

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO ESTOQUE DE C NO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE PRODUÇÃO

RUTH DE ABREU ARAÚJO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
SETEMBRO – 2023

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO ESTOQUE DE C NO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE PRODUÇÃO

RUTH DE ABREU ARAÚJO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof.^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ

SETEMBRO-2023

A663 Araújo, Ruth de Abreu.

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO ESTOQUE DE C NO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DE CACAU EM DIFERENTES CENÁRIOS DE
PRODUÇÃO

/ Ruth de Abreu Araújo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

103 f. Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.

Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

1. Serviços ecossistêmicos. 2 Solos . 3. Produtividade. 4. Valoração. 5. Carbono . I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD -630

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO ESTOQUE DE C NO SOLO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE PRODUÇÃO

RUTH DE ABREU ARAÚJO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 04 de setembro de 2023

Comissão examinadora:

Prof(a). Jaomara Nascimento da Silva (D.Sc., Produção Vegetal) – UFPA

Prof. Marcus Vinicius da Silva Sales(D.Sc., Produção Vegetal) – UFF

Prof. Alexandre Gomes Fontes (D.Sc., Produção Vegetal) - IFES

Prof(a). Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (D.Sc., Ciência do Solo) - UENF
(Orientadora)

*“É sabido que para que coisas grandes existam, há um trabalho sutilmente
minúsculo e até invisível para que, depois, haja vislumbre
de uma paisagem, um monumento, uma construção.*

*Tenho pensado muito sobre o trabalho invisível e sem conclusões
aceitando que todo passo importa e refletindo sobre as paixões,
os valores, o entendimento.*

*A declaração sobre quão valiosa é a presença da natureza é verdadeira
se existe a compreensão de todos seus processos,*

Apreciar o antes das coisas em outras formas

Admirar o pequeno trabalho para grandes razões de existir

Da microbiologia ao pequeno agricultor

tudo que temos é rico no estado de existir”

(Araújo, Ruth de Abreu, 14.10.2023)

DEDICO

À minha mãe Adalgisa de Abreu Araújo;

À minha irmã Joelma Araújo.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus que eu sirvo pela graça concedida. Por estar sempre comigo e testemunhar minha luta quando ninguém pôde ver;

A Adalgisa de Abreu, minha tão honrada e amada mãe, pela vida inteira dedicada a mim e aos meus irmãos. Meu exemplo de humanidade, bondade e retidão;

À minha irmã Joelma Araújo, que sempre foi canal para todas as minhas conquistas, pelas mensagens de carinho, pela preocupação, pela felicidade ao me ver conquistar cada coisinha;

À minha orientadora, Prof(a) Dra Emanuela Forestieri da Gama Rodrigues, por me orientar, compreender e aconselhar;

Aos professores do LSOL pela contribuição em minha formação acadêmica, pelo compromisso e conhecimento repassado, aos técnicos de laboratório: Kátia, Vanilda e Ederaldo, pelas gentilezas prestadas nesses quatro anos;

A Jao - Jaomara Nascimento, gratidão para além do auxílio nas ferramentas econômicas, pelo ensino, paciência e cuidado;

Às amigadas que construí nesse período em Campos, pelo bom e precioso lazer ao lado de vocês no karaokê do horto e nos cafés;

As amigas de casa temporária e amizade perene, Samua Xavier, Gessica Torres e Sara Oliveira. A Priscila, amiga de doutorado, casa e jornada da vida, só tenho a agradecer por tamanha leveza, lealdade e por toda partilha saudável;

À grande amizade que fiz nesse trajeto: Sel Carvalho, dividimos mesa de estudo, o pão (amassado ou não) e a saudade de casa - nossa amizade é um lar;

Ao Edie Sena, amigo muito especial e solícito, pela amizade e por toda ajuda em vários aspectos do meu mestrado e doutorado, desde a companhia agradável e trocas diversas sobre afetos a utilidades científicas;

A Karina Soares, por ser uma amiga de chegada e também quando precisei partir;

À minha mais antiga grande amiga Nágille Milhomem, por sempre me acompanhar, torcer e orar por mim;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela oportunidade de realizar meu curso de mestrado. A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos;

Sempre será difícil mensurar justa e tão brevemente todas as experiências que contribuíram na minha formação, mas o que fica é a minha gratidão a todos que me ajudaram em algum sentido a alcançar este objetivo mantendo o interesse maior que é, “o aprendizado integrado e a vontade de caminhar sempre ao bom ato”.

SUMÁRIO

Resumo	vii
Abstract	ix
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Efeito estufa, problemas ambientais e acordos climáticos	5
2.2. Serviços ecossistêmicos	8
2.3. Agricultura inteligente para o clima e métodos de medição de carbono para eficiência da valoração dos serviços ecossistêmicos	10
2.4. Impacto econômico gerado pelos serviços ecossistêmicos e pagamento por serviços ambientais - PSA	14
2.5. Gestão sustentável da terra e sistema agroflorestal de cacau no Brasil	16
2.6. SAFs de cacau: eritrina	18
2.7. Sistema solo como regulador do clima global	20
2.8. As conferências das partes – COPs	23
2.9. Mercado de baixo carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo- MDL	25

3. Material e Métodos	29
3.1. Caracterização da área de estudo	29
3.2. Etapas para a valoração econômica	30
3.3. Indicadores econômicos	32
4. Resultados e Discussão	36
4.1 Fluxo de caixa acumulado – cenários baixa, média e alta produção	36
4.2. VPL, TIR, VAE e B/C – cenário baixo, médio e alta produção	41
4.3. Análise de sensibilidade	46
4.4. Considerações finais: Inclusão da valoração dos serviços ecossistêmicos nos SAFs	54
5. Resumo e Conclusões	60
Referências Bibliográficas	61
Apêndices	85
Apêndice A	86
Apêndice B	88
Apêndice C	89

RESUMO

Araújo, Ruth de Abreu. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Setembro de 2023. Valoração Econômica do estoque de C no solo em sistemas agroflorestais de cacau em diferentes cenários de produção. Orientadora: Prof(a). Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) de cacau são sistemas produtivos que permitem a recuperação de áreas degradadas e o sequestro de carbono (C), que é reconhecido como um serviço ecossistêmico (SE). Diante da possibilidade de reduzir os impactos climático-ambientais das ações antrópicas por meio destes serviços ecossistêmicos surgiram iniciativas a fim de valorá-los, como o estoque de C dos solos sob SAFs, através da emissão de Certificados de Emissões Reduzidas (CERs). É possível encontrar alguns estudos envolvendo a caracterização dos sistemas agroflorestais de cacau com seringueira, emissão de CERs e análises econômicas sobre a produção de cacau considerando uma alta produtividade. No entanto, não existem estudos analisando a valoração dos serviços ecossistêmicos e viabilidade econômica de baixa e média produtividade em SAFs cacau+eritrina. Diante desta problemática, o presente estudo tem o objetivo de analisar a viabilidade econômica e valorar os estoques de carbono em SAFs de cacau+eritrina em diferentes cenários de produtividade. Para tanto, utilizou-se os indicadores econômicos: Valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), valor anual equivalente (VAE), razão custo-benefício (B/C) e Análise de Sensibilidade que consiste em determinar um indicador a sensibilizar

em função dos parâmetros e variáveis selecionados. Na primeira etapa, a valoração econômica considerou apenas a produção do cacau como receita. Na segunda, além da produção do cacau, considerou-se o crédito de C obtido a partir dos valores de estoque de C do solo. O C estocado foi convertido em CO₂ equivalente (CO₂eq). Considerou-se 6 cenários: baixa produtividade com e sem CERs, média produtividade com e sem CERs e alta produtividade com e sem CERs. Do ponto de vista econômico (viabilidade econômica) foi observado neste estudo a importância de se inserir os serviços ecossistêmicos principalmente em áreas de baixa produção. Nos cenários médio e alto vemos que os sistemas são viáveis e lucrativos mesmo sem a inclusão dos CERs. Observa-se que valorar os serviços ecossistêmicos é fundamental em todos os cenários, visto que, os SAFs são um sistema que administram bem os recursos ambientais e ainda mantêm e produzem ativos naturais.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos, solos, produtividade.

ABSTRACT

Araújo, Ruth de Abreu. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. September 2023. Economic valuation of soil C stock in cocoa agroforestry systems in different production scenarios. Advisor: Prof(a). Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

Cocoa agroforestry systems (SAFs) are productive systems that allow the recovery of degraded areas and the sequestration of carbon (C), which is recognized as an ecosystem service (ES). Faced with the possibility of reducing the climate-environmental impacts of human actions through these ecosystem services, initiatives have emerged to value them, such as the C stock in soils under SAFs, through the issuance of Reduced Emissions Certificates (CERs). It is possible to find some studies involving the characterization of cocoa agroforestry systems with rubber trees, issuance of CERs and economic analysis on cocoa production considering high productivity. However, there are no studies analysing the valuation of ecosystem services and economic viability of low and medium productivity in cocoa+erythrin SAFs. Faced with this problem, the present study aims to analyse the economic viability and value carbon stocks in cocoa+erythrin SAFs in different productivity scenarios. To achieve this purpose, economic indicators were used: Net present value (NPV), internal rate of return (IRR), equivalent annual value (VAE), cost-benefit ratio (B/C) and Sensitivity Analysis which consists of determining an indicator to raise awareness based on the selected parameters and variables. In the first stage, the economic valuation only considered cocoa production as revenue. In the second, in addition to cocoa production, the C credit obtained from soil C stock values was considered. The stored C was converted into equivalent CO₂ (CO₂eq). Six scenarios were considered: low productivity with and without CERs, medium productivity with and without CERS and high productivity with and without CERs. From an economic point of view (economic viability), this study observed the importance of including ecosystem services mainly in areas of low production. In the medium and high scenarios, we concluded that the systems are viable and profitable even without

the inclusion of CERs. It is observed that valuing ecosystem services is fundamental in all scenarios, since SAFs are a system that manages environmental resources well and also maintains and produces natural assets.

Keywords: ecological services, soils, productivity.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil já foi considerado o maior produtor mundial de cacau e hoje se mantém entre os principais produtores do mundo (Campos et al., 2022). O cultivo de cacau no Brasil é historicamente produzido em conjunto com outras espécies vegetais. Estudos relatam que o cacau sombreado surgiu no início dos anos 1500 na América Central (Vieira, 2018; Bergmann, 1969). Apesar do cacau ser tradicionalmente cultivado em sistema agroflorestal (SAFs) (Ranieri et al., 2021), somente no século XX, com o surgimento dos novos paradigmas para produção sustentável que buscam integrar a equidade social, proteção ao meio ambiente e objetivos econômicos, surgiram os estudos dos SAFs como ciência (Maney et al., 2022; Piasentin e Saito, 2014).

Entre os SAFs de cacau tradicionais estão o cacau cabruca e o cacau+eritrina, em que no sistema cacau cabruca as árvores nativas da Mata Atlântica são mantidas para fornecer a sombra aos cacaueiros. Este agroecossistema é responsável pela paisagem de matriz florestal do litoral sul da Bahia (Santos et al., 2021). O SAF cacau+eritrina consiste no método derruba total promovido no Sudeste da Bahia. Neste sistema, a banana é a provedora de sombra inicial e a eritrina como sombreamento definitivo (Muller e Gama-Rodrigues, 2012). Entretanto, o método derruba total não foi bem-visto pelos produtores locais, que refletia a preferência pelo método de manejo cabruca, e por sua menor dependência de insumos externos (Piasentin e Saito, 2014; Piasentin, 2011).

Em 1950 o Brasil enfrentou uma crise na cacauicultura, por efeito de infestações dos fungos *Crinipellis perniciosa* (vassoura-de-bruxa) e *Phytophthora palmivora* (podridão parda) e significativa queda dos preços internacionais vinculado ao aumento da oferta mundial. As consequências disso afetaram, sobretudo, os pequenos e médios produtores de cacau (Loss e Astier, 2020), principalmente em razão da descapitalização, falta de modernização da produção, instabilidade macroeconômica, e superproduções de cacau em outros países (Bahia de Aguiar; Pires, 2019). Isto resultou no endividamento dos produtores de cacau, causando grande desestímulo, o que levou ao abandono das áreas plantadas, cujos efeitos negativos se somam até o presente momento, culminando em uma drástica situação econômica. As ações do governo para retirar o país da crise nunca foram colocadas em prática, pois teria que renegociar as dívidas dos produtores e investir na divulgação de tecnologias.

Mesmo com as consequências da crise, o estado da Bahia abrange 70% da produção nacional (Brainer, 2021). Segundo a Associação Nacional das Indústrias Processadoras de Cacau (AIPC), a produção de cacau na Bahia foi historicamente reflorestamento, denominados projetos de sequestro de C (CNI, 2019; Cotta, 2008). Caso haja validação sobre a redução de emissão dos gases efeito estufa mediante o sequestro de C no solo, o país favorecido do projeto de MDL poderá obter uma certificação denominada Certificados de Emissões Reduzidas – CERs.

