fonte: Adaptada de Almeida (2012)

Os projetos LULUCF têm se mantido em uma posição de liderança no mercado voluntário de carbono, apresentando elevada importância para seu desenvolvimento³⁹. O mercado de carbono possui uma grande abertura de oportunidades para os créditos de carbono florestal³⁹. Em 2010, o aumento verificado no mercado de carbono florestal foi em parte devido a consequência da contratação de grandes quantidades de créditos de carbono de origem no REDD³⁹. Essa tendência de popularidade para o REDD estava sendo

verificada desde 2007, sendo que em 2010 a quantidade de créditos gerados por REDD ultrapassou a categoria ARR³⁹. Os projetos ARR, por sua vez, são preferidos por muitos compradores. Particularmente, empresas e instituições que buscam demonstrar sua responsabilidade corporativa tendem a considerar a tipologia ARR mais fácil e intuitiva para comunicar os seus benefícios ambientais³⁹.

De acordo com o relatório da OPIS (*Oil Price Information Service*)⁴² para março de 2022, os preços-médios/tonCO₂eq atualmente encontram-se mais altos para ARR (\$15,66), seguido de REDD (\$12,21) e IFM (\$9,1). Ressalta-se, entretanto, que os preços no mercado voluntário de carbono variam constantemente conforme o mercado e de acordo com a tipologia dos projetos³⁹. Em 2012, por exemplo, os preços para projetos florestais se destacaram para projetos ARR e REDD incluídos top cinco das tipologias mais valorizadas economicamente³⁹, enquanto em 2020 verificou-se que projetos ARR e IFM estavam com maior valor médio em relação a REDD⁷.

A decisão da implementação de um projeto de carbono na Mata Atlântica por si só é complexa, e envolve o aprofundamento nas metodologias aplicáveis de certificadoras. Em pesquisas realizadas no VERRA, principal órgão homologador e certificador de créditos de carbono do mundo, observou-se que ainda não existe uma metodologia totalmente compatível para as características de condições de recuperação de remanescentes degradados no bioma. Considerando que o processo de recuperação de ecossistemas degradados envolve a recuperação da biomassa e estoque de carbono florestal através de técnicas de manejo, considera-se que dentro da categoria Forestry o tipo de projeto que mais se aplica a essas características se enquadra dentro da categoria IFM - *Improved Forest Management: Conversion of Low Productive to High Productive Forest* (IFM - Melhoria da Gestão Florestal: Conversão de Floresta de Baixa Produtividade em Floresta de Alta Produtividade). De acordo com o documento "*Methodology for Improved Forest Management*"⁴³ elaborado pela *Family Forest Carbon Program*, a metodologia proposta aplica-se a todas as atividades de melhoria de gestão e manejo florestal, incluindo atividade que representam

intervenções discretas e mudanças em regime de gestão realizado ao longo do tempo.

Dentro do setor LULUCF, percebe-se que os projetos tipo ARR e REDD possuem maior popularidade em relação a projetos IFM. Na plataforma oficial do VERRA, dos 456 registros de projetos do tipo “*Agriculture Forestry and Other Land Use*” no mundo apenas 59 pertencem a categoria IFM. Dentre as metodologias disponíveis para IFM, consideramos a metodologia VM005 melhor compatível para as condições dos remanescentes florestais degradados do Pontal do Paranapanema, de acordo com as condições de aplicabilidade e descrições. A versão mais atualizada é a “*VM0005 Methodology for Conversion of Low-productive Forest to High-productive Forest, v1.2*”⁴⁴. Para a América Latina, só existem cinco projetos da categoria IFM no banco de dados do VERRA, sendo três já oficialmente registrados e dois em processos de validação. Entre eles, apenas um foi aplicado para a VM0005 em conjunto com a AR-ACM0003. Para o Brasil, os únicos dois registro de IFM seguem metodologia AR-AMS0007 e VM0011, conforme tabela abaixo.

Tabela 1 - Projetos de carbono dentro do tipo *Agriculture Forestry and Other Land Use* aplicados para tipo IFM na América Latina disponíveis no banco de dados do VERRA.

ID VERRA	AFOLU Atividades	Metodologia	Status	País	Estimativas anuais de redução de emissões
2359	IFM; REDD	AR-AMS0007	Under validation	Brazil	8152
2345	IFM	VM0010	Registered	Peru	486931
1769	IFM; REDD	VM0005 ; AR-ACM0003	Registered	Colombia	6835
1147	IFM; REDD	VM0011	Registered	Brazil	61238
1000	IFM	VM0010	Under validation	Bolívia	9900

Fonte: Banco de dados VERRA, 2022.

No item “*Applicability Conditions*” (Condições de Aplicabilidade) de qualquer metodologia do VERRA, é possível averiguar se as características do projeto de carbono de interesse se aplicam as especificidades da metodologia. Caso as características do projeto não forem inteiramente compatíveis com a metodologia, existe a possibilidade de realizar um desvio de metodologia. De acordo com o VERRA, os desvios às condições de aplicabilidade são agora permitidos. Conforme descrito no item 3.18 do documento oficial *VCS Standard*⁴⁵: “*Os desvios de metodologia aplicada são*

permitidos quando representam um desvio aos critérios e procedimentos relativos ao monitoramento ou medição estabelecidos na metodologia (ou seja, são permitidos desvios quando se referem a dados e parâmetros disponíveis na validação, dados e parâmetros monitorados, ou ao plano de monitoramento).”

Dessa forma, uma vez que o interessado em realizar um projeto de carbono entenda que as Condições de Aplicabilidade da metodologia não se apliquem totalmente ao contexto do projeto, é possível exigir ao VERRA uma revisão da metodologia. Os detalhes para esse processo podem ser consultados no documento *Methodology Approval Process*⁴⁶.

3.3 O manejo para recuperação florestal

Apesar da importância da inclusão de remanescentes florestais degradados nos projetos de restauração florestal, poucos estudos acadêmicos são desenvolvidos sobre o tema⁴⁷. Além disso, a recuperação de remanescentes degradados em si também é pouco estudada^{8,48,49}. Ainda que pequenos e dispersos na paisagem, remanescentes florestais secundários e de floresta primária desempenham um papel essencial para o sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos. Florestas secundárias, ou seja, que são resultantes de um processo natural de regeneração após distúrbio, apresentam um alto potencial de sucesso em ações de restauração, uma vez que atuam como fontes de propágulos para a dispersão de sementes e estabelecimento da comunidade vegetal⁴⁷.

Dentre as estratégias para restaurar os remanescentes da Mata Atlântica a mais eficaz pode ser reverter degradação da floresta dentro deles^{2,12}. A recuperação florestal em fragmentos localizados na região do Alto do Paraná deve ser mais eficaz em termos de custos monetários quando comparado à outras regiões da Mata Atlântica¹². As florestas do Pontal do Paranapanema, fazem parte, portanto, das áreas consideradas prioritárias para a recuperação florestal¹². O fato de essas áreas estarem inseridas dentro

de mais regiões fragmentadas e perturbadas da Mata Atlântica significa que os esforços de restauração tendem a fornecer melhores resultados para a recuperação de carbono e de biodiversidade¹². Conseqüentemente, essas regiões também apresentam melhores rendimentos operacionais de restauração em relação às outras regiões do bioma¹².

Infelizmente, nem todos os remanescentes degradados são capazes de recuperar-se naturalmente. O sucesso da recuperação natural de um remanescente para uma condição florestal estável, pode não ser possível devido ao grau, intensidade e frequência da perturbação^{15,50}. Além disso, se a degradação florestal apresentar a influência de fatores bióticos, como por exemplo a presença de espécies invasoras, os esforços de recuperação devem se concentrar no manejo desse componente para evitar maiores danos sobre a o ecossistema florestal².

Dentre as estratégias de recuperação de fragmentos florestais, podemos citar aquelas que apenas isolam o remanescente florestal do agente de impacto, como a realização de cercamentos e aceiros. O uso de cerca funciona como uma barreira física e/ou elétrica para animais como bovinos, ovinos, suínos e equinos. A estratégia evita que esses animais invadam a floresta causem danos aos indivíduos arbóreos regenerantes e às condições de densidade do solo, através do pisoteio e/ou alimentação. Já o aceiramento, que consiste na remoção da vegetação e exposição do solo, é utilizado com o objetivo de garantir a segurança da floresta quando ocorrer incêndios. A borda de aceiro é realizada no entorno de florestas que façam limites com uso de solo de uso de fogo, como por exemplo, monoculturas de cana ou pastagem. A exposição do solo é realizada em uma faixa que varia de 5 a 10 metros de largura, evitando que, caso ocorra incêndios, o fogo seja disseminado para o remanescente florestal.

Quanto a técnicas de recuperação florestal que ocorram de maneira ativa dentro dos remanescentes, podemos citar o manejo de lianas, uma vez que, em alguns casos, realizar somente o isolamento dos fatores de degradação não é o suficiente para garantir a recuperação⁵¹. De acordo com o manual de Manejo de Fragmentos Florestais Degradados, o manejo de

lianas pode ocorrer com o com o intuito de favorecer o crescimento e a densidade de espécies arbóreas e arbustivas ²⁰⁵², e conseqüentemente a recuperação da biomassa e estoque de carbono. A adoção dessa técnica pode ser necessária em florestas com alta densidade de lianas, ou em locais com elevada presença de espécimes invasoras e de rápida proliferação. Dentre as estratégias de manejo, pode-se citar: a) borrifamento de herbicida; b) uso de fogo; c) controle biológico e d) remoção por capina ²⁰.

Alguns problemas para a técnica de borrifamento de herbicidas podem incluir: a contaminação de espécies nativas próxima; e o desenvolvimento de resistência das lianas aos herbicidas²⁰. O uso de fogo pode ser extremamente perigoso à floresta devido aos riscos de disseminação, causando a morte de árvores jovens. Além disso, algumas lianas podem ser extremamente resilientes e proliferem-se logo após incêndios²⁰. Quanto ao controle biológico, infelizmente não existem experimentos que tenham abordado esse procedimento nos ecossistemas brasileiros. Sendo assim, o comportamento de organismos introduzidos pode ser imprevisível, logo não recomendáveis para as paisagens do país²⁰. Já o manejo de lianas por capina consiste na remoção manual dos indivíduos de lianas, com uso de materiais como facão ou enxada (para a remoção de raízes superficiais)²⁰, ferramentas as quais são comuns e a maioria dos trabalhadores de campo estão acostumados com o uso. Nesse caso, o corte das lianas pode ser realizado a aproximadamente um metro de altura em relação ao solo, de maneira seletiva ou não. O método de manejo por capina apresenta menor risco para a integridade florestal e do trabalhador em relação aos demais citados²⁰. Entretanto, exige um esforço mais elevado e baixo rendimento operacional, o que pode torná-lo muitas vezes inviável para grandes áreas²⁰⁵³.

Destaca-se ainda que o manejo de lianas geralmente não é indicado para a área total do remanescente, uma vez que as diferentes espécies de lianas também fazem parte da estrutura e importância ecológica da floresta. De acordo com a literatura, as lianas podem chegar a representar entre cerca de 7,4%⁵⁴ a 40%⁵⁵ da florística total das florestas tropicais. Assim sendo, o manejo de lianas deve ser evitado antes da realização de um estudo prévio²⁰

quanto a estrutura, riqueza de espécies e capacidade de rebrote das lianas do local.

3.4 Custos para a recuperação florestal e para projeto de carbono

Cada técnica para recuperação florestal pode envolver uma série de custos monetários, os quais variam conforme as necessidades, as condições locais da paisagem e os objetivos da recuperação. As técnicas podem incluir custos com diferentes materiais (compra ou aluguel de item específico), custos com mão-de-obra, além de possíveis custos adicionais como gasolina para o deslocamento, alimentação e/ou hotelaria dos prestadores de serviço e pessoas envolvidas.

A decisão de realizar o cercamento de área florestal, por exemplo, pode considerar diferentes modalidades cerca, sendo as mais conhecidas a cerca tradicional e a cerca elétrica. Os custos e quantidade de materiais utilizados, métodos de instalação e manutenção são bastante distintos entre essas duas. De acordo com entrevistas com prestadores desse tipo de serviço em Teodoro Sampaio (SP), os custos com materiais para cercas tradicionais envolvem a aquisição de unidades de: rolo arame liso; morão de eucalipto; palanque de eucalipto; e balancin. Já as cercas elétricas exigem a instalação de unidades de materiais como: lasca de eucalipto; arame liso elétrico; palanque de eucalipto; isolador de cerca elétrica g; mangueira isoladora cerca elétrica; haste de aterramento; máquina de choque; e conector haste de aterramento. De forma geral, custos para instalação de cerca elétrica costumam ser mais baratos em relação ao uso de cerca tradicional, devido ao número de materiais por unidade de distância. Cerca tradicionais utilizam maior número de palanques devido a menor espaçamento entre fios e tendem a utilizar de 4 a 5 fios, enquanto elétricas utilizam de 2 a 3 fios.

Quanto aos custos para a realização de um aceiro, esses podem envolver o aluguel de um trator com grade para a remoção da vegetação acima do solo e exposição do solo. Os custos para contratação desse serviço dependem da região, sendo que além do aluguel podem envolver os gastos

com gasolina para deslocamento, além da mão-de-obra do manobrista e possíveis adicionalidades. De acordo com trabalhadores da região do Pontal, os custos variam conforme a largura escolhida para a realização do aceiro, pois o trator pode passar uma ou mais vezes para completar a realização do serviço.

Para controle de lianas, apesar do método de remoção por capina ser mais comum e menos perigoso a técnica pode apresentar altos custos monetários devido ao baixo rendimento. Isso porque, o tempo estimado para manejo de lianas na literatura costuma ser alto e relativo, e isso impacta diretamente nos custos com contratação de mão-de-obra do trabalhador. Geralmente o prestador de serviços para trabalhos de campo costuma cobrar por diária ou por hora. Sendo assim, quanto mais horas de trabalho, maiores os custos para o manejo de lianas. Conforma a literatura, o rendimento operacional para manejo de lianas pode variar entre: 88,3 horas-homem/ha em César (2014); 82 horas-homem/ha em Santos (2019)⁵⁶, ambos para florestas na Mata Atlântica; 23,30 homens-hora/ha em Pérez-Salicrup (2001), para florestas de terras baixas da Bolívia; Além de 18,8 horas-homem/ha em Vidal et al. (1997) e 16 horas-homem/ha em Grauel e Putz (2004)⁵⁷ para florestas da Amazônica. Sendo assim, dependendo da quantidade horas-homem/ha necessárias e do preço da mão-de-obra do trabalhador local, os custos totais para o manejo de lianas por capina podem variar consideravelmente.

Considerando os custos técnicos para a recuperação de biomassa e estoque de carbono, pode ser interessante apoiar-se nas ferramentas do mercado voluntário de carbono para atingir facilitar esse objetivo com a obtenção de uma receita. A implementação de um projeto de carbono, entretanto, também apresenta custos específicos conforme o projeto. De modo geral, projetos de carbono necessitam passar por algumas etapas padrões do MDL que exigem um investimento financeiro por parte do interessado⁵⁸, como:

Elaboração de Documento de Concepção do Projeto (Project Description - PD): etapa técnica, que geralmente realizada com suporte de uma empresa especializada.

Validação (Validation): exige a contratação de uma empresa de auditoria para validar o projeto. Ocorre a partir da avaliação do documento PD.

Registro (Registry): consiste no aceite formal do projeto pelo órgão homologador (geralmente o VERRA). Envolve o registro de documentações como o PD e outras na plataforma oficial.

Verificação (Verification): novamente, exige a contratação de uma empresa de auditoria, dessa vez para verificar o andamento do projeto em período de monitoramento específico. Ocorre a partir da avaliação de um Relatório de Monitoramento (*Monitoring Report - MR*), elaborado com suporte técnico.

A liberação dos créditos de carbono ocorre apenas após a etapa de verificação, onde ao longo do período total de duração do projeto (até 30 anos⁵⁸) essas etapas se repetem com frequências diferentes. A venda dos créditos de carbono é geralmente a única ou a principal fonte de receita para um projeto de carbono.