O mercado de créditos de carbono é o projeto de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) mais expandido no mundo, foi executado pelo Protocolo de Kyoto e resulta na mitigação do efeito estufa. A primeira iniciativa de PSA no Brasil foi no ano de 2000 (Duarte et al., 2020; Peres e Ribeiro, 2019). Desde então, foram elaborados inúmeros projetos de PSA estaduais e federais, que abrangem diversos tipos de serviços, com diferentes modelos de administração, sem forma de regulação específica (Carneiro et al., 2020; Castro et al., 2018).

Somente no ano de 2021 foi implementada, após alguns vetos, a primeira lei federal, Lei 14.119/21, sobre PSA, que define o projeto como: transação de natureza voluntária, mediante a qual um pagador de serviço ambiental transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração. Esta lei é primordial para compatibilizar a diversidade de normas

estaduais e estruturar um sistema de PSA robusto, para aumentar a segurança jurídica de ações nesta temática (Dambros, 2022).

A lei de PSA facilita a atuação privada e por isso a origem dos recursos para atuação dos projetos variam, mas há preferência por orçamento público e de fundos estaduais (Carneiro et al., 2020; Castro et al., 2018). Há também previsão de doações, acordos e trâmites similares, advindos de fontes nacionais e/ou internacionais, uma vez que todos abrangem mecanismos de mercado como fontes de financiamento (Santos et al., 2022; Santos et al., 2012). Tratando da esfera pública, tais projetos, envolvem ministérios, como o ministério do meio ambiente (MMA) e a operacionalização dos pagamentos aos produtores através da valoração dos serviços ecossistêmicos, que podem ser feitos pela Caixa Econômica Federal, como foi o caso do Sistema de Incentivo a Serviços Ambientais do Acre - SISA (Lei Estadual 2.308/2010).

Valorar economicamente os ativos naturais significa: “Poder contar com um indicador de sua importância no bem-estar da sociedade, através da comparação de um denominador comum: o dinheiro” (Izkio e Burneo, 2003). Os ativos naturais, no aspecto de bens públicos geram objeções na mensuração dos benefícios de consumo, por não ser possível estimar a quantidade consumida por indivíduo, as preferências individuais não são expressas explicitamente, não tendo como estabelecer preços em sistema de mercado, e, logo, se ignora o custo de oportunidade de sua aplicação provocando o uso insustentável desses ativos (Santana et al., 2020; Contador, 1981). A análise de custos e benefícios econômicos do C do solo permite maximizar o bem-estar, a preservação do solo, a mitigação do efeito estufa, os benefícios externos e a viabilidade econômica ao produtor de SAFs.

Estes SAFs, demonstram eficiência no estoque de C no solo e na biomassa vegetal por um grande período de tempo (Oliveira et al., 2019; Salgado et al., 2019; Monroe et al., 2016; Gama-Rodrigues et al., 2010; Cotta et al., 2008), e por isso possuem potencial para projetos com fins de créditos de carbono através do MDL. Portanto, os serviços ecossistêmicos que envolvem estes SAFs devem ser vistos com interação direta com a economia. É preciso valorar também este serviço para que sirva como parâmetro para posterior enquadramento nas normas das instituições que regem a valoração dos serviços ecossistêmicos, além

de abrir caminho para a conscientização dos produtores para optar por um sistema de produção que priorize o manejo sustentável.

Com relação a esses fatores, é possível encontrar alguns estudos envolvendo a caracterização dos sistemas agroflorestais de cacau com seringueira, emissão de CERs e análises econômicas sobre a produção de cacau considerando uma alta produtividade (Cotta, 2006; Pereira Neto, 2012; Sanches, 2019, Hespanhol, 2020). No entanto, não existem estudos analisando a valoração dos serviços ecossistêmicos e viabilidade econômica de baixa e média produtividade em SAFs cacau+eritrina. Diante desta problemática, o presente estudo tem o objetivo de analisar a viabilidade econômica e valorar os estoques de carbono em SAFs de cacau+eritrina em diferentes cenários de produtividade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Efeito Estufa, problemas ambientais e acordos climáticos

A composição da atmosfera terrestre é basicamente composta por 78% de nitrogênio (N_2) e 21% de oxigênio (O_2) (Le Treut et al., 2007). Um terço da radiação solar que intercepta a atmosfera externa é devolvida ao espaço. Os dois terços restantes passam pela atmosfera e são absorvidos pela superfície da terra e pela própria atmosfera. Então, a superfície emite radiação de ondas longas na forma de raios infravermelhos. Uma grande quantidade dessa energia é absorvida pela atmosfera e reemitida para a superfície da Terra. Este processo é conhecido como efeito estufa e, sem esse mecanismo, a temperatura da superfície da Terra estaria abaixo do ponto de congelamento da água e a vida como a conhecemos não existiria (Anderson et al., 2016).

A temperatura ideal para vida na Terra é controlada pelo efeito estufa, mas a concentração de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera aumentou significativamente desde o início da Revolução Industrial (Easterbrook, 2016). Os GEEs que podem aumentar a temperatura da atmosfera e são grandemente influenciados pela atividade humana, são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), esses três gases são considerados os mais importantes relacionados ao efeito estufa (Easterbrook, 2016). A maioria das emissões de CO_2 ocorre nos solos e está relacionada às atividades agrícolas (Le Treut et al., 2007).

Apesar da adesão da energia renovável e dos esforços de conservação, a taxa de aumento de CO₂ na atmosfera permanece alta (Tuckett, 2018). Além do mais, o dia da Sobrecarga da Terra (*Earth Overshoot Day*, em inglês), cujo cálculo anual é feito pela Global Footprint Network (GFN), organização internacional pela sustentabilidade, parceira global da Rede WWF, fundada em 1996 (Fundo Mundial para a Natureza, em português), foi atingida no dia 22 de agosto de 2020, isto com previsão de atraso devido à pandemia causada pelo vírus Covid-19 que atingiu a indústria do mundo todo (WWF-UK, 2020). Dado que, desde o ano 2000, a sobrecarga da terra dos anos anteriores foi alcançada antes dessa data.

Desde 2000, a data tem emergido prematuramente a cada ano desde que iniciado os cálculos, que variaram de forma decrescente, desde: dia primeiro de outubro de 2000 à oito de agosto de 2016. Este dado significa que a população da terra já gastou mais recursos naturais e serviços ecossistêmicos do que a terra é capaz de produzir e regenerar em um ano (WWF-UK, 2020). Estas evidências mostram que não há como reverter as consequências climáticas desastrosas causadas por equívocos do passado (Akitt, 2018), mas tornar o aquecimento global gerenciável, e por isso a necessidade de adoção de novas práticas tornam-se emergenciais.

Esse aumento foi causado principalmente pela queima de combustíveis fósseis, indústria de cimento e desmatamento (Forster et al., 2006). As emissões globais de CO₂ foram relacionadas a fontes antrópicas, e a agricultura é o principal componente, com 43% das emissões globais. O incentivo do sistema econômico capitalista contribui para o aumento crescente de produção baseado na demanda populacional global (Figura 1). No Brasil, as emissões de CO₂ dos solos agrícolas foram estimadas em 75% (Cerri e Cerri, 2007). Assim, qualquer estratégia que vise diminuir a concentração atmosférica de GEE deve se concentrar no setor agrícola, porque esta é a principal fonte de emissão de CO₂.

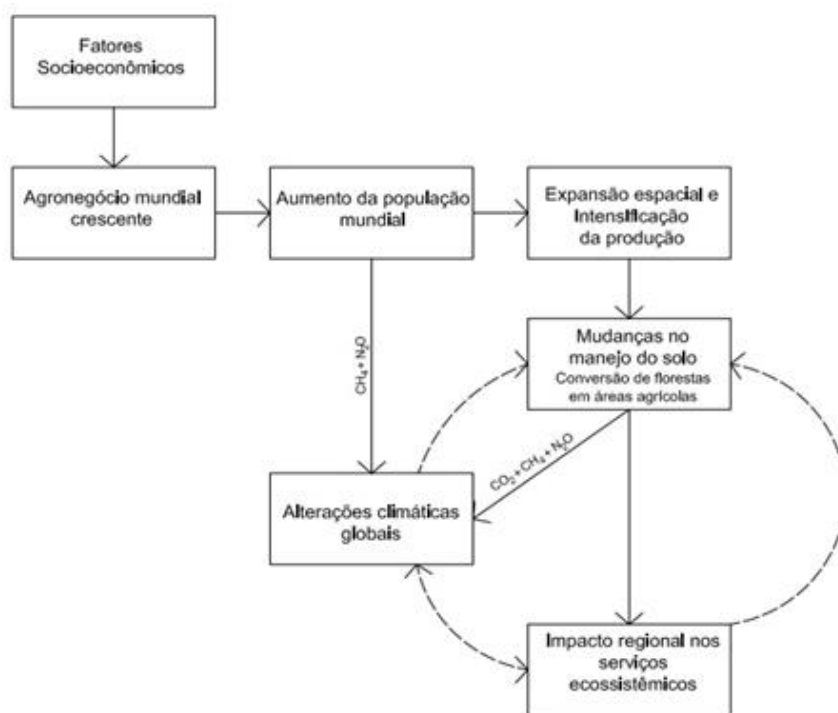


Figura 1. Modelo conceitual dos fatores socioeconômicos em relação ao aumento da demanda global sobre a produção de alimentos e dos impactos resultantes no ambiente regional e global (Allen et al., 2016; Ericksen, 2008).

As principais consequências ambientais refletem diretamente no bem-estar ou na saúde humana, dentre elas estão: descongelamento de massas de gelo, inundação de ilhas e cidades costeiras, furacões devastadores, migração de espécies, desertificação de áreas férteis, impacto na agricultura e agropecuária, número crescente de secas, escassez de alimentos, propagação de doenças e pandemias, além dos problemas derivados diretamente da poluição (Global Climate Report, NOAA, 2018).

De forma geral, a mitigação do efeito estufa está diretamente relacionado ao manejo agrícola para produção de alimentos. Para conter as consequências negativas do efeito estufa, são necessárias medidas ou programas de caráter político (Romeiro, 2012) que visem apoiar, criar e/ou financiar projetos e ações com o objetivo de gerar práticas para estabelecer fiabilidade as consequências relacionadas às mudanças climáticas.

Após as evidências científicas serem expostas sobre os danos das atividades antrópicas para o clima, em 1980 o tema começou a despertar interesse público, e logo nos anos 90 iniciaram as pressões para criação de um tratado mundial que respondesse por este tema. Então, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) reagiram elaborando um grupo de trabalho intergovernamental responsáveis por estas negociações (Bruno e Fraga, 2018).

Os grupos de papel primordial para discussão do tema são: Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) e a Organização das Nações Unidas que estabeleceu o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC), que posteriormente resultou no surgimento da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change), cujo objetivo é abranger a consolidação das concentrações de GEE na atmosfera, de maneira a evitar que a intervenção antrópica no meio ambiente resulte em uma instabilidade ameaçadora sobre o sistema físico climático (ONU, 2018).

2.2. Serviços Ecossistêmicos

Serviços ecossistêmicos são contribuições diretas ou indiretas prestadas pelos ecossistemas que são responsáveis por sustentar a sobrevivência humana na terra, ou seja, são os componentes ecológicos consumidos diretamente ou aproveitados para proporcionar bem-estar humano (Boyd e Banzhaf, 2007; May, 2018). Estes serviços são recursos naturais que fornecem benefícios ou bens como espécies vegetais, alimentos, madeira, animais, fungos e microrganismos que prestam serviços essenciais de regulação, como polinização de culturas, prevenção de erosão do solo e purificação de água e uma vasta gama de benefícios que interferem na qualidade de vida da humanidade (MEA, 2005; Araújo, 2018).

O conceito de serviços ambientais e serviços ecossistêmicos podem ser confundidos, devido à semelhança da etimologia dos termos: “ambiental” e “ecossistema”. Portanto, faz-se necessário sua diferenciação, em que

presumivelmente serviços ambientais são relacionados à interferência humana nos agroecossistemas, já os serviços ecossistêmicos são as vantagens que os humanos obtêm dos sistemas naturais de forma direta ou indireta, ou seja, serviços ambientais contribuem para manutenção dos serviços ecossistêmicos (Brownson et al., 2019; Costanza et al., 1997).

Um dos exemplos de serviços ecossistêmicos são a regulação climática e regulação dos nutrientes do solo que são obtidos pelo povoamento florestal extensivo e diversificado, ou seja, pelas florestas naturais ou sistemas agroflorestais que através do dossel das árvores e da produção de serrapilheira produzem estes serviços (Weyland et al., 2018). O serviço ambiental nestas condições entra como forma de manutenção e preservação de áreas naturais ou conversão de uma área antes degradada pelos sistemas agroflorestais, assim, a interferência humana estaria provendo serviços ambientais ao ecossistema.

Assim, os recursos naturais recebem um olhar antropocêntrico, pois estão envolvidos no conceito de uso real ou potencial para o ser humano (Müller e Burkhard, 2012). Todas as espécies dependem do equilíbrio dos serviços ecossistêmicos para sua subsistência. Essa sujeição transforma-se em valores, que podem ser valores de caráter moral, ético ou econômico, associado aos serviços ecossistêmicos providos por estes recursos (May, 2018).

Apesar da importância ecológica, cultural e econômica desses serviços, os ecossistemas e a biodiversidade que os sustenta estão sendo degradados e perdidos e uma das principais razões é a importância dos ecossistemas, ou seja, o valor para o bem-estar humano ainda é subestimado e não é totalmente reconhecido no cotidiano de planejamento e tomada de decisões, os benefícios de seus serviços não são, ou apenas parcialmente, capturados em economia de mercado convencional (Costanza et al., 2017).

Além disso, os custos das externalidades do desenvolvimento econômico (por exemplo, poluição, desmatamento) geralmente não são contabilizados, enquanto sistemas inadequados de impostos e subsídios incentivam a exploração excessiva e o uso insustentável de recursos naturais e outros serviços ecossistêmicos às custas das próximas gerações (Gomez-Baggethun et al., 2015).

2.3. Agricultura Inteligente para o Clima e Métodos de Medição de Carbono para Eficiência da Valoração dos Serviços Ecossistêmicos

A agricultura inteligente para o clima (AIC) é capaz de contrabalançar parcialmente as anteriores perdas de C do solo e atenuar das alterações climáticas, acabando por aumentar a resiliência e a capacidade de adaptação dos sistemas de produção (Paustian et al., 2016). As práticas de AIC, incluem os sistemas agroflorestais (SAFs) e outros manejos e sistemas como o plantio direto, fertilização do solo com aditivos orgânicos e os sistemas de cultura-pecuária-floresta têm sido vastamente adaptadas para aumentar a acumulação de C no solo e melhorar a qualidade do solo, garantindo ao mesmo tempo a produtividade das culturas (Anghinoni et al., 2021).

A adoção da AIC no Brasil tem sido incentivada entre os agricultores a diferentes níveis, incluindo associações de agricultores (por exemplo, FEBRADP¹), parcerias público-privadas (por exemplo, Rede ILPF², RCGI³), iniciativas privadas (e.g., PRO Carbono Bayer) e por políticas públicas (e.g, Plano ABC⁴ e ABC+⁵, Brasil, 2021), e muitas áreas agrícolas implementaram essas práticas de manejo no bioma mata atlântica (Oliveira et al., 2023) Portanto, reunir os dados disponíveis e estimar as respostas gerais ao nível do bioma é essencial para avaliar o papel da AIC na recuperação das reservas de C do solo e para efeitos de planeamento da política climática.

A ciência do solo está no centro dos temas mais importantes para a agenda global dos ecossistemas, alterações climáticas e agricultura, isto porque os solos representam o maior reservatório de carbono (C) no planeta, possuem quatro vezes mais C do que a vegetação e três vezes mais do que a atmosfera (Lal, 2008; Le Quéré, 2018). Desta forma, as alterações destas reservas causam impacto significativo na quantidade total do C global. Os danos advindos da perda do C do solo devido à substituição da vegetação nativa em áreas de cultivos atingem um valor acumulado de 133Pg C na camada superior de 2m do solo (Oliveira et al., 2023; Ontl e Schulte, 2012; IPCC, 2022). Nos últimos 200 anos, o percentual de perda de C aumentou significativamente. As áreas de pastagens e de cultivo colaboraram de forma equivalente para a perda de C orgânico do solo

(COS).

A maior problemática destas perdas de C, é que afetam a segurança alimentar mundial e as alterações climáticas globais (Oliveira et. al 2023; Lal, 2020; Dasgupta e Robinson, 2022). A razão das maiores perdas de C quando há substituição da vegetação nativa é geralmente quando o manejo do solo diminui substancialmente a entrada de biomassa ou aumenta a taxa de decomposição do COS (Guo e Gifford, 2002; Don et al., 2011).

No trabalho dos autores Oliveira et al., (2023) são relatados e discutidos os efeitos de cada prática de AIC nas taxas gerais de alteração do C do solo. Por fim, foram identificadas as principais lacunas (limitações) e oportunidades para a pesquisa do C do solo no Cerrado brasileiro. Se acredita que a revisão do presente estudo fornecerá evidências empíricas sólidas sobre o papel e o impacto da AIC na acreção de C no solo em terras agrícolas brasileiras. O estudo também visa contribuir para a compreensão do papel da AIC na consecução das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) do país para o Acordo de Paris, que foi recentemente atualizado em 2022 (Brasil, 2022), bem como fornecer evidências científicas para novas políticas climáticas nacionais e para a discussão sobre melhores práticas científicas e o caminho a seguir na pesquisa do C do solo no Brasil.

O sequestro de carbono orgânico do solo (COS) é uma fonte de mitigação das alterações climáticas, com os benefícios indiretos adicionais de melhorar a fertilidade do solo e outros serviços ecossistêmicos. Algumas avaliações positivas sugerem que, ao elevar o crescimento das raízes das culturas agrícolas, pode ser armazenado no solo carbono suficiente, equiparando a quantidade esperada de emissões antropogênicas nas próximas duas décadas (Kell, 2012). Por outro lado, Sommer e Bossio (2014) avaliaram que o solo agrícola pode ficar saturado ao chegar no equilíbrio e não poderá sequestrar carbono a uma taxa prevista. Independente das divergências sobre o potencial total de sequestro de carbono do solo agrícola, a evidência universal é que o sequestro de carbono é concebível no solo agrícola e que os seus benefícios indiretos para melhorar a qualidade e a produtividade do solo são numerosos e ainda pouco contabilizados (Nayak et al., 2019).

O estudo sobre as alterações climáticas, requer um método de medição preciso e fiável para calcular o estoque de C ao longo do tempo, para que o efeito das práticas de gestão possa ser monitorado e verificado. Para isto, é necessário homogeneizar os métodos de medição e protocolos para o intercâmbio de dados (Paustian et al., 2016). É preciso a formação de recomendações e diretrizes para concepção de amostragem dependente da escala, métodos de amostragem e seleções de base para um cálculo preciso das reservas de COS. Apesar de existirem metodologias e procedimentos à escala laboratorial e pontual é necessário um método normalizado para a escala espacial (Bispo et al., 2017; Nayak et al., 2019; Maillard et al., 2017).

Em muitos casos, a presença de minerais inorgânicos de carbonato e bicarbonato pode estar presente entre o carbono orgânico (CO) no solo (Schmidt et al., 2012), causando diversidade de estruturas químicas orgânicas com diversos níveis de proteção e atrações químicas. Em razão disso, é árduo determinar um método laboratorial universal único que trabalhe eficientemente na análise do COS em todas as classes de solos. As frações de COS e a sua estabilidade apontam o potencial do solo para sequestrar carbono. Os métodos de fracionamento padrão também devem explicar corretamente o mecanismo de estabilização dos pools de COS (Dignac et al., 2017; Nayak et al., 2019).

Os progressos e o desenvolvimento de bibliotecas espectrais mostraram-se muito promissores na monitorização do carbono do solo (Arrouays et al 2020). Segundo Bellinaso (2009), a biblioteca espectral é uma ferramenta para simples comparação descritiva de curvas espectrais para a discriminação de classes dos alvos em estudo, é importante devido a praticidade e variabilidade na realização das análises. Avanços recentes na amostragem, disponibilidade de covariáveis ambientais e modelagem espacial melhoraram nossa capacidade de medir o carbono do solo das terras agrícolas e sua dinâmica (Lamichhane et al 2019).

Com intuito de fornecer dados de perfil de solo padronizados com qualidade, o Serviço Mundial de Informação do Solo possui mais de 5,8 milhões de registros para auxiliar o mapeamento digital do solo (MDS) em ampla escala e aplicações ambientais. Para mais, muitas covariáveis potenciais são fornecidas por técnicas de deteção remota, como o satélite Landsat (Batjes et al 2020). O espectroradiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS) (Chen et al

2019), e o sensor hiperespectral Sentinel-2 (Huang et al., 2022; Zepp et al., 2021).

É preciso conhecimento pedológico ao selecionar covariáveis ambientais e diversas estratégias para obter conhecimentos científicos sobre os processos do solo, (Wadoux et al., 2021). O estudo e a exploração de novas covariáveis em terras agrícolas devem ser melhorados para prover melhores mapas e ferramentas para a avaliação precisa do carbono do solo para promover a ação e a participação de várias partes interessadas na produção vegetal. Segundo Huang et al., (2022), a maioria dos estudos é centrada no mapeamento do teor de COS do solo superficial e menos estudos sobre as reservas de COS. Em muitos casos, as covariáveis climáticas, o material de origem e o tipo de solo desempenham um papel importante no carbono do solo à escala regional, enquanto à escala local, a variabilidade do carbono do solo depende frequentemente do terreno, dos estilos de gestão agrícola e das propriedades do solo. Muitos estudos indicam a importância da informação agrícola como covariáveis ambientais para o mapeamento do carbono do solo. A informação sobre a gestão agrícola é normalmente obtida através de dados de pesquisa, tecnologia de sensoriamento remoto ou conhecimentos especializados.

A investigação futura deve centrar-se nas fracções de COS e nas metodologias de fracionamento que expliquem a sua estabilidade no solo e melhorem a nossa compreensão do sequestro de C no solo em curto e em longo prazo. As técnicas espectrométricas de deteção do COS estão a desenvolver-se rapidamente. Estas técnicas, equipadas com sensores ativos associadas a modelos de calibração adequados, alterarão profundamente as medições no terreno das existências de COS no futuro (Huang et al., 2022). As terras de cultivo têm um grande potencial de sequestro de carbono, que pode ser alcançado através de práticas de gestão eficazes (Nikolaidis 2011, Gattinger et al 2012, Paustian et al 2016). Para compreender o estado atual e a evolução do teor e da reserva de carbono das terras agrícolas é preciso estudar a eficiência destes sistemas, pode ajudar a manter a fertilidade do solo, a tomar decisões para a gestão das terras e permitir uma avaliação realista da capacidade de sequestro de carbono (Lacoste et al 2014, Lamichhane et al 2019).

2.4. Impacto econômico gerado pelos serviços ecossistêmicos e pagamento por serviços ambientais- PSA.

O Projeto de Lei nº 312/15 determina que um prestador de serviços ambientais deverá ter o compromisso em preservar um serviço ecossistêmico. Portanto, serviços ambientais podem ser definidos como atividades humanas individuais ou coletivas que possuam o objetivo de preservar, proteger, conservar, fazer a manutenção, a recuperação ou a melhoria de serviços ecossistêmicos (May, 2018).

Os serviços ambientais são inerentes ao que os ecossistemas proveem, que produzem tudo que é necessário para manter a vida humana na terra, pois amenizam fenômenos climáticos, purificam a água, fornecem matéria-prima para inúmeros fins provenientes de diversas espécies vegetais que protegem o solo e sequestram carbono atmosférico. Através da ação conjunta da vegetação, animais e microrganismos produzem recursos genéticos, que contêm unidades funcionais de genes que apresentam valor econômico real ou potencial (Albuquerque e Nass, 2009).

A classificação para serviços ambientais foi realizada pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) em que foram divididos em quatro categorias fundamentais: serviços de provisão, definidos como os produtos obtidos dos ecossistemas, como água doce, alimentos, fibra e madeira. Serviços de regulação, que são benefícios obtidos a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais, por exemplo, absorção de CO² pela fotossíntese das florestas, controle do clima, polinização de plantas e controle de doenças e pragas.

A terceira classificação são os serviços culturais, que trazem benefícios intangíveis obtidos, de natureza recreativa, educacional, religiosa ou estético-paisagística e, por fim, os serviços de suporte, que contribuem para a produção de outros serviços ecossistêmicos como: ciclagem de nutrientes, formação do solo, dispersão de sementes e manutenção da biodiversidade (MEA, 2008).

Uma das importantes consequências negativas da degradação dos serviços ecossistêmicos é o impacto que pode ocorrer na economia, pois estes

serviços são importantes para o crescimento da atividade econômica de diversas maneiras (Perman et al., 2003). Isso ocorre em relação às matérias-primas de diversos processos produtivos baseados em recursos da flora e da fauna e nos serviços de suporte para a atividade agrícola, por exemplo. Logo, os danos causados à biodiversidade não afetam somente o crescimento do sistema econômico, mas também a capacidade da economia de sustentar seu desenvolvimento (Ninan, 2007).

A análise econômica neoclássica já reconhece que o sistema econômico interage com os recursos naturais, junto ao fato de que a maior parte dos bens e serviços ecossistêmicos e das funções providas ao ser humano pela natureza não são transacionados no mercado, por isto há necessidade de se atentar aos conceitos e estimativas do valor destes serviços (Marques e Comune, 1995). Então, economistas procuram estimar o valor dos recursos naturais para corrigir as possíveis falhas e fornecer subsídios técnicos para prevenção.

Manifesta-se, então, os métodos de valoração dos serviços ecossistêmicos, os quais estão fundamentados na teoria econômica do bem-estar (Nogueira et al., 1998). Justifica-se a correta valoração dos serviços ecossistêmicos posto que esses desempenham funções econômicas e, na maioria das vezes, não possuem valor de mercado explícito, e a valoração é uma ferramenta de incentivo também sobre a tomada de decisões sobre política econômica e ambiental (Batalhone, 2000).

Cabe na teoria econômica do bem-estar, os serviços ambientais de regulação, que estão inclusos sequestro e armazenamento de carbono, clima local e qualidade do ar, prevenção de erosão e manutenção da fertilidade do solo, controle biológico, regulação do fluxo de água, controle de patógenos (FAO, 2020). A regulação, provisão e o funcionamento de todos esses serviços são através do sistema solo (Masiero et al., 2019).