Dessa forma, aos interessados em realizar um projeto de carbono, além dos custos técnicos envolvidos alguns custos padrões podem incluir: a contratação de empresa especializada em créditos de carbono (para fornecer orientações e suporte técnico, social, jurídico, e/ou vender os créditos ao mercado); a contratação de empresa auditora (para verificar e validar o projeto); além de taxas padrões do órgão, por exemplo o VERRA, cobradas a cada etapa de submissão e manutenção do projeto na plataforma.

3.5 Sensoriamento remoto para estimar estoques de carbono

Estimar os estoques de carbono contidos na vegetação representa uma tarefa complexa⁵⁹. Isso porque é necessário a combinação de dados coletados em campo com alguma ferramenta de extrapolação, como

modelagem, sensoriamento remoto ou a combinação das duas⁶⁰. Apesar de muito trabalho já ter sido colocado nas estimativas de estoques de carbono atuais⁶¹, ainda é uma tarefa desafiadora devido às incertezas associadas à metodologia e precisão das estimativas de carbono⁶².

Especificamente para florestas que sofreram com alguma perturbação, quantificar escalas de degradação florestal é difícil pois essas possuem diferentes causas, formas e intensidades¹⁶. A degradação florestal é difícil de ser observada remotamente, pois é uma mudança de estrutura da floresta que não altera a classificação do uso da terra, como no desmatamento, por exemplo¹. Diante desse desafio, muitas metodologias têm procurado desenvolver ferramentas e modelos que permitam a extrapolação dos dados de campo⁶³. Surgem então métodos alternativos de sensoriamento remoto, que permitem obter informações florestais confiáveis⁶⁴, como os sistemas a laser aerotransportados baseados na tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

O LiDAR consiste em uma ferramenta tecnologia de sensoriamento remoto que utiliza pulsos de laser para a capturas a distância ou o alcance de algum objeto ou estrutura⁶⁵. O sistema LiDAR permite obter informações tridimensionais acerca da superfície terrestre com alta precisão⁶⁶ sendo, portanto, comumente utilizados para quantificar métricas florestais, como o volume das árvores e inúmeras outras, as quais podem ser convertidas para outras métricas utilizando relações estatísticas e medições do carbono em campo⁶⁷. O LiDAR, portanto, pode ser uma ferramenta valiosa para monitoramento de carbono, pois permite a detecção de algumas alterações nas florestas que mais difíceis, ou até mesmo impossíveis, de mensurar por outras tecnologias ou ferramentas⁶⁸.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente trabalho foi realizado na região do Pontal do Paranapanema, localizada no extremo oeste do estado de São Paulo entre as confluências dos rios Paraná e Paranapanema, composta por 32 municípios⁶⁹. O estudo foi desenvolvido, especificamente, em remanescentes florestais dentro dos limites dos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Presidente Epitácio, Mirante do Paranapanema e Sandovalina (SP).

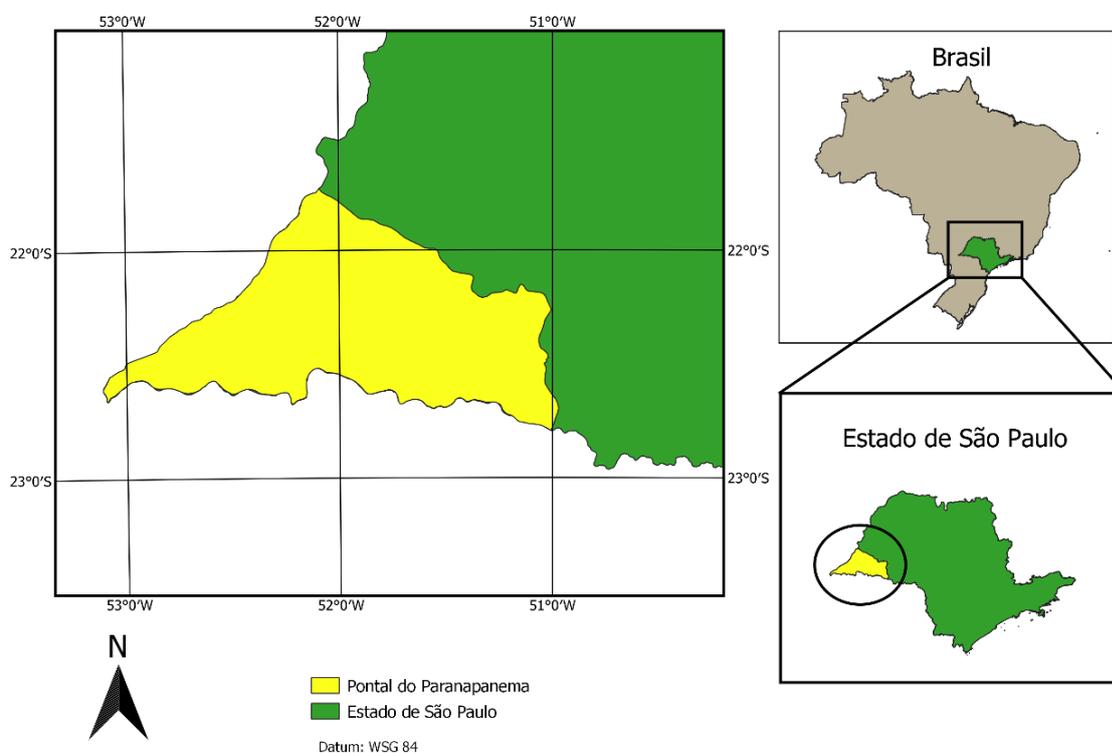


Figura 1 - Localização da região do Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, Brasil.

A região do Pontal está inserida no compartimento geomorfológico denominado Planalto Ocidental, sobre rochas do Grupo Bauru, constituídas por formações predominantemente areníticas. O clima é classificado como Cwa de acordo com Köppen, sendo mesotérmico⁷⁰, apresentando precipitação anual de 1,500mm, com verão chuvoso e inverno seco⁷¹. Os tipos

de solo predominantes são os Latossolos Vermelho-Escuros e os podzólicos, sendo os solos em sua maioria, muito arenosos, pouco ácidos, pobres em argila, de grande profundidade e alta drenagem⁷².

A formação florestal característica é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (FES), inserida no domínio Mata Atlântica. Essa vegetação é marcada pela ausência de coníferas e pela perda parcial de folhas em decorrência da baixa precipitação pluviométrica no inverno⁷³. A FES apresenta a característica de 20% a 50% das árvores caducifólias e é condicionada pela presença de duas estações climáticas: a) tropical, com época de chuvas intensas no verão seguidas por estiagem acentuada; e b) subtropical, sem período seco mas com seca fisiológica provocada pelo frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C⁷⁴. Dentre as formações florestais brasileiras, a FES pode ser considerada como a que mais sofreu com o desmatamento em larga escala, principalmente nas regiões cuja topografia favorece o uso do solo para a agropecuária⁷³.

4.2 Contexto histórico da degradação no Pontal do Paranapanema

A região do Pontal do Paranapanema foi uma das últimas extensões de Mata Atlântica do estado a sofrer com os impactos da degradação. A devastação foi intensificada a partir da década de 1950, transformando a paisagem em extensas áreas de monocultivos e pastagem⁷⁵. A partir dos anos 90, as terras do Pontal passam a ser disputadas por intensos conflitos de posse da terra protagonizados por diversos movimentos de cunhos sociais, como o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), cujas mobilizações levaram ao assentamento de mais de cinco mil famílias em mais de cem projetos de assentamentos na região⁷⁵.

Com o avanço da reforma agrária no Pontal, observou-se entre os assentados uma crescente demanda por produtos florestais, além da expansão de pastagens. Esse tipo de atividade levou a uma modificação na paisagem regional, onde as últimas ilhas de biodiversidade da Mata Atlântica foram sendo circundadas e pressionadas⁷⁵. A paisagem da região do Pontal

do Paranapanema é marcada pela presença majoritária de pasto (cerca de 54,10%) e agricultura (cerca 15,5%)⁷⁶ - principalmente de cana-de-açúcar, soja e outras culturas. Restam apenas 13,1% de cobertura vegetal de FES em relação a paisagem original, corresponde principalmente ao Parque Estadual do Morro do Diabo (36.000 ha), sendo o restante distribuídos em fragmentos menores e dispersos entre si⁷⁷.

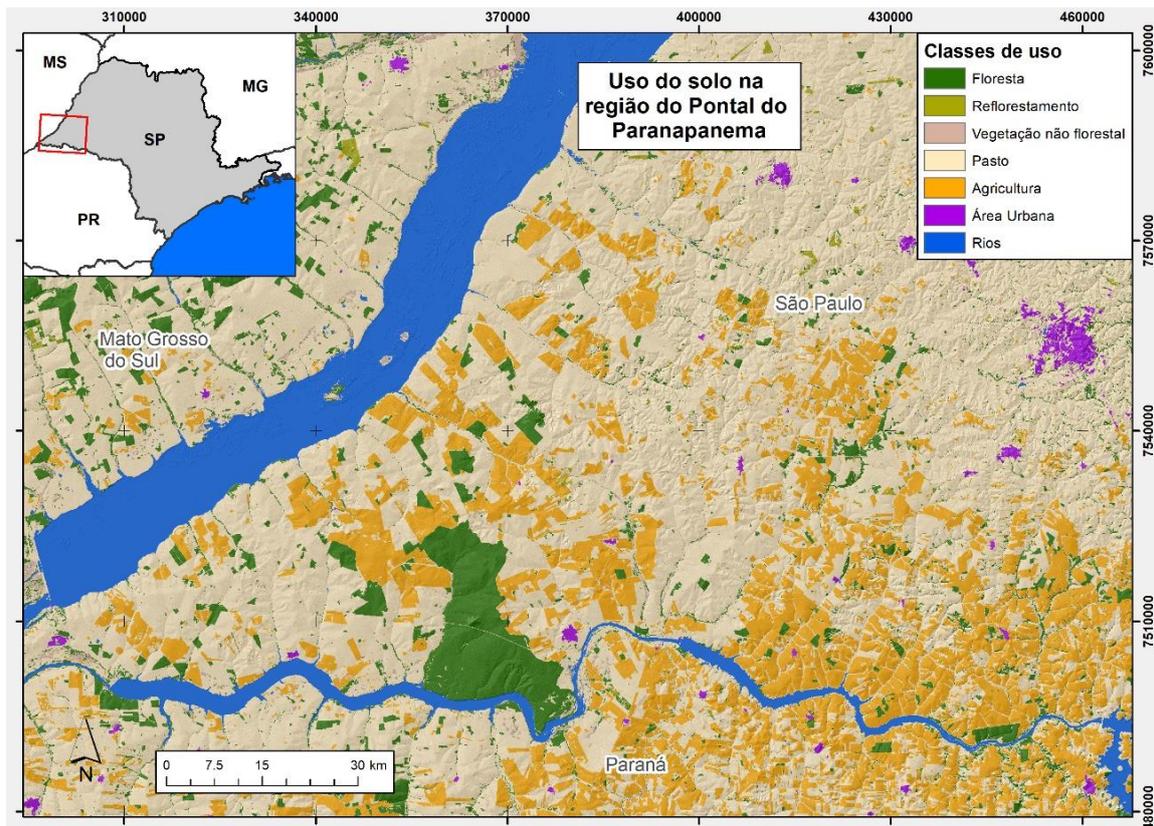


Figura 2 - Uso do solo do Pontal do Paranapanema. Fonte: Banco de dados do CTG, base do MapBiomas. Áreas de agricultura, em laranja, englobam principalmente soja e cana.

4.3 Seleção dos remanescentes florestais

Os esforços de coleta desse trabalho foram direcionados a duas categorias de remanescentes florestais no Pontal do Paranapanema, aqui denominados como degradados e conservados. A classificação dos remanescentes foi realizada a partir de uma base de dados de imagem de satélite disponibilizadas pelo IPÊ (Instituto de Pesquisas Ecológicas), além de

mapas de uso do solo. As diferenças entre os remanescentes são descritas a seguir.

Conforme citado no item 3. *Referencial Teórico*, o termo floresta degradada pode ter inúmeras interpretações. Nesse trabalho, consideramos como degradados os remanescentes florestais dispersos entre si, variando com dimensões médias de 2.575 ha, que fazem limites com uso do solo de pasto, cana ou soja. Supomos, dessa forma, que essas áreas sofrem com influência de borda devido a atividades antrópicas e ausência de vegetação florestal no entorno. A maioria dos remanescentes florestais degradados desse estudo fica localizado no interior de propriedades privadas ou assentamentos, sendo que dois remanescentes fazem parte dos limites da Estação Ecológica Mico-Leão-Preto.

Parte dos remanescentes degradados avaliados foi visitado em campo (ver em 4.4 *Coleta de dados*), onde foi possível verificar visualmente as condições físicas da floresta. A maioria se encontra em estado aparentemente abandonado, por vezes ainda resquícios de perturbação no interior, como a presença de trilhas antigas ou cevas para caça. A principal característica evidente desses remanescentes é a alta densidade de lianas, os quais dificultam o deslocamento no interior do fragmento. A presença de lianas é uma característica comum em remanescentes que sofreram com algum tipo de perturbação no passado⁷⁸.



Figura 3 - Registros fotográficos de remanescente degradado no Pontal do Paranapanema.

As amostragens de remanescentes conservados consideram o interior dos limites do PEMD (Parque Estadual Morro do Diabo), o qual consiste em uma reserva de 33 mil hectares⁵⁰ e um dos últimos remanescentes florestais de Mata Atlântica do estado de São Paulo¹⁹. O PEMD é protegido desde 1942⁷⁹ e é considerado uma Unidade de Conservação de Proteção Integral pelo SNUC, sendo assim permitido uso apenas para a realização de “(...) *pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.*” -conforme a LEI N° 9.985/2000.

O interior remanescente do PEMD, de maneira geral, não apresenta características visíveis de degradação ou distúrbios antrópicos, sendo perceptível em campo a baixa ocorrência de lianas quando comparado aos remanescentes degradados. O estado de conservação do PEMD possibilita a presença de espécies como o mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*), endêmico da região, e a onça-pintada (*Panthera onca*)⁸⁰ - classificados respectivamente como em perigo de extinção (EN) e quase ameaçada (NT) pela Red List da IUCN (2022). A sobrevivência dessas está diretamente relacionada com a manutenção da integridade florestal,²⁰ o que pode indicar um bom estado de conservação florestal.



Figura 4 - Registros fotográficos de remanescente conservado no Pontal do Paranapanema.

4.4 Coleta de dados

Estimativa de carbono

A coleta dos dados de estoque de carbono dos remanescentes degradados e conservados ocorreu por meio de um sobrevoo de avião acoplado com LiDAR. O LiDAR capturou informações de estoque de carbono para as duas formações florestais de estudo, sendo 409 ha divididos entre três remanescentes conservados (interior do PEMD); e 1.464 ha divididos entre dez remanescentes degradados (entre limites de pasto, cana ou soja), conforme a **Figura 5**.