A proteção de ecossistemas, conservação e restauração de áreas, colaboram para a mitigação do efeito estufa, isto não apenas ajuda a estabilizar o sistema climático, mas na adaptação social sustentável. Neste sentido, as técnicas conservacionistas levam à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e, aumentam os estoques de carbono orgânico no solo e mantêm os serviços ambientais, ao contrário das práticas de agricultura intensiva

convencional (Stavi e Lal, 2013).

O instrumento econômico PSA (pagamento por serviços ambientais) serve como fomento à proteção e à restauração de ecossistemas e são compreendidos como uma solução de Coase para a oferta de serviços ecossistêmicos (Engel et al., 2008), na qual os problemas de efeitos externos podem ser contornados por meio da negociação privada entre as partes envolvidas (Coase, 1960).

Segundo Wunder (2008), o PSA envolve cinco características específicas : i) transação voluntária; ii) serviço ambiental ou um uso da terra apto a assegurar tal provisão; iii) pelo menos um comprador; iv) pelo menos um fornecedor controlando efetivamente a provisão e; v) a condicional de que o provedor do serviço assegura sua adequada provisão.

Então, os esquemas de PSA estão associados à participação voluntária de agricultores ou proprietários de terras na provisão de um serviço ecossistêmico bem definido ou mesmo no uso adequado do solo necessário para assegurar o serviço ecossistêmico (Narloch et al., 2009).

2.5. Gestão sustentável da terra e Sistema Agroflorestal de Cacau no Brasil

Um ecossistema saudável fornece um fluxo constante de bens e serviços ecossistêmicos (Bauhus et al., 2010), em que o solo desempenha um papel fundamental. No entanto, a exploração humana desses ecossistemas resulta em considerável degradação (perda de capital natural) e, embora isso às vezes possa ser justificado para produzir maiores ganhos em outros serviços como forma de desenvolvimento, muitas vezes ocorre mais degradação dos serviços dos ecossistemas do que retornos benéficos para a sociedade (Rocha et al., 2014).

Globalmente as áreas agrícolas ocupam 36,5% da extensão da terra (Blum, 2013). Essa grande área, antes considerada apenas para a produção de alimentos, agora é vista como cada vez mais importante para o fornecimento de bens e serviços ecossistêmicos locais e globais. A qualidade e o volume desses serviços dependem não apenas da quantidade de terra ocupada, pois quanto mais terras ocupadas, maiores serão os impactos, depende também das

estratégias e práticas de gestão da terra utilizadas na produção (Dumanski, e Peiretti, 2013).

Todas as abordagens com o objetivo de reduzir danos ao solo são aceitas, visto que um sistema de produção para ser considerado sustentável deve começar promovendo primeiro um solo ambientalmente saudável. As alternativas são vinculadas a uma rede hierárquica focada em promover uma agricultura global mais ecológica e economicamente viável. O plantio direto é uma prática bastante discutida e estudada no início dos anos 70 (Greenland, 1975; Lal, 1977; Lal, 1976), mas pouco tem-se discutido no âmbito da gestão sustentável da terra, os sistemas agroflorestais (SAFs) ou produção sustentada como promotores de serviços ecossistêmicos e geração de capital (Laudares et al., 2017).

O SAF de cacau tem ganhado o cenário de produção no Brasil, principalmente no Sul da Bahia, Nordeste Brasileiro. Alguns estudos sobre esse sistema foram realizados a fim de demonstrar a viabilidade e impacto econômico na região e no país (Nogueira, 2018). No entanto, precisamos estar atentos aos benefícios ambientais que esse sistema coopera. O estado da Bahia segundo dados do IBGE (2018), possui destaque como produtor de cacau no Brasil, detendo 60% da produção. O cacau teve muita importância na representação da economia nacional, segundo dados da Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (2017).

Apesar do cenário econômico ostentar oscilações, o Sul da Bahia mantém o cacau como sua principal cultura agrícola, e a região aposta no ressurgimento da cultura cacauera como fonte de crescimento e desenvolvimento (Sanches, 2019; Muller e Gama-Rodrigues, 2012). Para tanto, a diversificação de plantios foi estabelecida ao longo dos anos, sendo implantados SAFs para assegurar ao produtor renda aparte do cacau.

As vantagens ambientais e econômicas advindas da diversificação de produtos providos de um SAF de cacau são inúmeras, inclusive, as condições microclimáticas promovidas por este sistema podem acarretar redução de custos com insumos agrícolas, por diminuir a exigência nutricional dos solos (Piasentin et al., 2014). Segundo Sanches (2019) e Piasentin e Saito (2014), nos SAFs, há maior número de espécies arbóreas por unidade de áreas, além de ser uma das estratégias apreciáveis do mercado de carbono global por meio do MDL (Torres et

al., 2014), por serem eficientes na estocagem de carbono e logo redução dos GEEs.

Embora o modelo de SAF de cacau historicamente seja um modelo economicamente aceito (Sanches, 2019), há necessidade de investigação sobre a capacidade dos solos sob este sistema em estocar carbono e explorar o potencial desse sistema promover ainda mais renda e vantagem ecológica ao produtor rural e à sociedade por meio de programas ligados às ações de mitigação do efeito estufa que possuem importância global.

2.6. SAFs de Cacau: Eritrina

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é um fruto oriundo do bioma amazônico. Os principais segmentos de produção são: cabruca, eritrina e cacau-seringueira. O sistema cabruca é o mais adotado entre os produtores, cuja base é agroecológica, na qual há preservação do bioma mata atlântica junto à produção agrícola. Com a crise iniciada em 1989, marcada pela chegada da doença vassoura-de-bruxa, a viabilidade econômica e produtividade do sistema cabruca foram ameaçadas.

O modelo cabruca de produção do cacau é responsável pela conservação do bioma mata atlântica, por isso que sua transição acarreta mais risco de degradação. A origem do sistema cabruca está associada à floresta nativa, mas não pode ser definida como uma floresta, mas sim, como uma agrofloresta, por ter produção agrícola (Lobão et al., 2007).

Já os SAFs que envolvem a combinação com eritrinas (*Erythrina* sp.), é implantado a partir da suspensão total da cobertura vegetal da área. Primeiro se inicia o cultivo sob sombra de bananeira (*Musa* sp.) na fase jovem da planta. Milho (*Zea mays*) e mandioca (*Manihot esculenta*) são considerados opções de cultivo por pelo menos de dois a três anos, até que a eritrina seja capaz de fornecer sombreamento definitivo para o cacauzeiro (Müller e Gama-Rodrigues, 2012). A conciliação do cacauzeiro com espécies perenes e de ciclo curto comprova a ótima simetria e completividade de diferentes espécies capazes de formar um modelo diversificado e simples de produção (Müller e Gama-Rodrigues,

2012).

O SAF cacau eritrina possui importância para a recuperação e conservação do solo, por aumentar a concentração de nitrogênio (N) no mesmo por meio da fixação biológica. Em alguns casos dispensa a adição de adubação nitrogenada. (Müller e Gama-Rodrigues 2012; Cabala-Rosand et al., 1988). Mesmo com acentuada mineralização e decomposição (Santana e Cabala-Rosand, 1985) o conteúdo de nutrientes é relevante. Segundo estudos de Fontes et al., (2014), estes sistemas possuem o balanço do N, P, K, Mg, Ca categoricamente favorável, no sul da Bahia.

Desde então interpela-se a viabilidade econômica dos agrossistemas de cacau, e ainda se questiona os caminhos e os desafios para manter ou torná-los viáveis economicamente, para tanto, seria suficiente atingir um bom manejo para aumento da produtividade?

Sanches (2019) criou uma hipótese que relaciona os transtornos da produtividade com a reestruturação da distribuição do valor do produto final – o chocolate. Neste estudo, por outro lado, busca estabelecer e incorporar os métodos econômicos de produção e retorno com a valorização dos potenciais ecológicos que este sistema produz. Assim, trabalhando a hipótese das políticas de mercado precificar as vantagens de um sistema de produção agrícola com capacidade de restaurar e conservar o meio ambiente.

Dentro do estudo da economia voltada para questões ambientais (bioeconomia, economia verde, economia de baixo carbono), está inserida a ciclagem de nutrientes, capacidade da biomassa vegetal e do solo em evitar gastos ao produtor. Evidenciar estes fatos abre um caminho para discussão e possível reestruturação das políticas econômicas, para quem sabe, no futuro possam assimilar a ideia que se traduz, assim: que para que haja futuro e “avanço econômico” é preciso que os sistemas agrícolas de produção sejam sustentáveis. Isto posto, temos as pesquisas e divulgações científicas que agem a favor dessa valorização, a fim de trazer melhorias e benefícios para sociedade atual e para as futuras gerações.

2.7. Sistema Solo como Regulador do Clima Global

O solo é um componente integral dos ecossistemas naturais e trata-se de um componente central dos ecossistemas terrestres, fundamental na manutenção da vida na terra (Kanianska, 2016; Dumanski et al., 2013). Os agroecossistemas e outros ecossistemas gerenciados experimentam pressões, fluxos de energia e dinâmicas diferentes dos sistemas naturais, e esses precisam ser melhor compreendidos não apenas em termos de retorno de capital (rendimento), mas também como consequência de intervenções humanas nesse sistema natural, como é o caso dos SAFs (Prerty e Bharucha, 2014; Bustamante et al., 2012; Gordon et al., 2010; Andrade, 2009).

Aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas necessitam continuamente da agricultura. Sendo que mais de 52% do solo usado para agricultura é severamente afetado pela degradação, causando desertificação, chegando a perder 12 milhões a cada ano, em outros termos, 23 ha por minuto (Nkonya et al., 2015; Barman et al., 2013). No mundo, 3,2 bilhões de pessoas são prejudicadas pela degradação do solo, principalmente os sistemas agrícolas de uso intensivo do solo, incluindo, os pequenos produtores rurais. Estima-se que a população mundial cresça para 9,7 bilhões até 2050 (Vollset et al., 2020; The Lancet, 2020). Assim, com uma demanda contínua por alimentos, produtos agrícolas e combustível, os dados alarmantes tendem a manter-se crescentes.

A degradação do solo representa uma perda nos serviços ecossistêmicos e uma perda de ativos de capital natural (Andrade, 2009). A saúde dos ecossistemas terrestres, definida como integridade do ecossistema, depende dos componentes do ecossistema e da sinergia dos processos entre eles (Baveye et al., 2016). A camada superficial do solo demanda maior cultivo de alimentos do mundo, cerca de 95%, tornando o solo um dos sistemas da biodiversidade mais importantes do mundo (FAO, 2015).

Metade do solo produtivo desapareceu no mundo nos últimos 150 anos, ameaçando o rendimento das colheitas e contribuindo para a poluição das nascentes, perda de nutrientes e erosão (Bhatia e Ghanem, 2019). Segundo a FAO (2020), se o solo continuar a ser degradado na taxa atual, o mundo perderá

as terras potencialmente agricultáveis em cerca de 60 anos. O solo é responsável por fornecer alimento para a população e um solo sem qualidade nutricional é incapaz de fornecer alimentos com alta qualidade nutricional, filtrar a água e absorver carbono atmosférico (Pimentel e Burgess, 2013).

Após a transformação da floresta em terra agrícola, 35% do carbono do solo armazenado nos 7 cm superiores são perdidos, aumentando a emissão de GEE (Marques et al., 2015; Houghton et al., 2012; Shevliakova et al., 2009). Embora os primeiros cálculos do efeito GEE tenham sido publicados em 1896 (Arrhenius, 1896), somente na década de 70 que a contribuição dos solos no orçamento global de GEE foi reconhecida e ganhou foco (Hutchinson e Mosier, 1979).

Foram iniciadas investigações locais individuais que logo ganharam um conjunto de abordagens metodológicas que forneceram uma quantidade crescente de dados e interpretações (Schmidt et al., 2010). Tornou-se progressivamente óbvio que os solos, por suas características físicas, biológicas e químicas são fonte e sumidouro de GEEs, e depois de todos os parâmetros de influência dos solos não poderiam ser negligenciados (IPCC, 2013; Houghton, 1999).

Esta descoberta desencadeou um acordo internacional, no qual os países deveriam relatar à Organização das Nações Unidas (ONU) sobre seus inventários de GEE, incluindo emissões líquidas de solo (Lubbers et al., 2013). Os solos são fundamentais para gerenciar as mudanças climáticas. Eles contêm 2,6 mais C que a atmosfera. As plantas circulam dióxido de carbono (CO_2) do ar para o solo e consomem cerca de um terço do CO_2 produzido pelo homem (Minasny et al., 2013). O C é essencial para a fertilidade do solo e a agricultura (Lal, 2004).

Esta descoberta desencadeou um acordo internacional, no qual os países deveriam relatar a Organização das Nações Unidas (ONU) sobre seus inventários de GEE, incluindo emissões líquidas de solo (Lubbers et al., 2013). Os solos são fundamentais para gerenciar as mudanças climáticas. Eles contêm 2,6 mais C que a atmosfera. As plantas circulam dióxido de carbono (CO_2) do ar para o solo e consomem cerca de um terço do CO_2 produzido pelo homem (Minasny et al., 2013). O C é essencial para a fertilidade do solo e a agricultura (Lal, 2004).