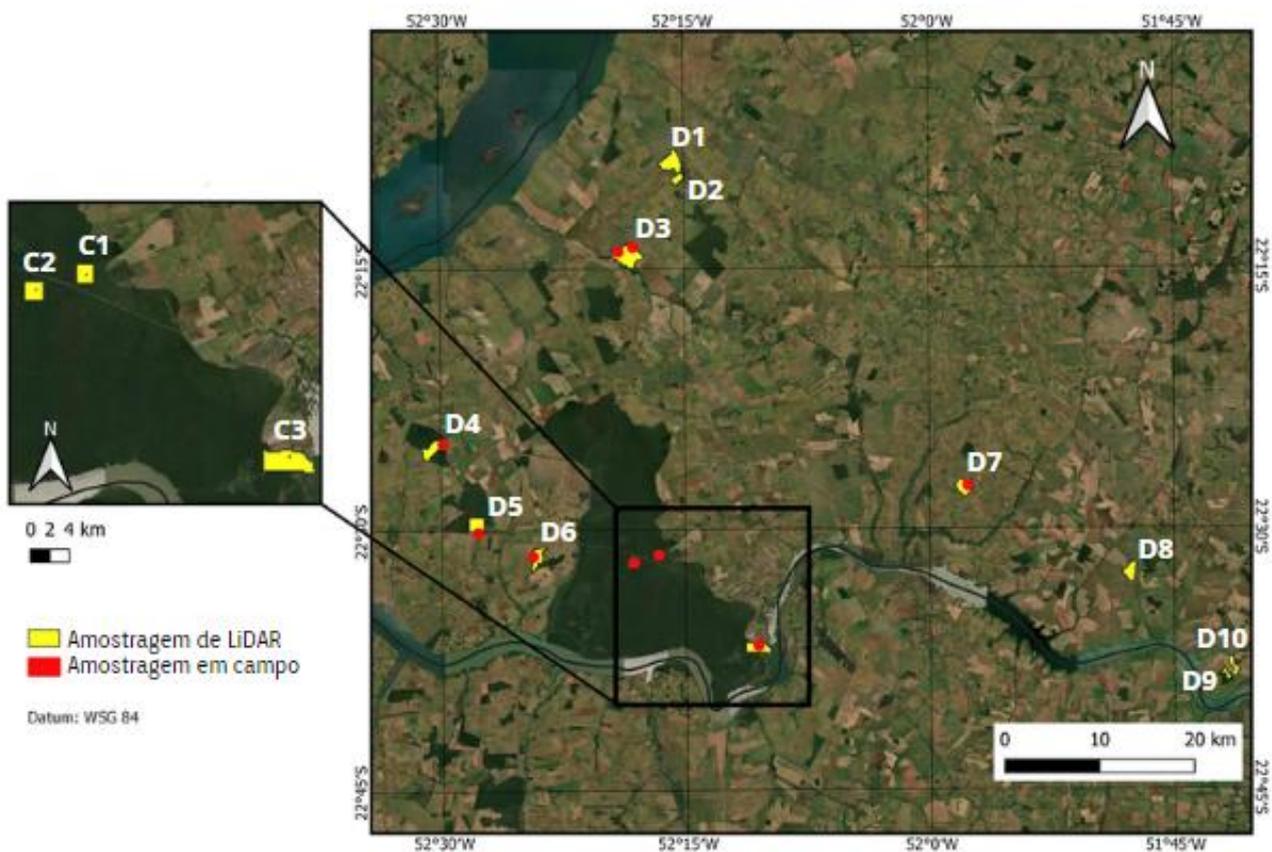


Figura 5 – Áreas em amarelo: amostragem do sobrevoo LiDAR. Letras representam o Código para as amostragens em LiDAR. Pontos em vermelho: amostragem em campo (estrutura da comunidade arbórea e lianas). Amostragens dentro do quadro preto representam os remanescentes conservados, enquanto as fora representam os remanescentes degradados.

Para chegar aos valores de estoque de carbono, inicialmente o LiDAR lançou pulsos de *laser* a uma densidade de 5 pulsos/m², que penetraram na

vegetação e retornaram a uma nuvem de pontos. Utilizamos um Modelo Digital de Terreno para corrigir as alturas dos pontos coletados. Em seguida geramos um arquivo *raster* da altura de dossel na resolução de 0.5m por pixel, considerando o ponto mais alto como o maior valor do pixel. Dessa forma, o LiDAR gerou um conjunto de dados espaciais indicando altura das árvores em relação ao solo até o dossel (ponto mais alto em cada pixel).

No *software R* (Team 2018), foi realizado um Teste de Shapiro-Wilk para analisar a normalidade das métricas *Canopy Height Model* do banco de dados LiDAR. Posteriormente, a partir do método de seleção de modelos *Akaike Information Criteria* (AIC), foram selecionados os melhores modelos com menor AIC, sendo então utilizados modelos lineares e quadráticos para estimar os estoques de carbono nas áreas de LiDAR. Por fim, utilizando a fórmula de Chaves et al. (2005)⁸¹, os de estrutura da comunidade arbórea (descritos no item a seguir) foram convertidos para biomassa (Mg.C⁻¹). A biomassa foi então multiplicada por 0,47 - conforme IPCC (2006)⁸² - para a conversão em carbono (Mg.C⁻¹). Assim sendo, nesse trabalho, o estoque de carbono dos remanescentes florestais corresponde ao carbono armazenado na biomassa florestal acima do solo.

Estrutura da comunidade arbórea

Para a composição do banco de dados de LiDAR, coletamos dados da estrutura da comunidade arbórea em campo, em amostragens que incluíram diâmetro, altura e identificação das espécies. As amostragens foram realizadas para cinco parcelas em remanescentes degradados e para três parcelas em remanescentes conservados, em locais onde foram coletados dados LiDAR (**Figura 5**).

Foram demarcadas parcelas quadradas com dimensões 30 x 30 m (900m²). Em cada quina da parcela, foram instaladas estacadas de cano de PVC utilizando a técnica de controle de ângulo e distâncias a partir dos valores de *Azimute* com bússola e trena; e coletadas as coordenadas com o GPS RTK

(*Real Time Kinematic*). Os limites das parcelas foram delimitados com barbante, sendo removidos ao final das coletas dos dados.

A amostragem de estrutura da comunidade arbórea e arbustiva considerou todos os espécimes de vegetação com DAP (diâmetro na altura do peito) igual ou superior a 5 cm. Dentro dessa categoria, todos os indivíduos foram plaqueados, mensurados e identificados. As aferições de DAP ocorreram com o auxílio de fita métrica, enquanto a altura total dos indivíduos foi estimada com um clinômetro eletrônico.



Figura 6 - Identificação de indivíduos arbóreos com plaquetas.

Os táxons em campo por nome comum por biólogo especialista, sendo que em cada parcela, um indivíduo de cada espécie teve material botânico coletados com o auxílio de um podão para melhor identificação *ex situ*. Priorizou-se a coleta de ramos com flores e/ou frutos quando possível, sendo esse material devidamente identificado com fitas e acondicionado em sacos plásticos para o processamento das amostras no mesmo dia - onde foram realizadas exsiccatas com jornais e prensas. O material foi encaminhado para identificação por especialistas do ESA – Herbário da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Densidade de lianas

As amostragens de densidade de lianas foram realizadas nas mesmas parcelas onde foram coletados os dados de estrutura da comunidade arbórea.

Dentro de cada parcela foram estabelecidos dois transectos paralelos de 30 m de comprimento e 5 m de largura a partir de primeira e segunda quina, conforme a **Figura 7**. A medição das lianas ocorreu por meio do percurso de uma pessoa pelo transecto com o auxílio de um bastão, contabilizando as lianas que tocavam no bastão, conforme duas categorias de amostragens: a) lianas de 1 a 2,5 cm de diâmetro - contabilizadas diretamente sobre a linha do transecto, com o bastão até 2,5 m de altura; e b) lianas de 2,5 a 5,0 cm de DAP - contabilizadas com o bastão em até 2 m do entorno do transecto.

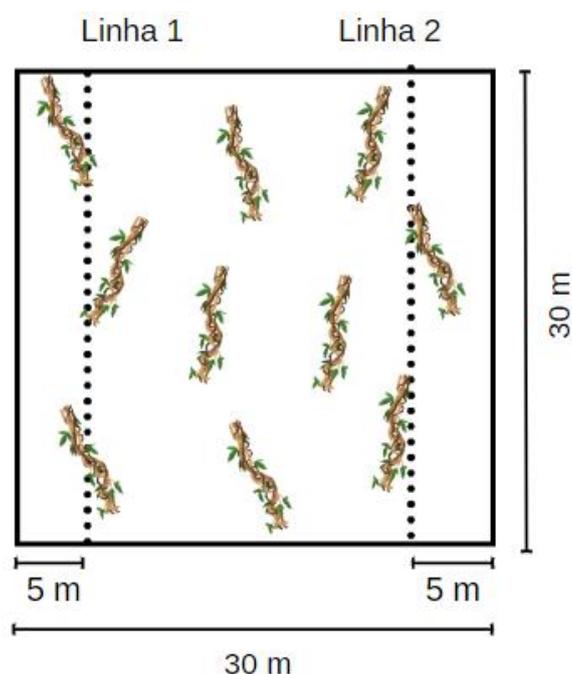


Figura 7 – Amostragem de lianas nas parcelas de 30x30m²

Custos para implementação de um projeto IFM

Custos técnicos:

Para a obtenção de custos técnicos, realizamos a aferição do perímetro total (km) e da área total (ha) de cada remanescente florestal degradado em todos os remanescentes onde foram realizadas amostragem LiDAR (**Anexo 3**). Utilizando a camada do MapBiomass (2022), identificamos os usos do solo limites (pasto, cana, soja ou outro) para cada remanescente florestal degradado.

Conforme o manual de Manejo de Fragmentos Florestais Degradados²⁰ e relatório de pesquisa da Restauração da Vegetação Nativa no Brasil⁸³, e descrito no **item 3.3** desse trabalho, selecionamos três técnicas de recuperação de florestas degradadas consideradas apropriadas para o contexto da região do Pontal, sendo elas: 1) Cercamento; 2) Manejo de lianas e 3) Aceiro para fogo. Para levantamento de custos de cada técnica, consideramos os seguintes aspectos:

Cercamento: orçamentos considerados para bordas (km) dos remanescentes florestais degradados que façam limite com pasto. Foram obtidos orçamentos para dois cenários - cerca tradicional e cerca elétrica – com o objetivo de observar a diferença de custos.

Manejo de lianas: consideramos orçamentos para o método de manejo de lianas por capina devido a maior popularidade e menor risco ao trabalhador e a floresta²⁰. Devido a importância das lianas na estrutura florestal, consideramos um cenário de manejo em apenas 20% da área total (ha) para cada remanescente florestal degradado. Consideramos dois possíveis cenários de tempo para capina de lianas, sendo um mais lento - 88 horas-homem/ha⁷⁸ - e um mais rápido - 22 horas-homens/ha^{84,85}- conforme valores médios da literatura.

Aceiro para fogo: orçamento obtido para as bordas (km) dos remanescentes florestais que façam limite com pasto, cana ou soja. Desconsideramos desses cálculos os limites dos remanescentes florestais degradados que já contassem com a presença de aceiro ou estrada, observados via ferramenta SIG.

Para cada técnica, obtivemos orçamentos considerando custos com a) materiais; b) mão-de-obra; e c) adicionais (ver em **Anexo 4**). Os orçamentos foram obtidos entre março e junho de 2022, considerando o contexto da região de Teodoro Sampaio (SP). O custo total (R\$) para cada técnica foi obtido através da multiplicação dos custos totais unitários (materiais, mão-de-obra e adicionais) pelo quantitativo em km (para cerca tradicional, cerca elétrica e aceiro) ou em ha (para manejo de lianas) a ser aplicado para cada técnica.

Custo total para cercamento tradicional, cercamento elétrico e aceiro:

(Custos de materiais + mão-de-obra + adicionais) x Total de km do local a ser a aplicada a técnica

Custo total para manejo de lianas:

(Custos de materiais + mão-de-obra + adicionais) x Total de ha (dos 20%) do local a ser a aplicada a técnica

Custos de projeto de carbono:

Conforme apresentado no **item 3.4**, para esse estudo consideramos que a etapa de implementação de um projeto de carbono considera custos com contratação auditorias; taxas do VERRA; e contratação de uma consultoria de carbono especializada (ver em **Anexo 5**).

Auditorias: foram solicitados orçamentos por e-mail para duas empresas auditoras acreditadas pelo VERRA, considerando cenários CCB e VCS, validação e verificação, área total de 23.176,29 ha, 30 anos de projeto com a metodologia IFM do VERRA: “*VM0005 Methodology for Conversion of Low-productive Forest to High-productive Forest, v1.2*”⁴⁴.

Taxas do VERRA: foram consideradas taxas ao VERRA conforme as modalidades CCB e VCS com base dos documentos “*CCB Standards Fee Schedule v3.4*”⁸⁶ e “*Program Fee Schedule v4.1*”⁸⁷. Desconsideramos as taxas de abertura de conta por considerar um cenário em que a empresa de consultoria especializada já teria esse recurso.

Consultoria especializada: consideramos um cenário onde os proponentes do projeto contratassem uma empresa especialista em mercado de carbono para realizar a suporte técnico, social, e outros serviços exigidos pelo VERRA. Consideramos ainda uma comissão total de 25% para a consultoria de

carbono após cada etapa de verificação (sendo 5% como comissão pela venda dos créditos; e 20% como adicional para a consultoria).

Conversão de Carbono para Carbono equivalente

Para utilização no mercado de carbono, o valor carbono (C) precisa inicialmente ser convertido em carbono equivalente (CO₂eq). Para isso, inicialmente precisamos encontrar o valor de C para os remanescentes florestais degradados. Utilizando os valores de LiDAR, multiplicamos a média de sequestro de carbono por hectare (Mg.C⁻¹ha⁻¹) pelo total de hectares dos remanescentes degradados (23.176,29 hectares). Posteriormente, a conversão C para CO₂eq foi realizada através da multiplicação por 3,667 (equivalência molecular). O valor em CO₂eq corresponde ao total de créditos de carbono sequestrados nos fragmentos florestais degradados. Descontamos 20% do total de créditos gerados no resultado, assumindo uma abordagem conservadora conforme o documento *AFOLU Non-Permanence Risk Too*⁸⁸ do VERRA. Utilizamos o resultado desse valor (CO₂eq) para os cálculos de conversão monetária que prosseguiram (**item 4.5 – Receita**).

4.5 Análise dos dados

Estimativa de carbono

Os pixels da nuvem de pontos gerados por LiDAR foram redimensionados de 30x30 m (900m²) para o 100m x 100 m (10.000m²) (um hectare) por meio do software QGis. Em seguida, uma margem de 100 metros foi removida por meio da criação de um *buffer* do limite de todos os remanescentes florestais degradados com o objetivo de minimizar influências de efeito de borda sob os valores de carbono. Esse procedimento foi realizado apenas para os remanescentes florestais degradados, uma vez que os remanescentes florestais conservados se concentram no interior do PEMD.

Posteriormente, no *software R* versão 4.2.0 (R Core Team, 2022) os dados de carbono para os remanescentes foram extraídos, do QGIS em arquivo *.tiff*, utilizando os pacotes *raster* (Hijmans & Etten 2012), *rgdal* (Bivand et. al, 2022) e *ggplot2* (Hadley Wickham, 2016). Os dados foram submetidos a testes de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e a homogeneidade das variâncias (Levene). As variáveis que não apresentaram este pressuposto foram submetidas a transformação de Box-Cox.

Foi realizado um Teste T para comparação dos dados totais de carbono LiDAR entre os remanescentes florestais conservados e degradados. Adicionalmente, essa comparação foi realizada entre todos os remanescentes florestais por meio de uma ANOVA seguida por Student-Newman-Keuls.

Ganho potencial de carbono em remanescentes degradados

A partir da nuvem de pontos gerada por LiDAR, foi calculado o ganho potencial de carbono para as áreas degradadas em um cenário de conservação florestal. Isso foi realizado através da subtração do estoque de carbono dos remanescentes conservados pelo estoque de carbono dos remanescentes degradados, partindo da premissa de que as áreas do PEMD seriam o estágio ideal de conservação florestal para os remanescentes florestais degradados da região do Pontal do Paranapanema.

Para a realização do cálculo, no Excel primeiramente os dados de carbono LiDAR dos remanescentes conservados e degradados foram separados em classes de pixels - onde cada pixel representa o tamanho de um hectare - de 5 em 5. Sendo assim, foi obtido o total de estoque de carbono por classe para as duas categorias de remanescentes. Posteriormente, somou-se o total de estoque de carbono presente para cada classe, obtendo-se o total de estoque de carbono atual para os remanescentes degradados e conservados. Finalmente, o valor de estoque de carbono total atual dos remanescentes conservados foi subtraído pelo valor dos remanescentes degradados, obtendo-se assim a diferença de estoque de carbono entre as duas categorias. Essa diferença representa o quanto os remanescentes

degradados poderiam ganhar em estoque de carbono ($\text{Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) caso fossem semelhantes aos remanescentes florestais conservados do PEMD.

Densidade de lianas

Através dos dados levantados a campo foi possível realizar análises para compreender a densidade de lianas nas diferentes categorias de remanescentes florestais e entre as parcelas. Para isso, os indivíduos totais de lianas foram comparados entre os remanescentes degradados e conservados por meio de *Teste t*. Esta comparação foi realizada para os indivíduos totais, para aqueles entre 1,5 a 2,5 cm, e para os indivíduos de 2,5 a 5 cm no software R, versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

Análise financeira

Realizamos uma análise financeira com o objetivo de avaliar a viabilidade financeira de implementação de um projeto de carbono do tipo IFM para recuperação das florestas degradadas e geração de crédito de carbono no Pontal do Paranapanema. Nesse caso, os critérios de avaliação consideraram os valores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), onde:

Valor Presente Líquido (VPL)

Representa a diferença entre receitas e custos do projeto, variando conforme a taxa de desconto aplicada. O projeto é considerado viável quando o VPL for maior do que zero⁸⁹, cuja fórmula pode ser resumida em:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$$

Onde,

R_j: receita no final do ano *j* ou período considerado
C_j: custo no final do ano *j* ou período considerado
i: taxa de desconto
n: duração do projeto (em anos)

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR consiste na taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento seja igual a R\$0. O projeto é considerado financeiramente viável se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade do capital, a qual nesse trabalho foi considerada a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia) mais recente de 13,75%⁹⁰. A fórmula simplificada da TIR pode ser resumida em:

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^{-j}$$

Onde,

R_j: receita no final do ano *j* ou período considerado
C_j: custo no final do ano *j* ou período considerado
TIR: taxa interna de retorno
n: duração do projeto (em anos)

O VPL e o TIR foram avaliados para cada um dos cenários e modelos. O resultado desses parâmetros determina se é viável financeiramente ou não a implementação de um projeto do tipo IFM na região.

Fluxo de Caixa

Consiste na movimentação do dinheiro do projeto através das receitas (entradas de dinheiro) e custos (saídas de dinheiro) ao longo do tempo. Para esse trabalho, consideramos o tempo de 30 anos de duração do projeto de carbono.

Cenários avaliados

A análise de viabilidade financeira foi realizada com base em seis cenários. Consideramos como diferenças de cenários preços distintos do crédito IFM no mercado voluntário, sendo considerado o preço atual - \$9,51 (C1) - e duas projeções otimistas de valorização do crédito - \$20 (C2) e \$30 (C3). Para conversão dos valores de dólar (\$) para real (R\$), realizou-se a multiplicação por 5. Além disso, foram consideradas combinações com diferentes modalidades de projeto de carbono - VCS e CCB. A diferença entre as modalidades de projeto de carbono altera os custos de taxas do VERRA para verificação; e taxas de desconto a cada venda dos créditos. Os cenários avaliados são resumidos a seguir:

- *C1 – VCS: Crédito à \$9,51 (preço atual), para programa VCS.*
- *C2 – VCS: Crédito à \$20, para programa VCS.*
- *C3 – VCS: Crédito à \$30, para programa VCS.*
- *C1 – CCB: Crédito à \$9,51 (preço atual), para programa CCB.*
- *C2 – CCB: Crédito à \$20, para programa CCB.*
- *C3 – CCB: Crédito à \$30, para programa CCB.*

Modelos avaliados

Consideramos quatro modelos, cuja diferença está na técnica de cercamento utilizada – para cerca elétrica e cerca tradicional; e no tempo esperado para manejo de lianas – rápido e demorado. Para manejo de lianas, consideramos modelo lento como: 88 horas-homem/há; e modelo rápido como: 22 horas-homem/ha, conforme descrito no **item 4.4**. Os modelos são resumidos a seguir:

- *CT - R: Cerca tradicional combinada com manejo de lianas rápido.*
- *CT - L: Cerca tradicional combinada com manejo de lianas lento.*
- *CE - R: Cerca elétrica combinada com manejo de lianas rápido.*
- *CE - L: Cerca elétrica combinada com manejo de lianas lento.*

Custos

Considera todos os custos envolvidos no projeto, ou valores de saída do fluxo de caixa em momentos diversos na linha do tempo do projeto. Conforme descrito no **item 4.4**, os custos totais desse trabalho consideraram:

- *Custos Técnicos*: aceiro, manejo de lianas e cercamento (tradicional e elétrica);
- *Custos com Taxas do VERRA*: Registro do projeto, Taxas de Verificação (CCB e VCS) e Taxas de Validação (CCB e VCS);
- *Custos com auditorias*: Verificação (CCB e VCS) e Validação (CCB e VCS); e
- *Custos com Consultoria para elaboração do projeto*: funcionários; Saída de campo, Desconto de 5% (venda) e 20% (consultoria) dos VCU.

Receita

Considera os valores de entrada no fluxo de caixa, sendo representada nesse trabalho pela venda dos créditos de carbono a cada etapa de verificação. O cálculo da receita compreende na multiplicação dos créditos de carbono equivalentes (CO₂eq) sequestrados pelo preço do crédito de carbono (R\$). A obtenção dos valores de obtenção CO₂eq foi descrita no **item 4.4** (*Conversão de Carbono para Carbono equivalente*). Já a obtenção dos valores monetários para crédito de carbono considerou o preço do crédito (R\$) para os diferentes Cenários avaliados. Para isso, o preço original em dólar (\$) foi convertido para real (R\$) considerando o dólar a R\$5. O valor considera a média arredondada do dólar entre os dias primeiro de janeiro e primeiro junho de 2022^{1*}. Utilizamos o valor em real para a subtração, cuja fórmula para a receita se resume em:

$$\text{Receita: } Y \times \text{Preço do VCU}$$

^{1*}<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>

Onde:

Y: crédito total sequestrado para os remanescentes degradados, em carbono equivalente (CO₂eq)

Preço do VCU: considerado os diferentes preços em real (R\$) para cada cenário

Inflação (%) e Valor Futuro

O valor futuro de uma quantia atual é identificado por meio da aplicação de juros compostos ao longo de prazo específico⁸⁹. Para cálculo do fluxo do valor futuro, utilizou-se a taxa de inflação Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) do IBGE. Utilizamos a taxa de inflação para corrigir taxas reais negativas, que decorrem devido ao uso de taxas de juros de crédito nominais subsidiadas - utilizadas nesse trabalho. Assim, para compensar a inflação nessas taxas, os fluxos de caixa precisaram ser inflacionados.

Realizamos uma simulação baseada em projeção de inflação, utilizando-se os valores de 7,89%, 4,10%, 3,20% e 3% para os anos 2022, 2023, 2024 e 2025, respectivamente⁹⁰, sendo que todos os anos seguintes até o final do projeto (2051 – 30 anos) consideraram a taxa de inflação de 3%. Uma vez que foram utilizadas taxas variáveis, o cálculo do valor futuro foi realizado a partir do fator de inflação acumulado. Para obtenção desse fator, inicialmente calculou-se a taxa de inflação anual através da fórmula *1 + inflação anual* para cada ano. Posteriormente, para o fator de inflação acumulado utilizando-se o valor 1 para o ano 0, sendo os fatores acumulados para os anos seguintes determinados pela fórmula:

$$FA = Fax \times (1 + Tx)$$

Onde,

FA: Fator acumulado

Fax: Fator acumulado do ano anterior

Tx: taxa de inflação do ano anterior.

$$VF = VP \times (1+i)^t$$

Onde,

VF: Valor futuro

VP: Valor presente (lucro líquido)

i: taxas de juros (IPCA para o respectivo ano – nesse caso fator acumulado)

t: período (ano do projeto).

Taxa de juro (%) e Fluxo descontado (valor presente com taxa de juros)

Considerou a taxa de juro prefixada de 5,5%, considerando que 100% do dinheiro para o projeto tenha sido obtido pelos proponentes através de empréstimo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), através do programa ABC Ambiental - linha de crédito que oferece financiamento para projetos ambientais. A taxa de juro foi utilizada na análise financeira para obtenção dos valores de Fluxo descontado, que consistem no valor futuro (valor presente inflacionado) com a taxa de juros (5,5%). O resultado do fluxo descontado consiste, portanto, no valor presente com a inflação e a taxa de juro prefixada aplicada para cada ano do projeto, onde:

$$VF / (1 + \text{taxa de juro}) ^ t$$

Onde,

VF: Valor futuro (obtido na etapa acima)

Taxa de juro: 5,5%

t: ano do projeto

5 RESULTADOS

Estimativa de carbono

Remanescentes florestais conservados apresentam maior carbono médio ($53,1 \pm 21,3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) em relação aos remanescentes florestais degradados ($39,5 \pm 16,3 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$), conforme observado na **Tabela 2** e na **Figura 8**.

Tabela 2 - Resultados de análise de teste T para estoque de carbono médio ($\text{Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) entre os remanescentes conservados e degradados.

	Conservado		Degradado		<i>p</i> *
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Estoque de carbono ($\text{Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$)	53,1	21,3	39,5	16,3	$p < 0,01$

* Indica diferença ($p \leq 0,05$)

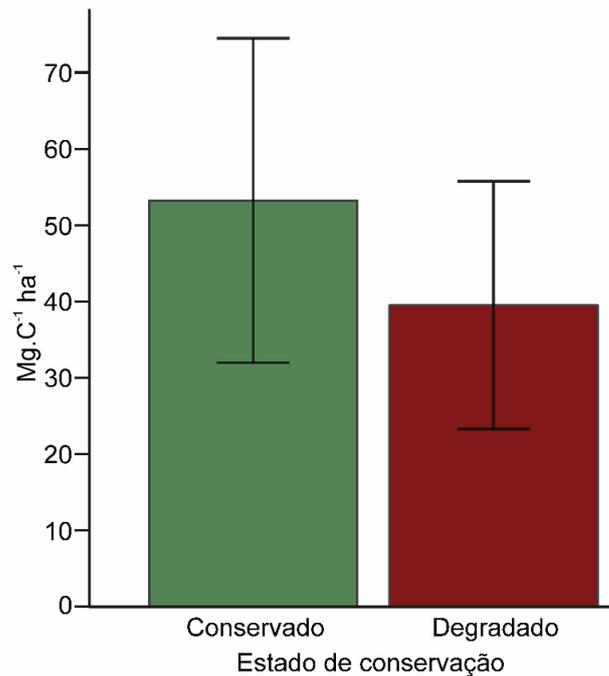


Figura 8 – Diferença média de estoque de carbono ($\text{Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) entre as classes remanescentes conservados e degradados. O gráfico em verde representa os remanescentes conservados, enquanto o gráfico em vermelho apresenta os remanescentes degradados.

Em relação as diferentes entre áreas de LIDAR para os remanescentes conservados e degradados, nem todas as áreas de LiDAR em remanescentes conservados apresentaram maior estoque de carbono em relação as áreas de LiDAR em remanescentes degradadas, conforme observado na **Figura 9**.

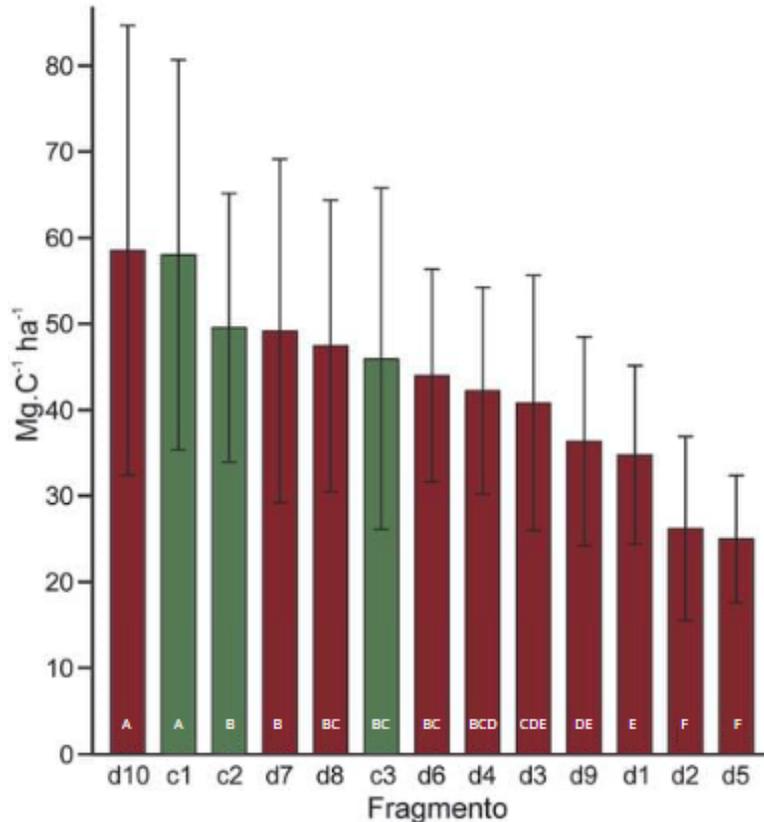


Figura 9 - Diferença média de estoque de carbono (Mg.C-1ha-1) entre cada área amostrada por LiDAR. Os gráficos em verde representam os remanescentes conservados, enquanto os gráficos em vermelho apresentam os remanescentes degradados. Barras com letras diferentes

Ganho potencial de carbono para os remanescentes degradados

Com base nos valores de carbono por hectare dos fragmentos conservados e degradados (**Tabela 7**), o ganho de carbono médio por hectare é de 13,68 Mg.C⁻¹ha⁻¹ para os remanescentes degradados. Multiplicando-se o carbono médio por hectare pela área total de remanescentes florestais degradados considerados nesse estudo (23.176,29 ha), chegamos ao valor de total 317.051,67 Mg.C⁻¹. Esse número representa o total que os remanescentes amostrados com LiDAR poderiam ganhar em carbono caso estivessem em condições semelhantes às florestas conservadas do PEMD.

O gráfico a seguir apresenta as diferenças de carbono por hectare para os remanescentes florestais conservados e degradados. Nesse caso, as classes de pixels representam a quantidade de carbono por hectare (Mg.C⁻¹ha⁻¹) e estão separadas em categorias de 5 em 5 Mg.C⁻¹ha⁻¹. Dessa forma, as categorias mais baixas (próximas à 10 - 14,99) representam menores valores

de carbono por hectare, enquanto as categorias mais altas (próximas à 140 – 144,99) representam maiores valores de carbono por hectare. Por exemplo: a classe de pixels (quantidade de carbono por hectare) de “80 – 84,99” aparece 4% das vezes para os remanescentes conservados e próxima a 0% para os remanescentes degradados.