Aumentar o C do solo, significa melhorar a saúde dos solos. Estudos na África, Ásia e América Latina, demonstraram que o aumento do C no solo em

0,4% a cada ano amplificou o rendimento das culturas em 1,3% (Rumpel et al., 2018). Portanto, preservar solos ricos em C e aumentar a porcentagem de C ao restaurar e melhorar os solos agrícolas degradados são desafios fundamentais para enfrentar os obstáculos da adaptação dos sistemas alimentares às mudanças climáticas e à mitigação de emissões antropogênicas (Minasny et al., 2017).

Considerando estes fatos, a COP-21, que ocorreu na França que iniciou no dia 1º de dezembro de 2015, foi apresentada a iniciativa internacional: "4 por 1000", na qual consiste em federar todas as partes interessadas voluntárias dos setores público e privado (governos nacionais, governos locais e regionais, empresas, organizações comerciais, ONGs, pesquisa). etc.) no âmbito do Plano de Ação Lima- Paris (LPAP). A principal finalidade da iniciativa é demonstrar que os solos agrícolas desempenham um papel decisivo à segurança alimentar e às mudanças climáticas (4p. 1000, 2018).

Existe uma compreensão crescente do papel importante dos solos como sumidouros e fontes, principalmente para CO₂. Por isso, a ferramenta mais precisa que temos para sustentar o fato de que o solo influencia o clima global é o estudo dele como estoque de carbono (Reimann et al., 2014). A eliminação de práticas agrícolas convencionais no solo, associada ao uso de espécies florestais com frequente aporte de resíduos vegetais, normalmente resulta em maior estabilidade de agregados.

Os agregados do solo favorecem a proteção física do C, mantendo-o estocado no solo em longo prazo (Gama-Rodrigues et al., 2010). Essa proteção física é promovida pelos macro e microagregados, que consistem em um mecanismo de estabilização do C no solo (Six et al., 2000, 2004). Os SAFs de cacau e eritrina são apontados como grandes produtoras de biomassa e possuem imenso potencial em estocar C, podendo chegar a 39,27 Mg ha⁻¹ de C armazenados na biomassa (Salgado, 2016).

Segundo Gama-Rodrigues et al., (2010), SAFs com cacau são capazes de estocar 300 Mg ha⁻¹ C em 100 cm de profundidade, assemelhando-se aos estoques de uma floresta natural. Monroe et al. (2016) quantificaram o estoque de C em SAFs de cacau cabruca e eritrina, encontraram valores superiores aos estocados em uma floresta secundária. Assim, as dinâmicas do carbono orgânico

do solo (COS) são modificadas com a transição de uma floresta natural para um sistema agrícola de produção (Vicente et al., 2013).

Estudos de Salgado, (2016) mostraram que os macroagregados do solo em SAFs seringueira+açaí na profundidade de 40 cm e 100 cm foram a fração que mais estocou C em relação ao plantio de seringueira e no SAF seringueira e seringueira+cacau na profundidade 100 cm apresentaram as maiores quantidades de C ocluso nos microagregados com 21, 20 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Segundo Barreto et al. (2011), a eficiência que os agrossistemas de cacau têm de estocar C, é devido à capacidade de desfolha, e, portanto, de formar serrapilheira o ano todo. Portanto, o solo participa de mecanismos fundamentais para mitigação do efeito estufa (Gama-Rodrigues et al., 2010), então, a implantação de uma agrofloresta em ambientes que foram perturbados por técnicas agrícolas convencionais, como revolvimento do solo, é indicada para aumentar a matéria orgânica do solo que é via fundamental para estabilização dos agregados do mesmo (Vicente et al., 2013), visto que a quantidade de material depositado no solo interfere em seu estoque de C.

2.8. As conferências das partes - COPs

A primeira COP ocorreu em 1995, em Berlim- Alemanha. Houve participação de 117 países, tendo como enfoque principal ações mais precisas quanto a mitigação do efeito estufa entre outras resoluções. Em 1997 que ocorreu a COP3 em Quioto, no Japão, que ficou marcado o acordo entre as Partes, e foram definidas metas e prazos para redução de GEE, estabelecido como Protocolo de Quito (Vital, 2018). O trâmite para criação deste protocolo iniciou em 16 de março de 1998, mas entrou em vigor somente em 16 de fevereiro de 2005 (MMA, 2018).

O objetivo das conferências é verificar o cumprimento dos tratados e traçar novas metas, e por isso a agenda parisiense é importante, pois através dela que se pode criar propostas concretas que dêem continuidade às sínteses que abordam estas questões tão urgentes. O principal gargalo das próximas conferências é fazer com que não seja mais um acordo baseado em

multilateralismo e promessas distantes de se comprometer. Para esta agilidade as COPs precisam de participação de organizações e movimentos sociais (Miguez e Andrade, 2018).

No mundo das COPs, os danos a biodiversidade e a crise climática são abordados em conferências separadas e específicas para o tema, mas no caso do Brasil, que é considerado um país biodiverso, em que o uso do solo e manejo da vegetação é responsável por 46% das emissões de gases de efeitos estufa, essas crises, estão inevitavelmente ligadas, assim como as possíveis soluções. Esta característica, coloca o Brasil em um lugar estratégico para investimentos verdes e climáticos (Artaxo, 2020).

A função das florestas, agroflorestas (SAFs) e da biodiversidade entrou na rede de negociações climáticas na COP26 em Glasgow, com a Declaração dos Líderes de Glasgow sobre Florestas e Uso do Solo. Foram mais de 100 países que fizeram o compromisso de parar e reverter a degradação das florestas do mundo, o Brasil foi um desses países. Porém, o desmatamento aumentou exponencialmente nos últimos anos, principalmente na Amazônia. Se continuar nesse ritmo, não haverá possibilidade de zerá-lo até 2028, que foi o prazo que o governo brasileiro estipulou na COP26. Somente frear o desmatamento com intensificação do combate às ilegalidades não é suficiente. É necessário promover uma nova bioeconomia para fomentar renda e emprego para as populações, com agregação de valor e lucro a partir dos processos produtivos da floresta e conservação do solo (Fante et al., 2022; Schembergue et al., 2022).

Os compromissos assumidos pelos países no Acordo de Paris – a contribuição nacionalmente determinada – as NDCs– são o instrumento básico para medir a proposta de um país para enfrentar as mudanças climáticas. A previsão é que os países, gradualmente, aumentem suas ambições. No entanto, o Brasil não apresentou aumento da ambição de suas metas nas últimas COPs (COP23 a COP26), assim, o Brasil entrou para a lista dos países estagnados nas ações de mitigação dos problemas relacionados ao clima. Mesmo durante a pandemia de Covid-19, houve um acréscimo considerável das emissões de gases de efeito estufa (Kumar et al., 2022) e o permanente aumento do desmatamento confirma o retrocesso (Horta et al., 2023).

O Brasil submeteu uma NDC em março de 2022 para a COP27,

apontando os compromissos: diminuição das emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e 50% em 2030 contrapondo as emissões de 2005, almejando alcançar a neutralidade de carbono até 2050. Significa que a atual NDC ainda detém, virtualmente, a ambição igualmente submetida em 2016 para o ano de 2050. O instrumento que mede os avanços e retrocessos para o clima -Climate Action Tracker, afirmou que esses compromissos são insuficientes para alcançar a meta de 1,5°C e não condiz com a conformidade de redução de emissões que o Brasil precisa realizar (Feist e Geden, 2023).

A COP 28 tem previsão de ocorrer a partir de 30 de novembro de 2023 em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, de acordo com o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a expectativa, é de que mais atuações sólidas ocorram, quando comparado com a COP 27, quando as negociações mais importantes não saíram do papel. Espera-se que a discussão central da COP 28 tenha como foco o Acordo de Paris, e as nações consequências práticas das ações do acordo, que possui a finalidade de limitar a elevação da temperatura do planeta a 1,5°C, até 2050.

O esperado é que os países presentes na COP28, cumpram as ambições com urgência, considerando a justiça climática e os direitos sociais e humanos, principalmente povos indígenas e comunidades mais afetadas pelos impactos das mudanças no clima. O Brasil pode exercer uma função duplamente positiva nesse processo, acrescentando sua ambição e cumprindo o combate ao aquecimento global e, desta forma, trazer financiamento e recursos para uma nova economia de baixo carbono e admitir um desempenho de protagonista nas negociações (Piester 2023; Fesit e Geden 2023). Apesar do cenário de estagnação, ainda está em tempo do Brasil apresentar compromissos correspondentes com a ambição climática necessária para colocar o mundo na rota de limitar as mudanças climáticas, reassumindo o papel histórico de liderança nas negociações que já teve no passado.

2.9. Mercado de Baixo Carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limp-MDL

O mercado de carbono surgiu em 1960, através de discussões do economista estadunidense Ronaldo Coase, no qual argumentava que um passo na resolução das questões de poluição ambiental seria a atribuição de valor como parte do processo de produção. Outros economistas entraram em acordo, como JH Dales e Thomas Crocker, com propostas de limites de poluição determinados pelo governo dos Estados Unidos da América (EUA). Os esquemas para comercialização da poluição só foram elaborados em 1970, porém fracassaram (Torres et al., 2016; Souza, 2013).

Na década de 90, houve a criação de um sistema nacional para comercialização de óxidos de enxofre, no qual licenças de emissões foram doadas para as empresas, realizado com o objetivo de combater o evento de chuva ácida. Este esquema serviu como modelo para a elaboração do comércio de carbono. Então, a partir dessa década o mercado de carbono passou a ser discutido no âmbito do Protocolo de Quioto, sendo estabelecido como ferramenta basilar para superação das mudanças climáticas (Torres et al., 2016).

Nesse contexto, através do Protocolo de Quioto, foram estabelecidos “mecanismos de flexibilização” relacionados ao mercado de carbono, em que será discutido o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), no qual um dos eixos está relacionado às plantações florestais como instrumento para atingir metas de redução de GEE (Torres et al., 2016).

No âmbito do Protocolo de Quioto, o MDL possibilita que um país com um compromisso de redução obtenha Reduções Certificadas de Emissões (RCE) concebidas por projetos executados em países não pertencentes ao acordo. Isto significa que os países participantes deveriam reduzir as emissões de CO₂, para gerar ativos financeiros negociáveis denominados RCE. Estes créditos podem ser usados para cumprir a meta de redução no protocolo ou podem ser vendidos (Miguez, 2018).

A diminuição de emissões e/ou CO₂ evitado decorrente da atuação do projeto é medida em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂ eq). Isto significa que uma unidade de RCE é igual a uma tonelada de dióxido de carbono, esta unidade é determinada pelo conselho executivo do MDL (UNFCCC, 2012). Para tanto, o MDL estimula a redução das missões por conceder aos países industrializados alguma flexibilidade para atingi metas de redução de emissões

(CQNUMC).

Para os projetos serem aprovados, necessitam passar por pelo menos sete etapas, a primeira delas trata-se da concepção do projeto, no qual o representante executa o preenchimento de formulários desenvolvido pelo Conselho Executivo do Mecanismo. Caso seja necessário o proponente realizar uma nova metodologia, antes, deverá passar pela Entidade Operacional Designada (EOD) para análise e permissão do Conselho Executivo e, caso seja validada, então a metodologia será registrada (Souza et al., 2013).

A segunda fase é a validação do projeto, em que deverá passar por uma EOD, que significa passar por uma entidade de certificação independente, que avaliará o projeto de acordo com as normas do MDL e das medidas do Protocolo de Quioto. Na terceira etapa, o proponente deverá apresentar a carta de aprovação a Autoridade Nacional Designada (AND), que é a Comissão Interministerial sobre Mudança Global do Clima (CIMGG), responsável por ratificar o projeto (Torres et al., 2016).

A quarta etapa, consiste na aprovação do registro submetida pela EOD ao conselho executivo do MDL. Na quinta etapa, o monitoramento das emissões deve ser realizado pelo próprio proponente, conforme a metodologia aprovada. A sexta, trata-se da verificação de reduções pela EOD para fornecer a certificação, e a sétima etapa é a submissão do relatório de apuração ao Conselho Executivo do MDL da CQNUMC, requerendo a expedição de Redução Certificada de Emissões (Torres et al., 2016).

Em 2013 houve uma proposta brasileira, que tratou de um novo mecanismo de compensação de emissões, semelhante ao MDL, porém, com funções expandidas (Grossi et al., 2019; Miguez e Andrade, 2018). Iniciou-se a articulação para um novo MDL, chamado de mecanismo de desenvolvimento sustentável (MDS). O Brasil, junto a outros países, argumentou que o MDL sob o Acordo de Paris deveria ser atualizado. E, defendeu que os projetos do novo MDL fossem restritos e sediados por países em desenvolvimento, para que fossem incluídos os países que possuísem metas absolutas, que é o caso do Brasil.

Com isto, o Brasil ganharia privilégios, por pertencer ao grupo de países em desenvolvimento com metas absolutas, sendo possível então, sediar os projetos do novo MDL e comprar créditos de C. (CNI, 2019. Grossi et al., 2019).

As atividades que englobam, portanto, os projetos de MDS precisam contribuir para o auxílio da contribuição nacionalmente determinada (NDC), que trata da comunicação mais importante sobre as metas individuais assumidas pelas partes do Acordo de Paris. Assim, a parte anfitriã deverá considerar que as RCEs são efetivamente utilizadas em serviço da NDC de outra parte. Dentre os objetivos principais do MDS, um deles é facilitar e incentivar a participação do setor privado, autoridades públicas e sociedade civil e conseqüentemente expandir a ambição da parte (Grossi et al., 2019; CNI, 2019).

Quanto ao registro do MDS também terá que receber as unidades RCEs que foram expedidas pelo MDL e convertidas para o MDS para efetivação do acordo no âmbito do Protocolo de Quioto. Isso atrairia confiança do setor privado e expandiria a ação pré-2020, com prerrogativas ambientais mais rigorosas. Ficou acertado que se não tiver transferência dos registros de certificação de emissão do MDS para uma segunda parte, o país hospedeiro bloqueará o benefício de redução, se adquirir RCEs por meio de projetos em seu território, poderá utilizar essas demandas para a execução de sua própria NDC (Miguez e Andrade, 2018)..

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O SAF cacau+eritrina com 20 anos de idade localizado no município de Itajuípe no sul da Bahia (14° 0' S and 39° 2' W) sob Latossolo distrófico vermelho-amarelo (*Dystrophic Reddish-Yellow Latosols - Oxisol – clayey infertile soils*) foi utilizado no presente trabalho. Os dados de C para atender os objetivos descritos acima foram extraídos de Fontes et al., (2014). O clima da região estudada é tipo Af (tropical úmido ou superúmido) de acordo com a classificação de Köppen, com pluviosidade média de 1500 mm, podendo ocorrer estiagem no verão, dezembro a fevereiro, e maior volume de precipitação no inverno, junho a agosto (Nimer, 1972).

A plantação de Cacau foi estabelecida com derruba total da floresta e orientada com espaçamento regular de 3x3m com 1.111 plantas/ha. Para o sombreamento provisório foram implantadas espécies de bananeira e o sombreamento definitivo foi constituído de árvores de eritrina (*Erythrina glauca* e *Erythrina poeppigiana*). A densidade do sombreamento definitivo foi de 35 plantas/ha e de cacauzeiros de 1.111 plantas/ha. Este sistema não recebeu adubação por 10 anos antes da coleta do solo.

A valoração econômica foi realizada de acordo com Rezende e Oliveira (2008) e Silva et al. (2005). A primeira análise considera apenas a produção do cacau como receita. A segunda análise, além da produção do cacau, considerouse o crédito de carbono obtido a partir dos valores de estoque de carbono do solo.

Para análise econômica do estoque de carbono deste SAF foi considerado o estoque de 92,65 t ha⁻¹ até 50 cm de profundidade (Fontes et al., 2014). O estocado foi convertido em CO₂ equivalente (CO₂eq) multiplicando-se o total de carbono estocado por 44/12 (razão do peso molecular do CO₂ e do carbono) (Valdetaro et al., 2011). Esse valor foi dividido pela idade do SAF para se obter a quantidade de CO₂ equivalente (CO₂. eq) por ano, estocado no solo do sistema, que neste caso foi de 16,98.

3.2. Etapas para a Valoração Econômica

i. Fluxo de Caixa e Taxa de Desconto

O fluxo de caixa (FC) é a estimativa de custos e receitas do sistema implantado e foi calculado por um período de 20 anos. A diferença entre os custos e as receitas representa o resultado líquido do fluxo de caixa que pode ser rentável ou não (Santos et al., 2002). Estes dados foram ordenados anualmente, com todas as entradas e saídas do caixa ao longo de todo período de implantação do SAF cacau-eritrina.

ii. Composição dos Custos

Todos os dados de custos para implantação do SAF cacau+eritrina: preparo da área, aquisição de mudas, tratamentos culturais e colheita (em um hectare) foram utilizados para realizar a análise econômica e tiveram como referência a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC. Os preços foram corrigidos segundo o Índice Geral de Preços (IGP-DI-2019), que é responsável em registrar a inflação de preços para matérias-primas agrícolas e industriais, bens e serviços finais.

Para mensurar o custo do projeto para obtenção do CERs foi considerado o valor máximo de sequestro de C para o projeto florestal (Lessa et al., 2016) que é: 16.000 tCO₂ eq./ano. Este valor foi dividido pelo valor de CO₂ eq. do sistema

analisado, para assim, obter a área precisa para a captação de 16.000tCO₂ eq./ano (1).

$$\text{Área} = \frac{\text{tCO}_2 \text{ eq. ano}}{\text{CO}_2} \quad (1)$$

O custo fixo de projeto para obtenção de CERs foi o mesmo considerado por Cotta et al. (2006), US\$260.000, este valor foi dividido pela área plantada necessária para a obtenção de 16.000tCO₂ eq./ano (2).

$$\text{Custo por área} = \frac{260.000}{\text{Área}} \quad (2)$$

A conversão de dólar em reais foi efetivada tendo em conta a menor cotação do dólar alcançada em 2021 (R\$ 4,9), segundo o Banco Central do Brasil.

iii. Composição das Receitas

As receitas foram provenientes da produção do cacau, e da obtenção e negociação dos créditos de carbono (pela conversão em CO₂ eq como descrito acima). Foram considerados seis cenários de produção: cenário 1 (CEN1) - baixa produção: 20@ com CERs ; cenário 2 (CEN2) - baixa produção: 20@ sem CERs ; cenário 3 (CEN3) - média produção: 48@ com CERs; cenário 4 (CEN4) - média produção: 48@ sem CERs; cenário 5(CEN5) - alta produção: 80@ sem CERs e cenário 6 (CEN6) - alta produção: 80@ com CERs. Os dados de produção foram obtidos através da referência da Comissão Executiva do Plano Lavoura Cacaueira- CEPLAC e Informações complementares foram obtidas em Cotta et al. (2008), Virgens Filho (2002) e Agrianual (2004).

Foram realizadas pesquisas de mercado para obtenção dos preços, considerando os valores médios de 2021, que foi R\$ 235,00/@ de cacau

segundo a bolsa de Nova Iorque (NYBOT) e o site de cotações agropecuárias Agrolink. Foi adotado o preço médio de tonelada de CO₂ eq. de 10 Euros, considerando a menor cotação de 2021.

A seguir serão apresentados os seguintes indicadores econômicos que foram calculados para a análise econômica da presente proposta.

3.3. Indicadores Econômicos

i Valor Presente Líquido - VPL

O método do VPL serve para indicar a diferença positiva entre as receitas e os custos atualizados a determinada taxa de desconto, portanto, é capaz de definir a viabilidade econômica de um projeto. Se o VPL do projeto for positivo a determinada taxa de juros, ele será economicamente viável (3).

$$VPL = \sum_{j=1}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=1}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (3)$$

Em que: VPL= valor presente líquido; R_j = receita no ano j; C_j = custo no ano j; i= taxa de desconto; j = período de ocorrência do custo ou da receita; e n= duração do projeto, em anos.

ii Taxa Interna de Retorno – TIR

A TIR, representada pela equação 4, é uma técnica de análise de investimentos que retrata a rentabilidade interna de um projeto, atingido pelo desconto do fluxo de caixa observado nos períodos de análise e que anule o valor do investimento inicial atingido (Evangelista, 2006). Portanto, a taxa interna de retorno (TIR) obtida pelo projeto pode ser comparada à taxa mínima de atratividade (TMA) desejada (a 6%), para tomada de decisão de investimento (TIR > TMA) (Sviech e Mantovan, 2013). ou ainda, atribuída como taxa de retorno para

o investidor (4).

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+TIR)^t} \quad (4)$$

Em que: R_j = receita no ano j ; C_j = custo no ano j ; i = taxa de desconto; j = período de ocorrência do custo ou da receita; e n = duração do projeto, em anos.

iii. Valor Anual Equivalente - VAE

O VAE é um indicador que transforma o VPL em um fluxo anual e constante de receitas e/ou custos, de duração igual ao horizonte do projeto (Fajardo e Timofeiczky, 2012). O projeto só será viável se o VAE for positivo, este valor é obtido através da equação (5).

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{[1 - (1+i)^{-n}]} \quad (5)$$

Em que: VAE = valor anual equivalente; VPL = valor presente líquido; i = taxa de desconto; e n = duração do projeto, em anos.

iv. Razão Benefício-Custo (B/C)

A Relação Benefício-Custo (B/C) equação 6, se refere à divisão dos benefícios atualizados descontados pela taxa de juros pelos custos anuais. É possível inferir que o empreendimento se apresenta viável quando $(B/C) > 1$, indicando que o valor presente dos benefícios é superior ao valor presente dos custos, ou seja, uma conclusão maior que um resultará em receitas superiores aos custos e se forem menores que um, os custos serão maiores que as receitas. Portanto, o projeto será economicamente viável se apresentar valor de B/C maior que a unidade, sendo que será considerado viável se o valor for maior (6).

$$B / C = \sum_{j=1}^n R_j(1+i)^{-j} / \sum_{j=1}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (6)$$

Em que B/C = razão benefício-custo à taxa de desconto i ; R_j = receita no final do ano j ou do período considerado; C_j = custo no final do ano j ou do período considerado; i = taxa de desconto; e n = duração do projeto, em anos.

v. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade analisa e quantifica e avalia as alterações que são prefixadas em diversos elementos do projeto que sejam capazes de alterar o resultado (Buarque, 1991) de todos os cenários analisados (CEN1 à CEN6).

Sendo possível estimar de que forma as modificações de que cada coeficiente técnico pode influenciar na rentabilidade dos fluxos de caixa no sistema de produção agroflorestal de cacau. Assim, esta análise consiste em determinar um indicador a sensibilizar, cuja determinação será realizada em função dos parâmetros e variáveis selecionados.

Sabe-se que a produtividade, insumos e preços são ferramentas que possuem comportamento de variação, que por sua vez, pode afetar positiva ou negativamente o fluxo de caixa. Considerando a dificuldade em prever os níveis dessa variação de preços ao longo dos anos e aferir os custos de oportunidade de um determinado serviço ou insumo, o método da análise de sensibilidade é muito utilizado para medir a variação dos preços, uma vez que, esta análise possibilita estimar a alteração de um indicador através da substituição específica de uma variável tanto em matéria relativa como em termos absolutos (Pareja, 2009).

Para tanto, será adotada uma sentença numérica de variação para mais ou menos de 10%. Os valores pessimistas serão considerados em termos à rentabilidade: com elevação de 5% a 60%, para itens de custos, e redução de 5% e 60%, para os itens de receitas, o que permitirá aferir a sensibilidade sob à Taxa Interna de Retorno (TIR). E deste modo, pode-se apontar que esta análise

identificará as variáveis que determinam o sucesso do SAF cacau-+eritrina.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fluxo de caixa acumulado – Cenários baixa, média e alta produção

O fluxo de caixa do SAF cacau+eritrina diferiu entre os cenários econômicos estudados sem e com a inclusão dos CERs. O desempenho do fluxo de caixa deste estudo corresponde à projeção dos projetos agroflorestais em que normalmente há um investimento alto nos primeiros anos para adquirir receitas a longo prazo, devido ao investimento na implantação do sistema e do gasto com insumos e mão de obra. Este fato ocorreu em todas as projeções realizadas neste estudo (baixa, média e alta produção) (Tabela 1).

Nos cenários de baixa, média e alta produção, com e sem a inclusão dos créditos de C no 4º ano a receita tornou-se positiva, no entanto, no quinto 5º ano ocorreu um decréscimo sem o CERs de R\$ 450,00 para R\$ 30 e com CERs de R\$ 1.098,64 para R\$ 678,64 (CEN1 e CEN2). Mas a partir do 6º ano, o fluxo acumulado aumenta nos anos seguintes onde os sistemas passam a apresentar uma receita maior que os custos. Ao final de 20 anos se obtém um fluxo de caixa acumulado, no qual aumentou com a inclusão dos CERs em 10%, 6% e 4%, nos cenários baixo, médio e alto, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Projeções em seis cenários econômicos da área Cacau Eritrina - Latossolo, Com e Sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs) ao longo de 20 anos

Ano	Baixo	Baixo	Médio	Médio Custo	Alto Custo	Alto Custo
	Custo	Custo	Custo	Cacau-	Cacau-	Cacau-
	Cacau-	Cacau-	Cacau-	Eritrina	Eritrina	Eritrina
	Sem CERs	Com CERs	Sem CERs	Com CERs	Sem CERs	Com CERs
1	-11.560,00	-11.411,36	-20.565,00	-20.696,36	-33.280,00	-33.631,36
2	-1.425,00	-776,36	-1.920,00	-1.271,36	-2.575,00	-1.926,36
3	-1.060,00	-411,36	-1.620,00	-971,36	-2.045,00	-1.396,36
4	450,00	1.098,64	1.885,00	2.533,64	3.385,00	4.033,64
5	30,00	678,64	2.150,00	2.798,64	4.275,00	4.923,64
6	220,00	868,64	3.700,00	4.348,64	7.395,00	8.043,64
7	240,00	888,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
8	240,00	888,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
9	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
10	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
11	1.320,00	1.968,64	5.780,00	6.428,64	10.535,00	11.183,64
12	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
13	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
14	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
15	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64

Tabela 1, Cont.;

Ano	Baixo Custo Cacau- Eritrina Sem CERs	Baixo Custo Cacau- Eritrina Com CERs	Médio Custo Cacau- Eritrina Sem CERs	Médio Custo Cacau- Eritrina Com CERs	Alto Custo Cacau- Eritrina Sem CERs	Alto Custo Cacau- Eritrina Com CERs
16	1.320,00	1.968,64	5.780,00	6.428,64	10.535,00	11.183,64
17	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
18	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
19	1.340,00	1.988,64	5.800,00	6.448,64	10.555,00	11.203,64
20	6.340,00	6.988,64	10.800,00	11.448,64	15.555,00	16.203,64

Os resultados positivos a partir do 4º ano podem ser justificados pela cultura do cacau apresentar nos primeiros anos do seu ciclo de desenvolvimento um período ainda vegetativo, sem a época de frutificação e então a consequente colheita que resultaria na receita dos primeiros anos. Outro fator que justifica é que a fase de implantação do cacauzeiro é o período de maior demanda de mão de obra. A partir dessa ocasião cessam as culturas anuais e semiperenes e permanecem as culturas perenes, frutíferas e arbóreas lenhosas no agroecossistemas (Garcia et al, 2021).