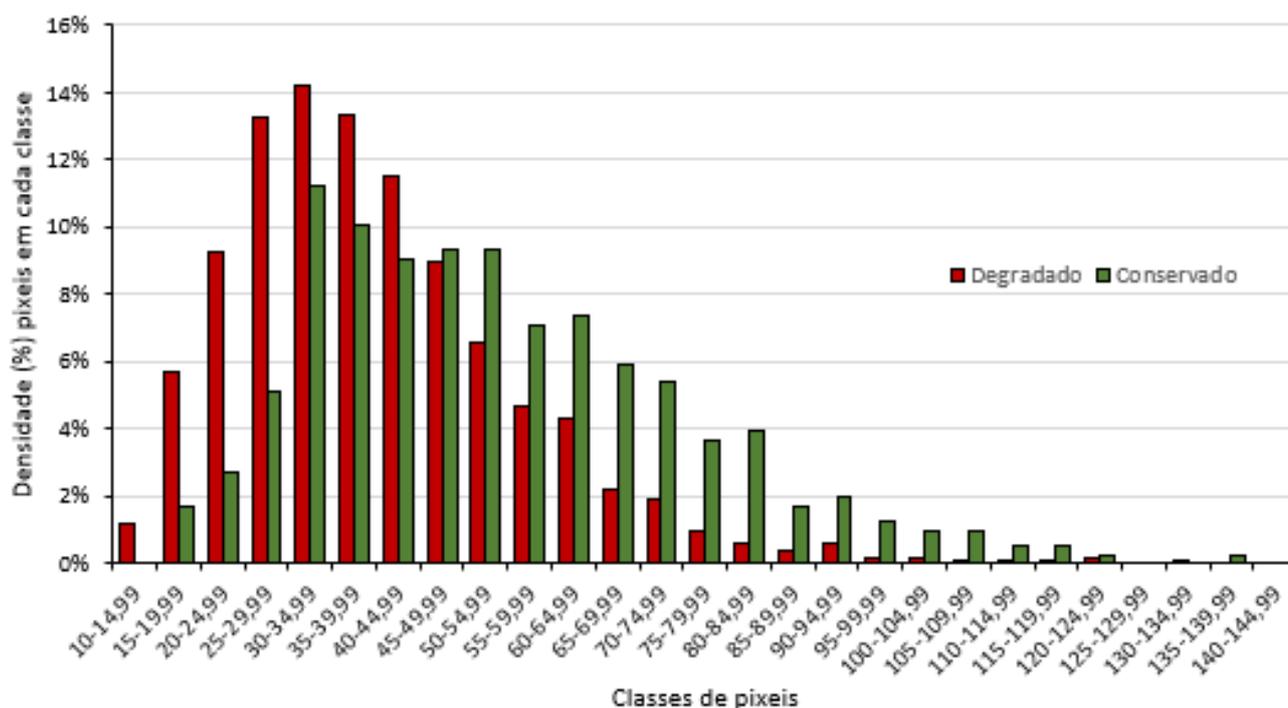


Figura 10 - Diferenças de densidade (%) de carbono (Mg.C-1ha-1) entre os remanescentes conservados (em verde) e degradados (em vermelho) por classes de pixels (que representam os valores de carbono por hectare).

Observa-se que os valores mais altos de pixels (quantidade de carbono por hectare) ocorrem em maior densidade (%) para os remanescentes florestais conservados – gráficos verdes mais altos para valores de classe maiores, à direita. Enquanto isso, os remanescentes florestais degradados apresentam maior densidade (%) de pixels de valores menores – gráficos vermelhos mais altos para valores de classe menores, à esquerda. Em suma, as maiores concentrações de carbono por classe de pixel são observadas para os remanescentes conservados.

Densidade de lianas

As áreas florestais degradadas (62 ± 30) apresentam mais lianas em relação às áreas florestais conservadas ($34,3\pm24,9$). Este padrão também foi observado para lianas com DAP de 1 a 2,5 cm, os quais apresentaram-se em maior número para as áreas degradadas ($43,4\pm24,9$) em relação as conservadas ($15,3\pm2,1$). Os indivíduos com DAP de 2,5 a 5 cm não diferiram ($p=0,957$) entre as áreas degradadas ($18,6\pm9,6$) e conservadas ($19\pm10,6$) conforme indicado na **Tabela 3** e na **Figura 11**.

Tabela 3 - Densidade de indivíduos totais de lianas e por classe de diâmetro (DAP) entre os remanescentes conservados e degradados.

	Conservado		Degradado		p^*
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Indivíduos totais	34,3	62	62	30,0	0,034
DAP 1 a 2,5 cm	15,3	2,1	43,4	24,9	0,001
DAP 2,5 a 5 cm	19	10,6	18,6	9,6	0,957

* $p \leq 0,05$ indica diferença

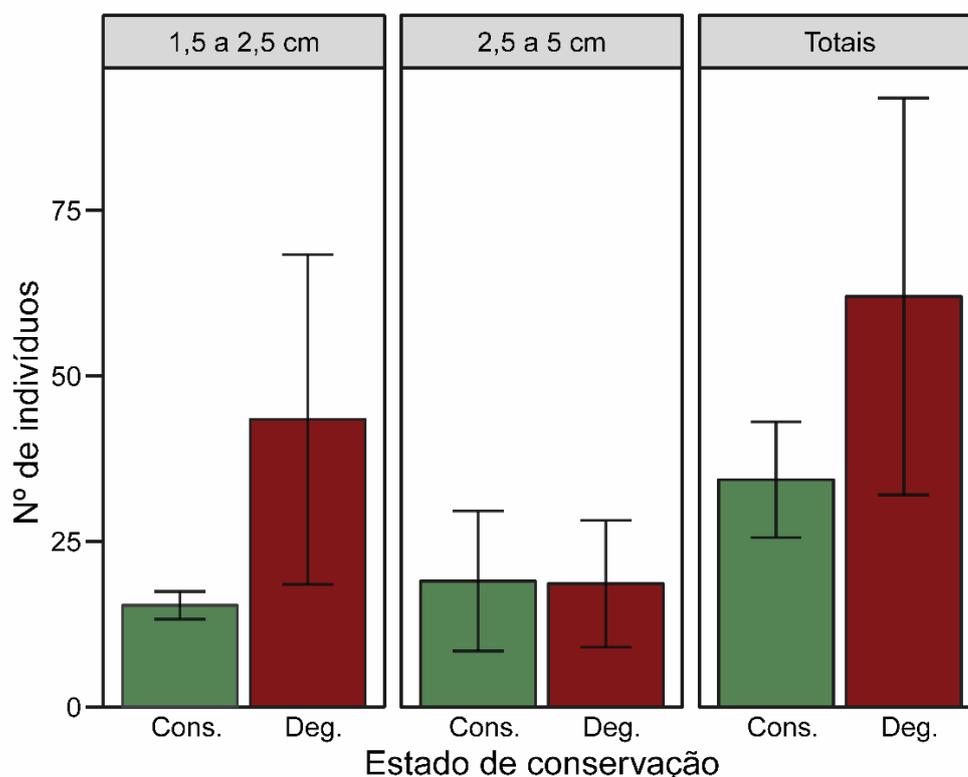


Figura 11 – Número total de lianas e para as diferentes classes de tamanho entre as amostragens nos remanescentes florestais degradados e conservados. Cons.: fragmentos conservados, Deg.: fragmentos degradados.

Conversão de estoque de carbono em unidade monetária

O estoque de carbono (CO₂eq) total estimado para sequestro nos 23.176,29 hectares de remanescentes florestais degradados, considerando um desconto de 20%, foi de 93.0782,61 CO₂eq. Em um cenário onde a biomassa florestal desses remanescentes seja recuperada em 30 anos de projeto, esse valor equivale à 31.026,08 CO₂eq por ano. Considerando o preço do crédito de carbono IFM atual (\$9,51) e assumindo o dólar a R\$5 esse valor equivale à R\$ 44.724,104,50 em 30 anos de projeto, ou R\$1.490,803,48 por ano.

Custos para implementação de um projeto IFM

Os custos totais para implementação de um projeto IFM nos remanescentes florestais degradados da região do Pontal do Paranapanema variam entre R\$ 17.973,385,42 e R\$ 33.707,968,52, conforme apresentado na **Tabela 4**. Em outras palavras, o custo mais elevado é 187,54% mais alto em relação ao menor custo. Observa-se que os custos mais baixos se referem ao modelo cercamento elétrico combinado com manejo de lianas rápido (em cenário VCS), e os custos mais elevados são observados para cercamento tradicional combinado com manejo de lianas lento (em cenário CCB).

Para manejo de lianas, o modelo de manejo lento impacta diretamente no custo de mão-de-obra e tempo do projeto. Os custos de manejo de liana aparecem no fluxo de caixa nos dois primeiros anos do projeto e posteriormente a cada dez anos. Enquanto um manejo de lianas rápido custa por ano de realização R\$2.850,683,67 para os remanescentes degradados, o manejo de lianas lento custa R\$ 6.697,947,81, ou seja, 234,95% a mais em comparação ao manejo rápido.

Os custos totais por ano de cercamento nos 23.176,29 ha de remanescentes degradados foram de R\$978.971,52 utilizando cerca tradicional e R\$776.809,71 utilizando cerca elétrica. A cerca tradicional é 20,6% mais cara que a cerca elétrica, sendo que para ambos os casos é

considerado o custo total no primeiro ano e 20% do custo total a cada 10 anos para manutenção. Além disso, a diferença entre custos de projeto VCS e CCB envolvem as taxas de verificação do VERRA, as quais são o dobro para CCB; e a porcentagem de venda do crédito de carbono destinado ao órgão (**Anexo 5**), também superiores para CCB. As diferenças no fluxo de caixa (**Tabela 4**) para os cenários CCB e VCS foi de R\$62.500,00 para custos totais (maiores para cenário CCB).

Análise de viabilidade financeira

Considerando o resultado de VPL para cenários C1 – VCS e C1 – CCB (\$9,51), o projeto só é viável financeiramente com os modelos CT – R e CE – R. Ou seja, tanto para os modelos de cerca tradicional e cerca elétrica, o manejo de lianas em um cenário lento inviabiliza financeiramente o projeto IFM na região. Considerando os resultados de TIR, observa-se que em nenhum cenário com o crédito valendo \$9,51 (C1 VCS e C1 CCB) o projeto é considerado atrativo aos olhos do investidor, conforme **Tabela 6**. A **Tabela 4** apresenta o preço em dólar que o crédito de carbono deve atingir para tornar o projeto atrativo, ou seja, apresentar a TIR pelo menos igual a taxa SELIC (13,75%) considerada.

Tabela 4 - Preço mínimo do crédito de carbono IFM (em dólar) para cada um dos cenários e modelos apresentarem TIR superior a taxa SELIC ($\geq 13,75\%$).

		Preço mínimo		
VCS	CT - R	\$ 11,04	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 13.251.235,55
	CT - L	\$ 21,08	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 26.363.657,69
	CE - R	\$ 10,8	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 12.881.674,32
	CE - L	\$ 20,83	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 25.967.822,12
CCB	CT - R	\$ 11,51	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 13.244.793,38
	CT - L	\$ 21,55	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 26.357.215,52
	CE - R	\$ 11,27	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 12.875.232,15
	CE - L	\$ 21,31	TIR	13,75%
			VPL	R\$ 25.987.654,29

Tabela 5 - Total de Receita, Custos totais e Lucro Líquido (Receita - Custo) para 30 anos de projeto em cada um dos cenários e modelos.

		C1 - VCS	C2 - VCS	C3 - VCS	C1 - CCB	C2 - CCB	C3 - CCB
CT - R	Receita	R\$ 35.150.783,60	R\$ 73.834.108,95	R\$ 111.065.413,42	R\$ 33.454.283,60	R\$ 72.137.608,95	R\$ 109.368.913,42
	Custos totais	R\$ 18.256.411,96	R\$ 18.256.411,96	R\$ 18.256.411,96	R\$ 18.318.911,96	R\$ 18.318.911,96	R\$ 18.318.911,96
	Lucro líquido	R\$ 16.894.371,64	R\$ 55.577.696,99	R\$ 92.809.001,47	R\$ 15.135.371,64	R\$ 53.818.696,99	R\$ 91.050.001,47
CT - L	Receita	R\$ 35.150.783,60	R\$ 73.834.108,95	R\$ 111.065.413,42	R\$ 33.454.283,60	R\$ 72.137.608,95	R\$ 109.368.913,42
	Custos totais	R\$ 33.645.468,52	R\$ 33.645.468,52	R\$ 33.645.468,52	R\$ 33.707.968,52	R\$ 33.707.968,52	R\$ 33.707.968,52
	Lucro líquido	R\$ 1.505.315,08	R\$ 40.188.640,43	R\$ 77.419.944,91	-R\$ 253.684,92	R\$ 38.429.640,43	R\$ 75.660.944,91
CE - R	Receita	R\$ 35.150.783,60	R\$ 73.834.108,95	R\$ 111.065.413,42	R\$ 33.454.283,60	R\$ 72.137.608,95	R\$ 109.368.913,42
	Custos totais	R\$ 17.973.385,42	R\$ 17.973.385,42	R\$ 17.973.385,42	R\$ 18.035.885,42	R\$ 18.035.885,42	R\$ 18.035.885,42
	Lucro líquido	R\$ 17.177.398,18	R\$ 55.860.723,53	R\$ 93.092.028,00	R\$ 15.418.398,18	R\$ 54.101.723,53	R\$ 91.333.028,00
CE - L	Receita	R\$ 35.150.783,60	R\$ 73.834.108,95	R\$ 111.065.413,42	R\$ 33.454.283,60	R\$ 72.137.608,95	R\$ 109.368.913,42
	Custos totais	R\$ 33.362.441,98	R\$ 33.362.441,98	R\$ 33.362.441,98	R\$ 33.424.941,98	R\$ 33.424.941,98	R\$ 33.424.941,98
	Lucro líquido	R\$ 1.788.341,62	R\$ 40.471.666,97	R\$ 77.702.971,44	R\$ 29.341,62	R\$ 38.712.666,97	R\$ 75.943.971,44

Tabela 6 – TIR e VPL para cada um dos cenários e modelos do projeto de carbono IFM em florestas degradadas no Pontal do Paranapanema. Asteriscos indicam inviabilidade financeira, considerando TIR e VPL.

		C1 - VCS	C2 - VCS	C3 - VCS	C1 - CCB	C2 - CCB	C3 - CCB
CT - R	TIR	11,82%*	22,89%	30,13%	11,13%*	22,49%	29,83%
	VPL	R\$ 9.494.003,68	R\$ 36.793.051,98	R\$ 63.067.400,67	R\$ 8.252.667,13	R\$ 35.551.715,42	R\$ 61.826.064,11
CT - L	TIR	3,76%*	13,04%*	18,80%	3,12%*	12,72%*	18,56%
	VPL	-R\$ 3.773.020,26*	R\$ 23.526.028,03	R\$ 49.800.376,72	-R\$ 5.014.356,82*	R\$ 22.284.691,47	R\$ 48.559.040,17
CE - R	TIR	12,11%*	23,32%	30,65%	11,41%*	22,91%	30,35%
	VPL	R\$ 9.755.026,83	R\$ 37.054.075,12	R\$ 63.328.423,81	R\$ 8.513.690,27	R\$ 35.812.738,56	R\$ 62.087.087,25
CE - L	TIR	3,87%*	13,20%*	18,99%	3,23%*	12,87%*	18,75%
	VPL	-R\$ 3.511.997,12*	R\$ 23.787.051,17	R\$ 50.061.399,87	-R\$ 4.753.333,68*	R\$ 22.545.714,62	R\$ 48.820.063,31

6 DISCUSSÃO

Estimativa de estoque de carbono no Pontal do Paranapanema

Os resultados desse trabalho demonstraram maior estoque de carbono médio ($\text{Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) para os remanescentes conservados em relação aos degradados. Isso corrobora com estudos já desenvolvidos, onde florestas tropicais em melhor estado de conservação possuem maior biomassa florestal, e conseqüentemente, maior estoque de carbono^{4,58}.

A estimativa de estoque de carbono médio acima do solo encontrada nesse trabalho para áreas conservadas ($53,1 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) foi superior aos valores de Amaral et al. 2017⁹¹ amostrados do PEMD em 2016 para estoque de carbono acima do solo de ($45,2 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Os resultados também foram superiores ao observado para biomassa média acima do solo identificada para espécies arbóreas de floresta estacional semidecídua em Torres et al. (2013)⁹² ($37,79 \text{ Mg.C}^{-1} \text{ha}^{-1}$). Observa-se que esse valor foi semelhante ao encontrado no nosso estudo para os remanescentes degradados ($39,5 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Entretanto, em trabalho realizado por Amaro et al. (2010)⁹³ em Floresta Estacional Semidecidual os valores estimados para estoque de carbono foram de $64,42 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$, superiores aos encontrados nesse trabalho. O resultado também foi inferior ao encontrado por Pitta et al. (2019), cuja média para os municípios do Pontal do Paranapanema foi de $70,68 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$. Diferenças de estimativa de carbono podem ser decorrentes de fatores como estágio de sucessão, métodos de amostragem, histórico de uso e ocupação do solo, efeitos de borda, declividade, altitude, condições ambientais de cada área de estudo⁹⁴ e composição de espécies⁹⁵.

Quanto as diferenças de estoque de carbono entre as áreas de LiDAR (**Figura 9**), observa-se que a área D10, considerada nesse estudo como degradada, não apresentou diferença de biomassa entre uma das áreas de LiDAR do interior do PEMD. Apesar de o remanescente florestal fazer limite com uso de solo antrópico, é possível que a presença de um córrego esteja influenciando em maiores valores de biomassa e conseqüentemente carbono estocado (ver em **Anexo 1**). Isso porque a composição florística e as condições

hidrológicas podem explicar variações na biomassa de árvores em florestas que sofram com diferentes gradientes de inundação⁹⁶.

Entre as áreas de LIDAR, o menor estoque de carbono foi observado para o remanescente florestal degradado D4. Entretanto, essa área florestal está localizada entre os limites da Estação Ecológica (ESEC) Mico-Leão-Preto, assim como o D5 (**Anexo 2**). Apesar de consistir em uma área protegida, esse remanescente apresenta baixo estoque de carbono médio em relação aos demais. A ESEC Mico-Leão-Preto distribui-se em 4 fragmentos⁹¹, sendo que as áreas D4 e D5 pertencem aos remanescentes denominados Pote Branca e Tucano, respectivamente⁷³. Em Amaral (2017), o estoque de carbono avaliado para o remanescente Tucano (D5) foi de 38,3 Mg. C⁻¹ha⁻¹ em 2016, menor ao encontrado nesse estudo de cerca de 26,0 t Mg. C⁻¹ ha⁻¹ (**Figura 7**) para o ano de 2022.

É esperado que unidades de conservação contribuam para a atenuação dos efeitos negativos das mudanças climáticas através do estoque de carbono⁹⁴, ao contrário do que foi observado para as áreas de LiDAR da ESEC Mico-Leão-Preto. Dessa forma, recomenda-se levantamos a discussão para a necessidade de estudo do estoque de carbono e planos para a recuperação de biomassa florestal em nas áreas protegidas brasileiras a fim de contribuir com as metas nacionais e globais para a redução de emissões.

Efeitos da degradação sobre o estoque de carbono

A degradação e fragmentação florestal são os principais agentes de impacto na perda de estoque de carbono no bioma Mata Atlântica⁹⁵. Em Pyles et al. (2022), testou-se os efeitos de diferentes variáveis sobre o estoque de carbono na Mata Atlântica e foi constatado que a o maior responsável pela perda de estoque de carbono foi o nível de perturbações humanas dentro de remanescentes. Além de resultar na remoção direta da biomassa florestal, a degradação florestal altera a composição de espécies, excluindo a competitividade de espécies dominantes e favorecendo a proliferação de espécies arbóreas pioneiras. Esse tipo de alteração, juntamente com outras

características estruturais da floresta, pode se traduzir em perdas de estoque carbono nos remanescentes a longo prazo⁹⁵.

O tamanho e o formato do fragmento também podem exercer influência direta sobre perda do estoque de carbono florestal^{35,95}, uma vez que fragmentos menores (em área) ou em formatos mais longos (em comprimento) tendem sofrer mais intensamente com efeitos de borda⁹⁷. Fatores indiretos como temperatura, estresse hídrico, qualidade do solo e declividade das encostas também podem afetar, de forma indireta, o estoque de carbono da Mata Atlântica por influenciarem diretamente na comunidade arbórea⁹⁵. Apesar desses cenários não terem sido testados nesse trabalho, ressalta-se a importância da investigação desses fatores (principalmente efeito de borda e tamanho dos remanescentes) a fim de compreender todas as ameaças à perda de estoque de carbono para as florestas do Pontal do Paranapanema.

Lianas e remanescentes degradados

Nesse trabalho, o fator indireto avaliado relacionado a degradação florestal foi a densidade de lianas. Observamos que a densidade total de lianas e de indivíduos com DAP 1,5 a 2,5 cm foi superior para as parcelas de remanescentes degradados, conforme já constatado em diversos outros estudos que indicam que remanescentes degradados favorecem a proliferação de diversas espécies. Acredita-se que a ausência de diferença estatística para os indivíduos de com DAP de 2,5 a 5 cm áreas degradadas e conservadas seja devido ao baixo número de coleta amostral.

As lianas surgem devido a condições ambientais favoráveis dentro de remanescentes perturbados, influenciando na redução do estoque de carbono florestal. O manejo de lianas é uma das principais estratégias recomendadas para a recuperação e biomassa florestal, podendo ser uma estratégia interessante para os remanescentes degradados do Pontal do Paranapanema. Entretanto, antes da tomada dessa decisão algumas considerações devem ser levadas em conta, as quais são descritas a seguir.

Considerações sobre manejo de lianas

As bordas florestais tendem a apresentar maiores perturbações por fatores como vento, fogo, invasão de espécies e mudanças no microclima florestal⁵². Devido às condições favoráveis, essas regiões tendem a apresentar maior densidade de lianas em relação ao interior dos remanescentes⁵². Apesar dessa diferença não ter sido testada, recomenda-se obter maiores conhecimentos de ecologia e dinâmica florestal das diferentes espécies de lianas da região do Pontal do Paranapanema, a fim de não afetar a estrutura florestal e relação com as comunidades devido a importância desse grupo florístico.

O tempo (horas/homem-ha) para manejo de lianas no Pontal do Paranapanema é infactível de estimar. A técnica de manejo de lianas por capina com uso de facão é a mais citada na literatura, sendo que os estudos que avaliam tempo para manejo geralmente se apropriam dessa técnica. Além disso, o facão é uma ferramenta prática para ser utilizada em campo, uma vez que a maioria dos trabalhadores do interior possuem o domínio da mesma e essa é menos pesada e mais prática para manuseio do que um motopoda, por exemplo. Entretanto, é evidente (**Tabela 5**) que o manejo de lianas demorado influencia nos custos finais do projeto, tornando-o inviável financeiramente para diferentes cenários e modelos.

A única maneira de compreender como será a dinâmica de manejo de lianas no Pontal do Paranapanema é realizando um projeto piloto em parte dos remanescentes degradados. Antes de iniciar um projeto de manejo de lianas em larga escala - como em 20% dos remanescentes de 23.176,29 hectares – é recomendado avaliar o tempo que isso demandaria, uma vez que influencia fortemente nos custos de mão-de-obra. Muitas vezes, o manejo de lianas por poda pode ser um dos principais fatores leva a inviabilidade financeira de um projeto. Dessa forma, uma vez constatada dificuldade para a aplicação da técnica de manejo de lianas por poda em larga escala, recomenda-se considerar outras estratégias disponíveis em manuais técnicos ou publicações como “*Restauração da Vegetação Nativa*” e “*Ecologia de lianas e o manejo de*

fragmentos florestais". Para a escolha da técnica, indica-se levar em considerações fatores como: real necessidade do manejo de lianas; e riscos da técnica de manejo à floresta ou ao trabalhador.

Em Jordão (2009), verificou-se que em áreas com densidade de lianas muito elevada o manejo desses indivíduos favoreceu o crescimento das espécies arbustivo-arbóreas. Entretanto, em áreas com alta densidade de lianas, mas baixa densidade de árvores, a poda das lianas pode prejudicar a estrutura da floresta por intensificar o efeito de borda. Isso porque as lianas em locais com alto efeito de borda ajudam a manter as condições de microclima local⁵². Dessa forma, é interessante avaliar o efeito de borda dos remanescentes antes de iniciar uma ação de manejo de lianas.

Em alguns trabalhos, também é considerado o enriquecimento de espécies pioneiras nas bordas do fragmento juntamente com o controle de lianas. Isso porque as espécies de crescimento rápido podem auxiliar na diminuição do efeito de borda devido ao manejo das lianas⁵². Os custos com enriquecimento de espécies não foram considerados nesse trabalho, assumindo-se pela literatura que alguns custos de restauração de áreas degradadas variam em cerca de R\$21.271,00/ha para a Mata Atlântica⁸³. Claramente, a necessidade e a intensidade da aplicação das técnicas para cada um dos remanescentes devem ser avaliadas, sendo que os custos impactariam diretamente no fluxo de caixa, podendo tornar outros cenários e modelos inviáveis e pouco atrativos financeiramente. O tempo necessário para as florestas degradadas recuperarem o estoque de carbono após o manejo de lianas ainda é desconhecido, apesar de melhorias poderem ser observadas um ano após o manejo⁹⁹. Esperamos que estratégia possa auxiliar a alcançar um estoque de carbono superior em menor tempo, e que a elaboração de um projeto de carbono que traga maiores benefícios para a comunidade e biodiversidade possam valorizar o preço de venda do crédito dentro do mercado voluntário.

Reflexões sobre ganho potencial de carbono

Os dados coletados por LiDAR apresentaram resultados de estoque de carbono semelhantes a outras metodologias de quantificação de carbono na Mata Atlântica, o que reforça que o uso da ferramenta pode ser considerado para estudos de carbono para fins conservacionistas. O ganho potencial de carbono médio por hectare ($13,68 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$) observado nesse trabalho para os remanescentes degradados foi semelhante ao encontrado por Pyles et al. (2022), que contataram que a intensificação das perturbações no interior do fragmento poderia levar a perdas de carbono de até $10,50 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$, enquanto a proteção e aumento do carbono poderia alcançar ganhos de carbono de $12,02 \text{ Mg.C}^{-1}\text{ha}^{-1}$.

De acordo com Pitta et al. (2019), para o estado de São Paulo a região oeste, que inclui o Pontal do Paranapanema, é claramente a área com maior potencial de aumento de biomassa em comparação ao resto do estado, mas atualmente retém apenas cerca de 0,1 Gt de carbono florestal¹⁰⁰. Em Lima et al. (2020) foi verificada a tendência de ganhos proporcionalmente mais elevados de biomassa na recuperação das florestas da região do Pontal do Paranapanema. Estas áreas estão dentro das mais regiões fragmentadas e perturbadas deste *hotspot* de biodiversidade, o que significa que os esforços de restauro ali prestados seriam melhores resultados relativos à recuperação do carbono e da biodiversidade dentro de fragmentos existentes¹². Adicionalmente, a região também é uma área global prioritária para a restauração, com maior potencial de gerar benefícios para a biodiversidade e o clima com menor custo¹⁰¹. Conseqüentemente, estas regiões também tendem a apresentar rendimentos de restauração de fragmentos mais elevados^{12,100}.

Assim, a estratégia de restauração dos fragmentos na região do Pontal do Paranapanema pode ser mais rentável do que em outras regiões da Mata Atlântica, o que direciona a priorização de esforços na Mata Atlântica¹². Ainda há pouca investigação científica quanto a recuperação de biomassa florestal em em fragmentos degradados da Mata Atlântica, sendo que não temos estudos de quanto de fato esse carbono poderia aumentar por ano através da combinação dessas diferentes estratégias de recuperação florestal. Essa ausência de

estudos pode se dar, em partes, pela baixa popularidade de projetos de carbono do tipo IFM no Brasil e no mundo.

Considerando que grande parte das florestas da Mata Atlântica encontram-se em algum estágio de perturbação, enfatiza-se a urgente necessidade de estudos que busquem compreender o potencial de recuperação de biomassa de florestas já existentes. Especialmente as áreas do Pontal do Paranapanema, que representam potencial para recuperação de estoque de carbono e biomassa, devem-se ser testados cenários que avaliem diferentes estratégias de recuperação florestal e seu potencial de recuperação de estoque de carbono por ano.

Estratégias para a proteção de carbono e da biodiversidade

Os projetos da modalidade CCB atendem alguns requisitos diferenciais, considerando indicadores para a avaliação de critérios de biodiversidade e sociais ao invés de apenas clima, como o VCS¹⁰². Dentre as diferenças entre modalidades VCS e CCB é que esse último exige, por exemplo, a avaliação dos AVC (Atributos de Alto Valor de Conservação) dentro da Área do Projeto de carbono¹⁰². A avaliação desses indicadores pode ser definida com base no documento “*Guia geral para Altos Valores de Conservação*”¹⁰³, que orienta a interpretação de definições de AVC e na sua identificação na prática.

Os AVC identificados podem consistir em, por exemplo, espécies ameaçadas ou endêmicas, áreas protegidas ou que são importantes para a subsistência das comunidades locais, entre outros. Para a identificação de AVC, é necessária a compreensão da dinâmica social e de biodiversidade do local a ser implementada o projeto de carbono. Considera-se interessante para isso a realização de levantamentos socioeconômicos (custos inclusos nesse trabalho), mas também de levantamentos e monitoramento de biodiversidade (custos não inclusos nesse trabalho). O VERRA não exige a obrigatoriedade de inventários de biodiversidade para a realização em projetos de carbono, entretanto essa ação torna o projeto mais robusto e interessante de ponto de vista ecológico e para os compradores do crédito. Além disso, Pyles et al. (2022) também

recomendam que no planejamento de estratégia de recuperação de carbono também sejam consideradas ações que tragam benefícios a biodiversidade, uma vez que políticas de conservação centradas apenas no carbono podem falhar na proteção da biodiversidade. Apesar de os dados coletados de informações de espécies não terem sido utilizados nesse trabalho, ressalta-se que coletas com dados de inventário a campo podem também contribuir com um maior conhecimento quanto a composição florística local, auxiliando no planejamento de ações para a conservação da biodiversidade, além do carbono.

De acordo com informações de empresa de serviços ambientais de São Paulo, os custos para a realização de um levantamento de biodiversidade e monitoramento das espécies varia entre R\$80 mil e R\$150 mil para fauna, e R\$70 mil a R\$100 mil para flora. Os valores variam, principalmente de acordo com a necessidades de captura de animais, para fauna, e com o tamanho da área, para flora, sendo que a frequência comum de monitoramento observada em projetos de carbono do tem sido a cada 2 ou 5 anos. O VERRA ainda não fornece uma recomendação oficial para monitoramento e frequência de ações para biodiversidade, sendo que esse item fica, portanto, a critério dos desenvolvedores do projeto.

Além dos custos mencionados, as taxas do VERRA são fixas e mais caras para CCB em relação a VCS (**Tabela 5**), impactando diretamente nos custos do fluxo de caixa. Entretanto, devido aos seus benefícios e peculiaridades muitas empresas têm optado pela compra de créditos CCB para a compensação de suas emissões. Algumas companhias tendem a pagar preços mais expressivos pelo crédito de carbono, uma vez que esse apresente maior valor ambiental, de biodiversidade, social e/ou climático. Dessa forma, havendo interesse de realização de um projeto de carbono, a escolha da modalidade VCS ou CCB pode considerar os diferentes custos-benefícios que podem ser agregados ao valor final do produto, não se limitando apenas aos custos de fluxo de caixa avaliados nesse trabalho.

Análise de viabilidade financeira

Considerando o preço atual do crédito IFM (\$ 9,51), o resultado de TIR não demonstra atratividade para os cenários C1 em VCS e CCB, conforme a **Tabela 5**. Além disso, considerando apenas os valores de VPL, observamos que os créditos de carbono não poderiam pagar os custos de um projeto IFM com o preço atual do crédito de C1 em circunstâncias de manejo de lianas lento.

Conforme observado pela **Tabela 6**, o preço mínimo do crédito de carbono IFM deveria ser \$ 21,08 (cenário VCS) ou \$ 21,55 (cenário CCB) para tornar o projeto atrativo aos olhos do investidor (TIR igual a 13,75%) nos modelos mais caros (CT – L) testados. Uma vez que o cenário apresente uma realidade otimista para manejo de lianas e o investidor opte por realizar o cercamento elétrico (CE – R), o preço mínimo do crédito de carbono IFM deveria ser \$ 10,8 (cenário VCS) ou \$ 11,27 (cenário CCB) para tornar o projeto atrativo aos olhos do investidor.