No cenário de baixa produção, com relação ao decréscimo da receita no quinto ano adveio do fato que no quarto ano não há controle da vassoura-de-bruxa, mas no quinto ano é um gasto adicional. A partir do 6º ano o fluxo de caixa volta a crescer mesmo tendo controle, isto porque a receita passa a ser maior do que o custo do 5º ano, embora tenham o mesmo custo, a receita difere. A Erythrina possui irregularidades no sombreamento (excesso de sombra) dos cacauzeiros, favorecendo o ataque e disseminação de pragas e doenças como vassoura-de-bruxa (Pereira e Valle, 2012). Por isso, este sistema exige, do agricultor, alta mão de obra para tratamentos culturais manuais, como podas e controle

de pragas, a fim de amenizar o reflexo negativo sobre a produtividade (Monteiro et al, 2011).

A mão de obra é um fator decisivo para o planejamento do produtor, pois corresponde à despesa mais relevante nos SAFs, assim, deve-se avaliar culturas que demandam menor contratos de mão de obra externa (Arco-Verde e Amaro 2014, 2015). Neves et al. (2014) explicam que os custos elevados da fase inicial de implantação dos SAFs de cacau podem ser contrabalançados com sua diluição ao longo dos anos de exploração do sistema. Mesmo que parte das atividades de mão de obra sejam realizadas pela própria família, isto representa o custo de oportunidade (Palma et al. 2020; Garcia et al., 2020), uma vez que possui um caráter subjetivo, pois depende da estrutura familiar e social do agricultor.

Ademais, pode-se observar que quando não se considerou a obtenção do CERs os valores do fluxo foram menores, ainda que se obtivesse entrada de receitas com fluxo de caixa positivo. Assim, o estoque de C no solo, como serviço ecossistêmico gerado pelo sistema configura-se como uma receita adicional, que busca não somente o equilíbrio sustentável do agroecossistema como também o viés socioeconômico a esses produtores. Este menor valor de fluxo de caixa é comum quando os serviços ecossistêmicos gerados pelo sistema de produção adotado não são incluídos na valoração econômica (Cotta, 2005).

Considerando ainda a baixa produção com a inserção da valoração do C, o retorno foi mais vantajoso em relação aos produtores maiores (média e alta produção). O investimento inicial do pequeno produtor (que representa a baixa produção) é menor em relação aos outros dois cenários, em decorrência da falta de capital para investir na implantação e manutenção do sistema. Consequentemente tem-se um baixo retorno, porém, com a valoração do SE, o produtor conquista maior impacto nos ganhos e na renda.

Ao final dos 20 anos, o sistema demonstra uma elevação nos valores, demonstrando a importância da terra como recurso que deve ser mensurado, afinal no final do ciclo, ou da projeção proposta, o produtor ainda possui esse bem econômico, e se formos considerar, há também a relevância de ser um solo que ao longo dos anos foi passível de manejo e ciclagem de nutrientes, que é mais um serviço ecossistêmico que pode ser valorado.

Reforça-se ainda que estes dados demonstram que a não inclusão dos ativos naturais principalmente em pequenas áreas de produção nas análises econômicas, assim como as despesas implícitas do capital próprio e do trabalho do produtor no fluxo de caixa pode levar a tomadas de decisões inadequadas que intensificam a desistência e abandono de propriedades que desempenham atividades agroflorestais (Oliveira et al., 2020).

Sendo assim, a análise de viabilidade na perspectiva de valoração dos serviços ecossistêmicos pode subsidiar incentivos para conservação dos SAFs, na expansão e competitividade da atividade agrícola de forma sustentável com a utilização eficiente dos ativos. Através do fluxo de caixa observamos que os empreendimentos rurais pequenos sofrem uma disfuncionalidade sistêmica (social, econômico e ambiental) em que mesmo com a inclusão dos CERs não há retorno suficiente para manter a viabilidade do sistema. As áreas de produção com SAFs são verdadeiras fontes de enriquecimento ao solo e portanto, abundante em ativos naturais. Assim, apenas um olhar bioeconômico é capaz de transpor e municiar os custos e ganhos da propriedade (Santana, 2020).

De certo modo, esses dados observados corroboram com Santana (2020) que menciona sobre como os custos de oportunidade dos ativos naturais como ar, água e estoque de C no solo deveriam ser considerados e apropriados pelos produtores que aproveitam esses recursos nos SAFs, já que estes sistemas reduzem e impedem consequências ambientais irrecuperáveis, pois ao contrário dos resultados de sistemas tradicionais de monocultivo de lavouras e pecuária extensiva, os SAFs são considerados um sistema sustentável.

Um dos indicadores de sustentabilidade dos SAFs advém da alta capacidade em estocar carbono em distintas formas de uso do solo como pastagens e cultivos agrícolas (Palm et al., 2004). A remoção da cobertura vegetal e o manejo inadequado do solo elevam as perdas do carbono estocado em um curto espaço de tempo. Ao contrário disto, o funcionamento apropriado de SAFs fornece uma melhor ciclagem de nutrientes e manutenção da diversidade de fauna e flora em níveis similares ao de ecossistemas naturais (Brancher, 2010).

Os SAFs são fontes de matéria orgânica e armazenamento de C (Zomer et al., 2016; Coelho, 2017), além de mitigar efeito estufa, o armazenamento de C proporcionam equilíbrio da microflora e ciclagem de nutrientes, favorecendo a

fertilidade natural do solo (Barros, 2013). Assim, além dos SAFs constituírem uma importante alternativa à produção de alimentos, gera renda aos produtores rurais através dos ativos naturais (Udawatta et al., 2019; Padovan et al., 2019).

O sequestro de carbono como serviço ambiental sujeita-se dos critérios de avaliação utilizados e da diversidade dos SAFs, podendo ocorrer em maior ou menor intensidade (Mcginley e Finegan, 2002). Estudos a respeito da capacidade dos SAFs em prestar serviços ambientais podem gerar subsídios para que esses sistemas de produção sejam considerados essenciais e impulsione políticas voltadas em especial aos pequenos produtores, incorporando aos benefícios ambientais atribuídos do ponto de vista social e econômico (Brancher, 2010).

4.2. VPL, TIR, VAE e B/C – Cenário baixo, médio e alta produção

No SAF cacau-eritrina baixa produção, o VPL apresentou um valor negativo de R\$ - 3.848,41 sem CERs passando a ficar positivo com a adição dos CER's (R\$ 3.537,79) (Tabela 2).

Observa-se que na TIR (Tabela 2), no cenário de baixa produção tem um valor menor que a TMA, que é a taxa de juros utilizada neste trabalho (6%), o que indica que sem a inclusão dos CERs, a produção do SAF é menos atrativa economicamente do que se conseguiria no mercado financeiro. A taxa da Selic condiciona o processo de viabilidade: só é viável se o projeto apresentar a TMA maior do que a taxa estipulada ou maior que a própria taxa Selic. Dessa forma, essa taxa impacta os juros pagos quando se faz um financiamento ou empréstimo e também altera o rendimento de quem tem dinheiro investido.

Tabela 2. Projeções em seis cenários econômicos (baixo, médio e alto custo) da área Eritrina - Latossolo, com e sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno, VAE = Valor Annual Equivalente, B/C = Razão Custo/Benefício

CENÁRIO S	CRÉDITOS DE CARBONO	VPL (R\$)	TIR (%)	VAE	B/C
<i>Baixa produção</i>	sem CERs	-3.848,41	3,40	-335,52	0,91
	com CERs	3.537,79	8,34	308,44	1,08
<i>Média produção</i>	sem CERs	24.150,84	13,70	2.105,58	1,34
	com CERs	31.257,03	15,88	2.725,13	1,44
<i>Alta produção</i>	sem CERs	49.170,46	15,57	4.286,91	1,46
	com CERs	56.056,66	16,81	4.887,28	1,51

No entanto, se considerar o valor agregado do serviço ecossistêmico (CERs), a TIR tem um aumento de 45,3 % no cenário baixo, 15,9 % no médio e de 7,1% para o cenário de alta produção (Tabela 2). O que mostra que o valor agregado do estoque de carbono no solo pode aumentar o interesse econômico sobre este sistema de produção, evidenciando que um investimento nos SAFs produz um retorno financeiro.

O valor de VAE no cenário baixa produção, demonstrou que o projeto sem os CERs apresentou uma rentabilidade negativa anual/ha de R\$ -335,52, e de R\$ 308,44 com a inclusão dos CERs. Sem a inclusão dos CERs a rentabilidade da produção média e alta foi de R\$ 2.105,58 e R\$ 4.286,91, e com a inclusão dos CERs o VAE aumentou 29% e 14%, nesta ordem (Tabela 2).

Para ser considerado viável um projeto necessita ter uma relação B/C maior que uma unidade, se o valor for igual a R\$ 1,00, significa que as receitas se equiparam aos custos, não sendo um projeto lucrativo. Ou seja, quanto maior essa relação maior o lucro do produtor. Na relação B/C observou-se para o

cenário de baixa produção, que cada um real investido na atividade sem a inclusão dos CERs, o produtor tem um retorno de 0,91 centavos, mostrando-se inviável. Já os cenários de média e alta produção mostraram-se viáveis mesmo sem a inclusão dos CERs, em que se obteve-se R\$ 1,34 e R\$ 1,46, nesta ordem. Quando incluso os CERs a atividade tem um retorno de 18,7%, 7,5% e 3,4% para baixa, média e alta produção, respectivamente (Tabela 2).

Os resultados dos indicadores econômicos avaliados demonstram que a inclusão dos CERs não apenas proporciona maior viabilidade do sistema, como torna-o viável. Assim, estes dados justificam que o serviço ecossistêmico é um atrativo para planejar investimentos em projetos com SAFs ainda que sejam de baixa produção. Desta forma, esta atividade pode ser praticada por pequenos produtores rurais, pois se acrescida a vantagem dos ativos ambientais torna-se imediatamente rentável. É uma atividade que equivale a uma renda extra, podendo contar com a mão de obra familiar e desenvolver em consonância com outras atividades na propriedade rural.

Dos cenários analisados o mais vantajoso economicamente seria o cenário de alta produção, no entanto, ele por si só já apresenta viabilidade mesmo sem considerar os ganhos com CERs. Os cenários que mais foram favorecidos com o adendo da valoração do C, no sentido de viabilizar e aumentar a receita foram o baixa e média produção. Observa-se que após a inclusão dos CER's o sistema cacau-eritrina de baixa produção é o que apresenta mais ganhos dos índices econômicos, comparado aos cacau-eritrina média e alta produção, tendo um aumento significativo dos índices.

Esta impressão dá-se devido a não viabilidade econômica antes do CERs, não deixando de ser preocupante a situação do pequeno produtor. Ocorre que não é que o SAF cacau-eritrina seja inviável para pequenos agricultores, mas que os custos de implantação e manutenção são elevados. Na perspectiva de custo de implantação, a forma mais eficiente de compensar os custos é valorando os serviços ecossistêmicos, visto que os gastos iniciais são inevitáveis.

Deve-se salientar que neste estudo foi considerado as receitas advindas somente da cultura do cacau, podendo o produtor selecionar as espécies não perenes adequadas para sua região para obter receitas adicionais, já que uma das principais vantagens dos SAFs é a capacidade de diversificação de receitas sem

que interfira no desenvolvimento e produtividade das espécies perenes.

No sul da Bahia os SAFs de cacau+eritrina vem sendo substituídos por SAFs de cacau-seringueira, pois a eritrina possui a desvantagem de competir com os cacauzeiros por nutrientes, luz e água (Silva e Kummerow, 1998; Marques e Monteiro, 2016). A produtividade dos SAFs de cacau também é afetada pelas ausências de qualidade do sombreamento, que prejudica a capacidade produtiva da lavoura. Outros atrativos para substituição destes SAFs cacau+eritrina por SAFs cacau-seringueira em detrimento das desvantagens é o manejo difícil por causa dos espinhos da eritrina e o fato da seringueira oferecer mais uma fonte de receita com a extração do látex (Marques e Monteiro, 2016).