Os custos mais elevados para a implementação do projeto ocorreram através da combinação de técnicas de cercamento tradicional com um manejo de lianas lento (em cenário CCB). Apesar do uso de cerca elétrica ser mais barato, sabe-se que cercas elétricas exigem maior cuidado com o local de instalação, uma vez que o contato de folhas e galhos com os fios eletrizados diminuem a intensidade do choque; podem arrebentar o fio; e demandam gastos com energia elétrica – gastos não inclusos nesse trabalho.

A implementação de um projeto de carbono IFM ficaria viável financeiramente (tanto VPL quanto a TIR) ainda para C1 (tanto VCS e CCB), se retirarmos os modelos de manejo de lianas da análise. Entretanto, não recomendamos esse procedimento sem um estudo prévio das condições da região, uma vez que o manejo de lianas costuma ser uma das principais estratégias para a recuperação da biomassa florestal de remanescentes com alta densidade²⁰. Sem esse procedimento, é muito provável que a recuperação de biomassa não ocorra, ou ocorra de maneira muito mais lenta. Além disso, nesse trabalho testamos o manejo de lianas considerando um total de 20% da área total de cada remanescente florestal degradado. Pode ser interessante

testar outros cenários e modelos considerando o manejo de lianas em menor e em maior proporção para os remanescentes, a fim de avaliar o impacto desse valor para a análise de viabilidade financeira.

Fundos de investimentos para projetos de carbono

Para tornar o investimento em projetos de carbono possível, muitas vezes é considerado a possibilidade de obtenção de fundos para financiamento⁵⁸. Nesse trabalho consideramos um cenário onde o proponente do projeto opte por empréstimos do BNDES através do programa ABC, com taxa de juros prefixada de 5,5%. Entretanto, outras iniciativas podem ser possíveis para interessados na construção de projetos que visem evitar (REDD) ou sequestrar (ARR e IFM) emissões de gases de efeito estufa. Alguns de financiamento de créditos de carbono citados na literatura são o *BioCarbon Fund*, *Global Environmental Facility (GEF)* e *European Carbon Fund (ECF)*⁵⁸. Em 2020, a *Climate Policy Initiative (CPI)* lançou um guia¹⁰⁴ para orientar instituições a acessarem créditos em fundos climáticos, onde são apresentados dezesseis dos principais fundos climáticos do Brasil e do mundo aplicáveis à diferentes atividades. Dentre eles, o *IDB INVEST*, *IDB LAB*, *DEG INVEST*, *FFEM*, *FINEP*, *FUNDO CLIMA*, entre outros.

Recentemente as comissões de Finanças e Tributação e de Minas e Energia promoveram debates sobre fundo de investimentos para financiar projetos de crédito de carbono^{*2}. Em maio de 2022, o atual presidente do Banco do Brasil, Fausto Ribeiro, participou do evento denominado “*Congresso Mercado Global de Carbono – Descarbonização & Investimentos Verdes*” e divulgou o lançamento de fundo de investimentos destinado a financiar projetos de crédito de carbono, chamado “*BB Multimercado Crédito de Carbono*”^{*3}. De com notícia divulgada pelo Money Times^{*4}, o intuito do fundo “BB” é apoiar projetos de desenvolvimento sustentável, contando com contribuição inicial de R\$ 2 milhões

^{*2} Disponível em: <https://www.moneytimes.com.br/comissoes-debatem-fundo-de-investimentos-para-financiar-projetos-de-credito-de-carbono/>

^{*3} Disponível em: <https://fdr.com.br/2022/05/19/banco-do-brasil-lanca-novo-fundo-de-investimento-em-credito-de-carbono-saiba-como-funciona/>

^{*4} Disponível em: <https://www.moneytimes.com.br/comissoes-debatem-fundo-de-investimentos-para-financiar-projetos-de-credito-de-carbono/>

(mas com potencial de expansão até R\$ 50 milhões ao final de 2022). Com o aquecimento do mercado de carbono, a tendência é que novos fundos de investimentos surjam. Recomenda-se aos interessados no desenvolvimento de projetos desse âmbito a atualização constante quanto aos fundos de investimento disponíveis, a fim de garantir subsídios para a realização do projeto.

Caminhos em direção à viabilidade financeira e ao sucesso de recuperação florestal

Conforme cita Brancalion et al. (2012)³⁵, “O desafio para os defensores de a restauração florestal é fazê-la financeiramente viável”. De fato, a degradação florestal acontece por diversas motivações de origens culturais, financeiras e interesses públicos e privados, em especial a relacionadas a expansão do agronegócio.

A reversão da degradação florestal exige - além de consciência coletiva quanto a importância de seus imensuráveis benefícios, produtos e serviços ecossistêmicos - um modelo de negócios financeiramente viável. Portanto, para tornar essa realidade tangível, tornam-se necessárias iniciativas como:

- *Investir no estudo de diferentes modalidades de projetos ou mecanismos de desenvolvimento sustentável para biomas que possuam urgência de restauração e reparo, como a Mata Atlântica.*
- *Criar empréstimos e créditos tangíveis ao bolso da classe popular, com taxas de juros reduzidas, para a projetos de carbono, de recuperação de biomassa florestal e de desenvolvimento sustentável;*
- *Incentivar e desenvolver estudos com projeto de carbono de categorias menor populares, mas de grande potencialidade produtiva, como projetos do tipo IFM;*
- *Capacitar tecnicamente e intelectualmente agricultores e proprietários rurais no desenvolvimento de projetos de conservação e restauração ambiental;*
- *Estimular e engajar a população em geral na criação de uma cultura baseada na gestão de recursos de uma maneira benéfica ao meio ambiente, clima, biodiversidade e sociedade;*

- *Reforçar e apoiar legislações e decretos de beneficiamento ambiental e social para fins de restauração e pagamento por serviços ambientais;*
- *Construir políticas públicas para implementar e apoiar estas medidas.*

7 CONCLUSÕES

- As florestas degradadas avaliadas do Pontal do Paranapanema apresentam menor estoque de carbono em comparação a florestas conservadas. Já a densidade de lianas tende a ser maior para os remanescentes degradados possivelmente devido as condições favoráveis que esses ambientes proporcionam.

- A recuperação de biomassa florestal utilizando a técnica de manejo de lianas por capina pode inviabilizar financeiramente um projeto de carbono no Pontal do Paranapanema se o cenário de manejo for lento. Recomenda-se realizar um projeto piloto de manejo de lianas antes de implementar um projeto de carbono na região. Esse estudo auxiliaria na compreensão do nível de complexidade do local, e, conseqüentemente, na viabilidade financeira e atratividade do projeto.

- O preço atual do crédito de carbono IFM no mercado voluntário não foi suficiente para tornar o projeto atrativo para as condições aplicadas nesse estudo. Com o crédito valorizado a \$ 21,55, o projeto fica financeiramente viável e atrativo para o investidor em todos os cenários e modelos testados.

- Nesse trabalho, consideramos a entrada de receitas provenientes exclusivamente da venda dos créditos de carbono. É interessante testar outros modelos e cenários considerando a adoção de outras estratégias de renda, como Sistemas Agroflorestais (SAF) e Abraços Verdes (Green Hugs), de forma a tornar o projeto viável financeiramente e atrativo com o preço atual do crédito IFM (\$ 9,51).

- Por fim, por mais cuidadosa que a análise financeira tenha sido realizada entende-se que ela sempre será subestimada. Isso pois, nesse trabalho, apenas o carbono foi considerado como serviço ecossistêmico de medida monetária. Uma vez que a valoração desses serviços ainda é recente no Brasil e mundo, ainda não existem metodologias definidas para todos os serviços ecossistêmicos envolvidos em um projeto de tamanha complexidade.

8 REFERÊNCIAS

1. Fiorini, A. C. O. *A Importância da Madeira Morta para estimar Estoques de Carbono em Florestas Degradadas: Implicações para ações de Redução de Emissão por Desmatamento e Degradação*. (2012).
2. D et al, A. A. *et al*. ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA. **48**, 183–194 (2018).
3. Embrapa. *Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta*. (2004).
4. Zelarayán, M. L. C. *et al*. Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. *Acta Amazonica* **45**, 271–282 (2015).
5. Ferteira, E. J. G. ; *et al*. *A Importância de Áreas Degradadas no Contexto Agrícola e Ecológico da Amazônia*. vol. 2 (1993).
6. Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J. & Hirota, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* **142**, 1141–1153 (2009).
7. Aguiar, M. C. de. *O Mercado Voluntário De Carbono Florestal: o Caso do REDD+*. (2018).
8. Grace, J., Mitchard, E. & Gloor, E. Perturbations in the carbon budget of the tropics. *Global Change Biology* vol. 20 3238–3255 Preprint at <https://doi.org/10.1111/gcb.12600> (2014).
9. Melillo, J. M. *et al*. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* **363**, 1–7 (1993).
10. Pinto, L. P. *et al*. *Mata Atlântica Brasileira: Os Desafios para Conservação da Biodiversidade de um Hotspot Mundial*. (2006).
11. Pütz, S. *et al*. Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. *Nature Communications* **5**, (2014).
12. Lima, R. A. F. de. *et al*. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. *Nature Communications* **11**, 1–16 (2020).
13. Joly, C. A., Metzger, J. P. & Tabarelli, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. *New*

- Phytologist* vol. 204 459–473 Preprint at <https://doi.org/10.1111/nph.12989> (2014).
14. Chazdon, R. L. *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances* **2**, (2016).
 15. Ghazoul, J., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J. & King, L. A. Conceptualizing Forest Degradation. *Trends in Ecology and Evolution* vol. 30 622–632 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.001> (2015).
 16. FAO. *Assessing forest degradation Towards the development of globally applicable guidelines.* (2011).
 17. Herold, M. *et al.* Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management* vol. 6 Preprint at <https://doi.org/10.1186/1750-0680-6-13> (2011).
 18. Federici, S., Vitullo, M., Tulipano, S., de Lauretis, R. & Seufert, G. *An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: the Italian case.* <http://gaia>. (2008).
 19. Bello, C. *et al.* Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Science Advances* **1**, (2015).
 20. Assis, L. S., Campos, M. & Girão, V. J. Manejo de fragmentos florestais degradados. *The Nature Conservancy* 1–172 (2019).
 21. Asner, G. P. *et al.* Ecology: Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* (1979) **310**, 480–482 (2005).
 22. Sasaki, N. *et al.* Approaches to classifying and restoring degraded tropical forests for the anticipated REDD+ climate change mitigation mechanism. *IForest* **4**, 1–6 (2011).
 23. Hüttl, R. F. & Schneider, B. U. *Forest ecosystem degradation and rehabilitation.* *Ecological Engineering* vol. 10 (1998).
 24. Andreasen, J. K., O’neill, R. v, Noss, R. & Slosser, N. C. *Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity.* *Ecological Indicators* vol. 1 (2001).
 25. Tabanez, A. A. J. & Viana, V. M. *Patch Structure within Brazilian Atlantic Forest Fragments and Implications for Conservation.* *Laurance & Bierregaard* vol. 32 (2000).

26. Bittencourt, D., Virgílio, A. & Viana, M. *Dinâmica de capoeiras baixas na restauração de um fragmento florestal. SCIENTIA FORESTALIS* n vol. 57 (2000).
27. Laurance, W. F. *et al.* RAIN FOREST FRAGMENTATION AND THE STRUCTURE OF AMAZONIAN LIANA COMMUNITIES. *Ecology* vol. 82 (2001).
28. Campanello, P. I., Genoveva Gatti, M., Ares, A., Montti, L. & Goldstein, G. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* **252**, 108–117 (2007).
29. Farah, F. T. *et al.* Forest destructuring as revealed by the temporal dynamics of fundamental species - Case study of Santa Genebra Forest in Brazil. *Ecological Indicators* **37**, 40–44 (2014).
30. Laurance, W. F. *et al.* Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* (1979) **278**, 1117–1118 (1997).
31. Chave, J., Riéra, B. & Dubois, M. A. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: Spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology* **17**, 79–96 (2001).
32. Fearnside, P. M. *Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle.* (2006).
33. Gardner, T. A. *et al.* Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. *Ecology Letters* vol. 12 561–582 Preprint at <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01294.x> (2009).
34. Tabarelli, M., Aguiar, V., Ribeiro, C. & Paul, J. A conversão da floresta Atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestas tropicais. *Interciencia* **37**, 88–92 (2012).
35. Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Rodrigues, R. R. & César, R. G. *Estratégias para auxiliar na conservação de florestas tropicais secundárias inseridas em paisagens alteradas landscapes. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat* (2012).
36. Vidal, C. Y., Mangueira, J. R., Turini Farah, F., Rother, D. C. & Ribeiro Rodrigues, R. Biodiversity Conservation of Forests and their Ecological Restoration in Highly-modified Landscapes. in *Biodiversity in Agricultural*

- Landscapes of Southeastern Brazil, Capítulo 8* 136–150 (De Gruyter Open, 2016). doi:10.1515/9783110480849-010.
37. Paiva, D. S., Fernandez, L. G., Ventura, A. C., Alvarez, G. & Andrade, J. C. S. Mercado Voluntário de Carbono: Análises de Cobenefícios de Projetos Brasileiros. *Revista de Administração Contemporânea* **19**, 45–64 (2015).
 38. Corbera, E., Estrada, M. & Brown, K. How do regulated and voluntary carbon-offset schemes compare? *Journal of Integrative Environmental Sciences* **6**, 25–50 (2009).
 39. Almeida, H. C. de. *Mercado Voluntário de Carbono Políticas Públicas para o Setor Florestal*. (2012).
 40. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. vol. 5 (2006).
 41. Fontana, A. *et al.* Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa 2021. in *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima* vol. cap. 2 80–181 (2021).
 42. OPIS. *Weekly price update Week 11 Voluntary Carbon Credit Prices*. (2022).
 43. Shoch, D. *et al.* *Methodology Improved Forest Management*. (2020).
 44. Verified Carbon Standard. *VM0005_Methodology for Improved Forest Management: Conversion of Low Productive to High Productive Forest*. (2013).
 45. VERRA. *VCS Standard v4.2*. (2022).
 46. VERRA. *Methodology Approval Process v4.0*. (2019).
 47. Viani, R. A. G. *et al.* Protocol for monitoring tropical forest restoration: Perspectives from the atlantic forest restoration pact in Brazil. *Tropical Conservation Science* **10**, (2017).
 48. Alves, L. F. *et al.* Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *Forest Ecology and Management* **260**, 679–691 (2010).

49. Pellegrini Coutinho, R. *et al.* *Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. Pesq. agropec. bras.*
50. Tavares, J. C. Planejamento Regional no Estado de São Paulo: Polos, Eixos e a Região dos Vetores Produtivos | Regional Planning in the State of São Paulo: Hubs, Axes and the Region of the Production Vectors. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* **20**, 344 (2018).
51. Viana, V. M. & Pinheiro, L. A. F. v. *Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais.* vol. 12 (1998).
52. Sônia Maria Schaefer Jordão. Manejo de lianas em bordas de floresta estacional semidecidual e de cerrado, Santa Rita do Passo Quatro, SP. *Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 1–249 (2009).
53. Girão, V. J. Alteração iniciais na dinâmica de regeneração de um fragmento florestal degradado após manejo de trepadeiras superabundantes. 1–64 (2015).
54. Lieberman, M., Lieberman, D., Hartshorn, G. S. & Peralta, R. *Small-Scale Altitudinal Variation in Lowland Wet Tropical Forest Vegetation. Source: Journal of Ecology* vol. 73 <https://www.jstor.org/stable/2260490?seq=1&cid=pdf-> (1985).
55. Acevedo-Rodriguez En, P., Woodbury Editado Por, R. O & Ruiz, B. I. *Los Bejucos de Puerto Rico Volumen I.* (1985).
56. Santos, C. M. *Bordas florestais com trepadeiras hiperabundantes inseridas em matriz agrícola: estrutura, composição e manejo.* (2019).
57. Grauel, W. T. & Putz, F. E. Effects of lianas on growth and regeneration of *Prioria copaifera* in Darien, Panama. in *Forest Ecology and Management* vol. 190 99–108 (2004).
58. Ribeiro, C. S. *Quantificação do Estoque de Biomassa e Análise Econômica da Implementação de Projetos visando a geração de créditos de Carbono em Paisagem, Capoeira e Floresta Primária.* (2007).
59. Gloor, M. *et al.* The carbon balance of South America: A review of the status, decadal trends and main determinants. *Biogeosciences* vol. 9 5407–5430 Preprint at <https://doi.org/10.5194/bg-9-5407-2012> (2012).

60. Scolforo, H. F., Scolforo, J. R. S., Mello, C. R., Mello, J. M. & Ferraz Filho, A. C. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian Biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-arid woodland. *PLoS ONE* **10**, (2015).
61. Englund, O. *et al.* A new high-resolution nationwide aboveground carbon map for Brazil. *Geo: Geography and Environment* **4**, (2017).
62. Mitchard, E. T. A. *et al.* Uncertainty in the spatial distribution of tropical forest biomass: A comparison of pan-tropical maps. *Carbon Balance and Management* **8**, (2013).
63. Saatchi, S., Houghton, R. A., dos Santos Alvalá, R. C., Soares, J. v. & Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* **13**, 816–837 (2007).
64. Oliveira, M. V. N., Orfanó, E. & Figueiredo, D. D. A. P. *Uso do Lidar como Ferramenta para o Manejo de Precisão em Florestas Tropicais.* (2014).
65. White, J. C. *et al.* Ministry of Natural Resources, Provincial Services Division, Science and Research Branch, North Bay, ON *The Forestry Chronicle Downloaded from pubs.* vol. 89 <http://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=> (2013).
66. Locks, C. J. & Matricardi, E. A. T. The estimation of selective logging impact in amazon forest using LIDAR data. *Ciencia Florestal* **29**, 481–495 (2019).
67. Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O. & Foley, J. A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* **2**, (2007).
68. Gomes, L. F., Brites, R. S., Locks, C. J. & dos Anjos, R. R. Estimativas das Alterações na Biomassa Florestal Utilizando LiDAR em Área de Manejo Florestal Sustentável na Amazônia Sul-Occidental. *Anuario do Instituto de Geociencias* **43**, 260–268 (2020).
69. Firetti, R., José Sereia, V., Cardoso de Oliveira, E., Assiz de Carvalho Filho, A. & Pinatti, E. *SIMILARIDADES ENTRE MUNICÍPIOS DO PONTAL DO PARANAPANEMA: análise de agrupamento em função de características da agropecuária regional.* (2010).

70. Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711–728 (2013).
71. Uezu, A. & Metzger, J. P. Vanishing bird species in the Atlantic Forest: Relative importance of landscape configuration, forest structure and species characteristics. *Biodiversity and Conservation* **20**, 3627–3643 (2011).
72. Meneguette, A. A. C. Atlas Interativo do Pontal do Paranapanema, 2001. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da unesp* (2001).
73. Governo do Estado de São Paulo. *Plano de Manejo Parque Estadual do Morro do Diabo*. (2006).
74. Ditt, E. H. *Fragmentos Florestais no Pontal do Paranapanema*. vols. 207, Anablumme (Anablumme, 2002).
75. Rodrigues, E. R., Cullen Jr, L., Beltrame, T. P., Moscolgiato, A. V. & da Silva, I. C. Avaliação Econômica de Sistemas Agroflorestais implantados para Recuperação de Reserva Legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. *Revista Árvore* 1–8 (2007).
76. Paese, A., Uezu, A., Lorini, M. L. & Cunha, A. *Conservação da biodiversidade com SIG*. (Oficina de Textos, 2015).
77. Uezu, A. & Metzger, J. P. Vanishing bird species in the Atlantic Forest: Relative importance of landscape configuration, forest structure and species characteristics. *Biodiversity and Conservation* **20**, 3627–3643 (2011).
78. César, R. G. Lianas hiperabundantes como filtros ecológicos para a sucessão secundária em fragmentos florestais degradados. *Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”* 1–104 (2014).
79. Regina, A., Arana, A. & Almirante, M. F. A Importância do Corredor Ecológico: Um estudo sobre Parque Estadual “Morro do Diabo” em Teodoro Sampaio - SP. (2007).
80. Cullen, L. *et al.* Implications of fine-grained habitat fragmentation and road mortality for jaguar conservation in the atlantic forest, Brazil. *PLoS ONE* **11**, (2016).

81. Chave, J. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. (2005) doi:10.1007/s00442-005.
82. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
83. Duarte, E. *et al.* *Restauração da Vegetação Nativa no Brasil*. (2018).
84. Vidal, E., Johns, J., Gerwing, J. J., Barreto, P. & Uhl, C. *Vine management for reduced-impact logging in eastern Amazonia Cite this paper Related papers*. (1997).
85. Perez-Salicrup, D. R. *et al.* *Cost and Efficiency of Cutting Lianas in a Lowland*. vol. 33
<http://www.jstor.org>URL:<http://www.jstor.org/stable/2663837> (2001).
86. Verified Carbon Standard - VERRA. CCB Standards Fee Schedule. v3.4. 1–6 (2020).
87. Verified Carbon Standard - VERRA. *Program Fee Schedule v4.1*. (2020).
88. VERRA. *AFOLU Non-Permanence Risk Tool*. (2019).
89. Gitman, L. J. *Princípios de Administração Financeira*. (Pearson Education Empresa Cidadã, 2010).
90. BB & FOCUS. *Relatório de Mercado, julho de 2022*. (2022).
91. Amaral, L. G. de C. *Incremento de carbono estocado na parte aérea de plantios de restauração em corredores integrando unidades de conservação e fragmentos ripários*. (2017).
92. Torres, C. M. M. E. *et al.* *Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG*. (2013).
93. Amaro, M. A. *Quantificação do Estoque Volumétrico, de Biomassa e de Carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa - MG*. (2010).
94. Silva, A. C. *Estimativa de Sequestro de Carbono no Bioma Caatinga: Estudo do Balanço de Carbono sob a influência da altitude*. (2018).
95. Pyles, M. V. *et al.* *Human impacts as the main driver of tropical forest carbon*. *Sci. Adv* vol. 8 <https://www.science.org> (2022).
96. Rocha, M. da. *Efeito da alteração no ciclo hidrológico do Rio Uatumã sobre a regeneração de plântulas a jusante da barragem da Hidrelétrica de Balbina, AM*. (2019).
97. Primack, R. B. & Rodrigues, E. *Biologia da conservação*. (2006).

98. Engel, V. L., Fonseca, R. C. B. & Oliveira, R. E. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. **12**, (1998).
99. César, R. G. *et al.* Evaluating climber cutting as a strategy to restore degraded tropical forests. *Biological Conservation* **201**, 309–313 (2016).
100. Pitta, G. R. O balanço de Carbono em Paisagens tropicais antropizadas. *Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia* 1–92 (2019).
101. Strassburg, B. B. N. *et al.* Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* **586**, 724–729 (2020).
102. Imaflora & Biofílica. *Guia para a elaboração de projetos de carbono e de serviços ambientais*. (2009).
103. Brown, E., Dudley, N., Lindhe, A., Muhtaman, D. R. & Stewart, C. *Guia Geral para Identificação de Altos Valores de Conservação*. www.hcvnetwork.org (2018).
104. CNI. *Financiamento para o Clima - Guia para Otimização de Acesso pela Indústria*. (2020).

ANEXOS

Anexo 1

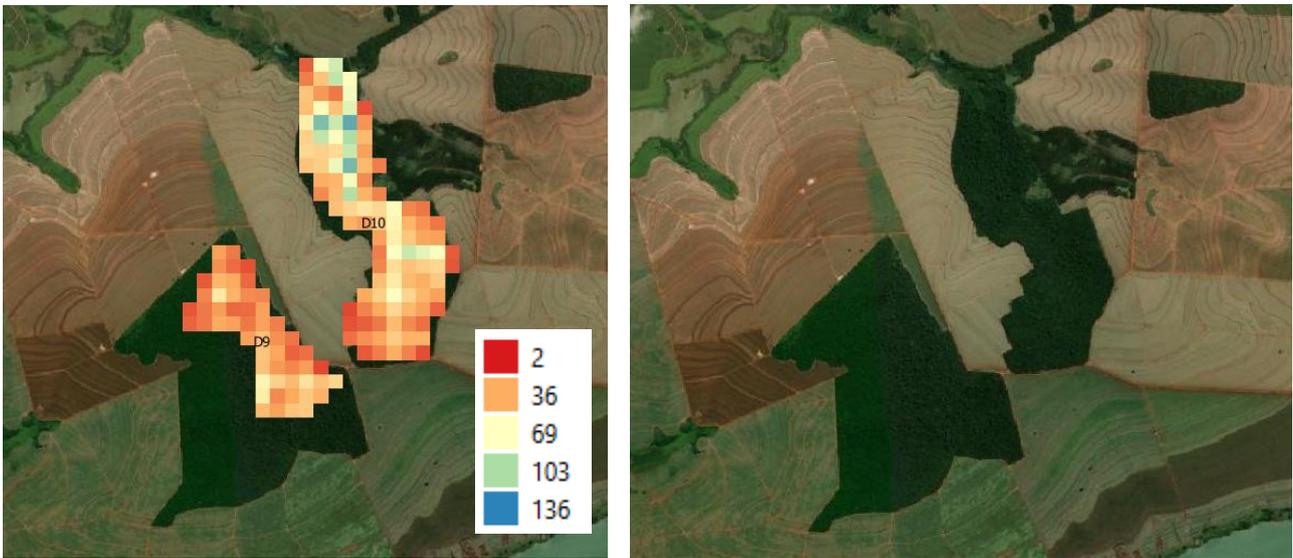


Figura 10 - Áreas com camada de sobrevoo de LiDAR (à esquerda) e original (à direita). No remanescente correspondente a área D10 observa-se que os pixels em azul representam maiores valores de estoque de carbono por hectare. Os valores altos de carbono podem indicar a presença de um córrego.

Anexo 2



Figura 13- Amostragem de LiDAR (à esquerda) e limites da ESEC Mico-leão-preto (à direita) identificados em camada do ICMBIO 2022 para as áreas D4 e D5.

Anexo 3

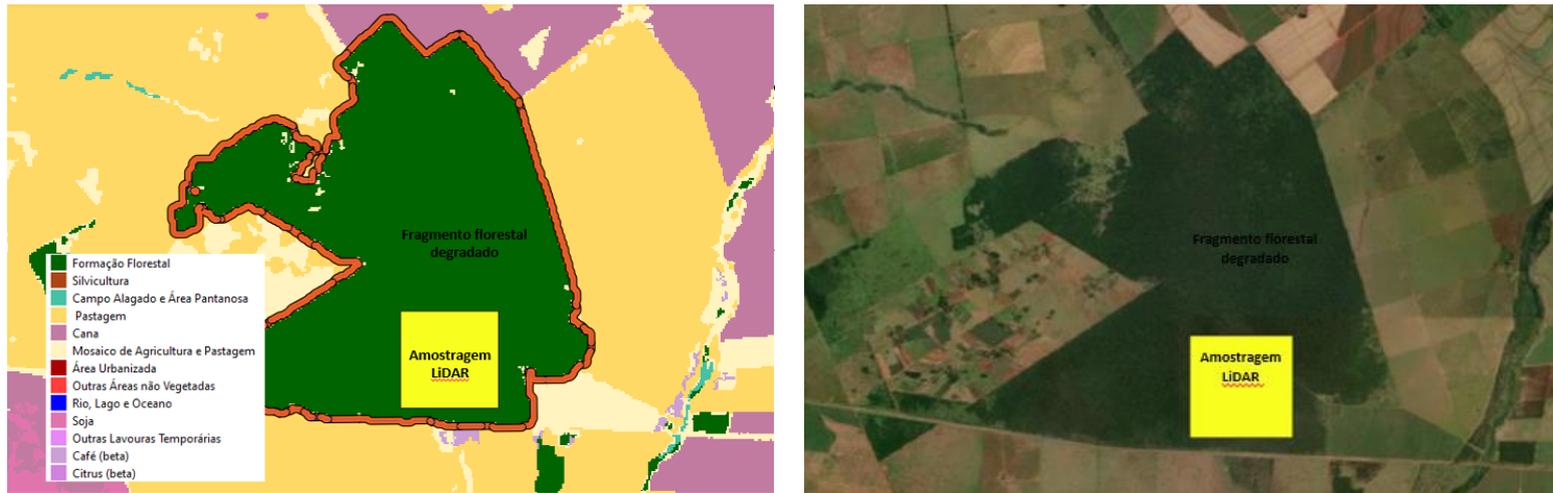


Figura 14 - Em amarelo: área de uma amostragem LiDAR por sobrevoo. Em verde: área total de um dos remanescentes florestais degradados. À esquerda: camada de usos do solo do MapBiomas (2022).

Anexo 4

Tabela 7 – Referências para orçamentos de custos técnicos (materiais, mão-de-obra e adicionais) para cada uma das técnicas selecionadas para para recuperação dos remanescentes florestais degradados do Pontal do Paranapanema.

Técnicas²	Justificativa	Local a ser aplicado²	Materiais³	Mão-de-obra	Adicionais
Cerca tradicional	Impedir invasão de animais	Bordas limites com pasto (km)	Rolo de arame liso Morão de eucalipto (circ. 8 à 11 cm) Palanque de eucalipto (circ. 16 à 20 cm) Balancin ⁴⁵	Trabalhador local (R\$/hora) ⁴⁵	Deslocamento médio de Teodoro Sampaio até o local (preço gasolina)
Cerca elétrica			Lasca euc. 6x8 2.2m Arame liso cerc ele 1000m Arame liso cerc ele 1000m Palanque euc 2.5m 14x16 Isolador cerca ele g Mangueira isoladora cerca ele Haste de aterramento Máquina de choque Conector haste de aterramento Mão de obra ⁵		
Aceiro¹	Evitar alastramento de fogo nos remanescentes	Bordas limites com pasto e/ou agricultura (km)	Trator com grade ⁷		
Manejo de lianas	Controlar a alta densidade de lianas a fim de recuperação de biomassa florestal	20% da área total dos fragmentos (ha)	Facão ⁶		

¹Considera os custos para um aceiro de 8 m de largura; e aluguel de trator

²Definido conforme mapa de uso dos solos, Manejo de Fragmentos Florestais Degradados e relatório de pesquisa da Restauração da Vegetação Nativa no Brasil.

⁴Fonte: Banco de dados IPÊ.

⁵Fonte: Empresa elétrica especializada em Teodoro Sampaio.

⁶Preço médio dois facões no Mercado Livre.

⁷Empresa de trator especializada em Teodoro Sampaio .

Anexo 5

Tabela 8 – Referência para obtenção dos custos para implementação de um projeto de carbono do tipo IFM considerando orçamentos atuais (2022).

Técnica	Custos envolvidos	Valores considerados	Fonte: custos envolvidos
Auditorias	Validação Verificação	Média de orçamentos para Validação e Verificação para modalidades VCS e CCB	Duas empresas auditoras acreditadas pelo VERRA.
Taxas do VERRA	Registro do projeto	Pedido de registo de projeto sem verificação: considera Volume anual estimado de reduções de emissões x (USD 0,10); limitado a 10.000 USD	Documentos oficiais do VERRA para CCB e VCS
	Validação do projeto	CCB: \$2500 VCS: \$2500	
	Verificação do projeto	CCB: \$5000 VCS: \$2500	
Consultoria empresarial	Consultoria para a realização de um projeto	Custos com expedições de campo, funcionários técnicos, sociais e de SIG; Desconto de 5% taxa para venda dos créditos de carbono e 20% uma comissão para a empresa.	Orçamento com empresa especialista no setor de carbono
Porcentagem destinada ao VERRA	Desconto de créditos em cada verificação do projeto	CCB: de 1-1.000,000 VCU - desconto de USD 0.05 (...) VCS: de 1 – 10,000 VCU - desconto de USD 0.05 (...) <i>(para maiores detalhes, olhar documentos do VERRA completos)</i>	Documentos oficiais do VERRA para CCB e VCS