Assim, a valoração dos serviços ecossistêmicos apresenta-se como uma alternativa em situações de baixa produtividade e escassez de alimentos por meio do modelo de integração da floresta com culturas agrícolas (Almeida et al., 1995; Santos, 2000). Os SAFs de cacau de modo geral necessitam de sombreamento, estudos comprovam que sistemas à pleno sol tem sua produtividade reduzida (Arévalo et al., 2007). Portanto, ao favorecer o microambiente produz uma série de benefícios ao solo e à micro e macrofauna que através disso surgem outros ativos naturais que podem ser valorados (Andrade e Fasiaben, 2009).

Apesar do custo elevado de implementação e manutenção dos SAFs, a valoração do estoque de C (venda dos CERs do projeto) é capaz de abater os custos de implantação (Cotta et al., 2006). Santos e Midlej (2016) evidenciaram que as receitas provenientes de uma área com 700 cacauzeiros por hectare remuneram apenas os custos operacionais de produção, e em lavouras com 500 cacauzeiros por hectare, não se paga nem os custos de produção. Estes dados estão de acordo com este estudo em que a lavoura baixa produção foi admitida 500/plantas/hectare e não se mostrou viável sem a inclusão dos CERs.

Segundo estudos de Zugaib (2011) e Muller e Gama-Rodrigues (2012), os sistemas que adotam o cacauzeiro como principal renda só serão viáveis economicamente em áreas com mais de 1000 cacauzeiros por hectare, que é a quantidade admitida para alta produção, nas quais o emprego de tecnologia é adotada. Estes estudos destacam ainda que a viabilidade só ocorre em lavouras com produtividade acima de 42@/ha, ainda que seja apenas a remuneração dos

custos operacionais, que concorda com os resultados deste projeto, no qual a viabilidade econômica só foi possível no cenário com maior número de plantas por hectare (média e alta produção) ainda que os CERs não fossem considerados.

Segundo a CEPLAC a produtividade estimada varia de acordo com a implantação de plantas no sistema (Paraense, 2013), por exemplo, uma área com 1100 plantas por hectare estima-se que produza 88@ de cacau, considerado um cenário de alta produção (Okabe et al., 2004). Da mesma forma é esperado que a quantidade de árvores influencie no estoque de C, devido a variação e deposição de serapilheira e sombreamento que favorece o microclima edáfico para formação de matéria orgânica do solo, e conseqüente aumento do estoque de C no solo (Freitas et al., 2016; Chaves et al., 2016; Pantoja et al., 2017).

Os dados de estoque de C deste estudo foram padronizados (16,98 CO₂.eq), independente da capacidade e investimento de produção em um hectare nos cenários de produção considerados (baixa, média e alta produção). Significa que, neste projeto, embora haja mais árvores no sistema de alta produção em relação aos cenários média e baixa produção o estoque permanece o mesmo. Admitindo essas projeções, a valoração do estoque de carbono agregou positivamente em todos os cenários, demonstrando que a elaboração de um projeto de estoque de C de acordo com as possibilidades e realidades desta natureza poderá agregar uma renda ainda maior do que o sugerido nestes resultados.

Este estudo observa a ausência de renda proveniente do cacau nos primeiros anos, uma vez que este aspecto desmotiva o agricultor, que necessitam de renda todo o ano e o ano inteiro. A geração de receitas no início dos projetos de SAFs é basilar para adesão de mais produtores rurais no processo. Isso sugere ainda que o produtor tenha assistência técnica esclarecida para propor representações de SAFs que sejam apropriados para região, tal como considerar as requisições de mercado e aptidão do agricultor (Paulus et al., 2021).

Desta forma, o retorno do investimento será maior em todos os cenários ao se valorar o estoque de carbono no solo. Observa-se que o pequeno produtor foi o que mais se beneficiou, considerando o fato de que houve um avanço de B/C não economicamente viável para minimamente viável após a inclusão do CERs, ao

obter B/C de R\$ 1,08. Nos demais cenários a atividade elevou o retorno para R\$ 1,43 no SAF média produção e R\$1,50 no sistema alta produção, resultando em um retorno do investimento ainda maior ao se valorar o estoque de carbono no solo.

Para que as atividades de SAFs cacau sejam mais atrativas nos primeiros meses do projeto, Castro Neto et al. (2017) e Paulus et al. (2021) sugerem que o produtor implante no sistema o consórcio com culturas de curto ciclo como hortaliças e cucurbitáceas. Nos SAFs eritrina do sul da Bahia normalmente cultiva-se mandioca (*Manihot esculenta*) e milho (*Zea mays*), até que as eritrinas forneçam sombra suficiente (Muller e Gama- Rodrigues, 2012). Oliveira et al. (2021) constatou que a combinação de várias atividades em uma mesma unidade de área representa um desempenho econômico superior dos SAFs, isto resulta na diminuição do uso de insumos químicos, controle da erosão e consequentemente menor perda de nutrientes do solo que geram redução do custo médio e aumento de produtividade.

4.3. Análise de Sensibilidade

As Tabelas 3; 4; 5; 6; 7 e 8 apresentam os resultados da análise de sensibilidade do SAF- cacau+eritrina em seis cenários, em que foi observado a tomada de decisão de se investir ou não nesta atividade, assim como o efeito sobre a TIR, considerando uma variação, no sentido desfavorável, a partir do ponto em que as especificações (mão de obra, insumos, preço, obtenção dos créditos e preço dos créditos de carbono) se mostraram mais sensíveis.

Foram considerados por ordem de importância em nível de sensibilidade, que variaram de 5% a 60%, já que os itens testados (mão de obra, mecanização, sementes, terra, preço do cacau e crédito de carbono) são afetados de acordo com o cenário financeiro (baixo, médio e alto) no SAF cacau+eritrina. A simulação foi efetuada considerando variações em um ou mais parâmetros, verificando-se, em que configuração e em que proporções essas variáveis afetaram os resultados.

O preço de venda do cacau foi a variável de maior impacto sobre a rentabilidade dos sistemas. No SAF cacau+eritrina de baixa produtividade (Tabela 3), todas as especificações se mostraram sensíveis, uma redução de 10% no preço do cacau provocaria um decréscimo de 94% no VPL e reduziria em 2,58 pontos percentuais a TIR.

Tabela 3. Projeções do cenário 1 (CEN1) baixa produção da área Cacau-Eritrina, sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN1- Sem CERs				
Análise de Sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL(R\$)
10%	Mão-de-obra	1,52	1,87	-6.430,34
	Mecanização	3,05	-1,54	-4.368,70
	Sementes + saco	3,17	-0,11	-4.278,88
	Terra	3,13	0,04	-4.348,41
	Preço do cacau @	0,55	2,58	-7.449,53

No CEN2, ao adicionar o CERs, a mão de obra mostrou-se sensível a 15% e o preço do cacau permanece sendo a variável mais afetada, alcançando um VPL negativo à 10% em relação ao preço do cacau. Nas projeções de preço do cacau mais o crédito de C (5% a 10%), também se mostram sensíveis à 10%, com uma variação na TIR de 2,52%.

Tabela 4. Projeções do cenário 2 (CEN2) baixa produção da área Cacau-Eritrina, com a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN 2 – Com CERs				
Análise de Sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL(R\$)
6%	Mão-de-obra	6,65	1,68	955,86
	Mecanização	7,92	-1,27	3.017,50
	Sementes + saco	8,03	-0,11	3.132,79
	Obtenção de crédito	8,30	-0,27	3.487,79
	Terra	7,96	0,34	3.037,79
	Mão-de-obra	5,77	2,56	-335,11
	Mecanização	7,82	-2,05	2.757,35

15%	Sementes + saco	7,85	-0,03	2.892,08
	Obtenção de crédito	8,28	-0,43	3.462,79
	Terra	7,77	0,51	2.787,79
-5%	Preço do cacau @	7,19	1,14	1.737,23
	Crédito de carbono	8,08	-1,43	3.143,48
	Preço do cacau + crédito	6,92	1,00	1.342,92
-10%	Preço do cacau @	5,95	2,38	-63,33
	Crédito de carbono	7,82	-1,17	2.749,17
	Preço do cacau + crédito	5,40	2,52	-851,95

No CEN3 (Tabela 5) as especificações mão de obra, mecanização, sementes+saco e valor da terra sem CERs, mantiveram-se VPL positivo de até 52%, já o preço do cacau manteve um VPL positivo com a redução de -20% a -25%, tendo variação percentual da TIR de 5,64% e -6,21%, respectivamente. Mas com redução de 26% mostrou-se imediatamente sensível, com VPL negativo e variação da TIR, de -5,84%. A mão de obra demonstrou sensibilidade a 53%, sem o CERs.

Tabela 5. Projeções do cenário 3 (CEN3) média produção da área Cacau-Eritrina, sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN3- Sem CERs				
Análise de Sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL(R\$)
50%	Mão-de-obra	6,45	7,26	1.306,13
	Mecanização	12,32	-5,87	19.867,66
	Sementes + saco	11,23	1,09	18.480,85
	Terra	12,50	-1,27	21.650,84
52%	Mão-de-obra	6,14	7,57	392,34
	Mecanização	12,27	-6,13	19.696,33
	Sementes + saco	11,15	1,12	18.254,05
	Terra	12,45	-1,30	21.550,84
53%	Mão-de-obra	5,98	7,73	-64,55
	Mecanização	12,24	-6,26	19.610,67
	Sementes + saco	11,10	1,14	18.140,65
	Terra	12,43	-1,33	21.500,84
- 20%	Preço do cacau @	8,07	5,64	5.532,03
-25%	Preço do cacau @	6,35	-6,21	877,33
-26%	Preço do cacau @	5,98	-5,84	-53,61

No CEN4 (Tabela 6) as demais especificações mantiveram-se com VPL positivo, após adicionar os CERs, a mão de obra só foi sensível à partir de 69% enquanto o preço do cacau + crédito de C foi sensível à - 34%, com variação percentual da TIR de 10,34%. Nos CEN5 (Tabela 7), as especificações mão de obra, mecanização, sementes saco e valor da terra, mantiveram-se VPL positivo de até 65%, demonstrando que o preço do cacau e a mão de obra mostraram-se os mais sensíveis, tornando-se negativo à partir de 66%. As demais especificações não tiveram seus VPLs negativados neste cenário. No preço do cacau uma redução a partir de -32% deixaria o VPL negativo.

Dessa forma, ao incorrer juros (VPL e TIR), a receita dos CERs é afetada minimamente em relação aos custos do projeto. Outro aspecto é o período de aplicação dos juros que se refere as receitas e os custos, visto que os CERs são postos à venda no primeiro ano, como consequência acabam sofrendo menos influência da taxa de desconto, resultados semelhantes também foram obtidos por Cotta (2008).

Tabela 6. Projeções do cenário 4 (CEN4) média produção da área Cacau-Eritrina, sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN4 – Com CERs				
Análise de Sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL(R\$)
60%	Mão-de-obra	7,33	8,55	3.843,38
	Mecanização	14,21	-6,88	26.117,22
	Sementes + saco	12,69	1,52	24.453,04
	Obtenção CERs	15,62	-2,93	30.789,03
	Terra	14,28	1,34	28.257,03
68%	Mão-de-obra	6,07	9,81	188,22
	Mecanização	13,99	-7,92	25.431,91
	Sementes + saco	12,33	1,66	23.545,84
	Obtenção de crédito	15,58	-3,25	30.726,63
	Terra	14,08	1,50	27.857,03
69%	Mão-de-obra	5,91	9,98	-268,67
	Mecanização	13,96	-8,05	25.346,25
	Sementes + saco	12,330	1,63	23.543,84
	Obtenção CERs	15,80	-3,47	30.726,63
	Terra	14,08	1,72	27.857,03
-30%	Preço do cacau @	7,34	8,54	3.328,82
	Crédito de carbono	15,10	-7,76	28.891,18
	Preço + crédito	6,39	8,71	962,96
-34%	Preço do cacau @	5,34	10,54	-394,94
	Crédito de carbono	15,00	-9,66	28.575,73
	Preço + crédito	4,70	10,30	-3.076,25

Tabela 7. Projeções do cenário 5 (CEN5) alta produção da área Cacau-Eritrina, sem a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN5-Sem CERs				
Análise de sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL
60%	Mão-de-obra	6,89	8,678	4.301,42
	Mecanização	14,32	-7,430	43.033,43
	Sementes + saco	12,46	1,860	38.406,48
	Terra	14,57	-2,110	46.170,47
65%	Mão-de-obra	6,12	9,44	562,33
	Mecanização	14,21	-8,09	42.522,01
	Sementes + saco	12,24	1,97	37.509,48
	Terra	14,49	-2,25	45.920,47
66%	Mão-de-obra	5,96	9,60	-185,49
	Mecanização	14,19	-8,23	42.419,73
	Sementes + saco	12,20	1,99	37.330,08
	Terra	14,47	-2,27	45.870,47
-30%	Preço do cacau @	6,64	8,92	2.530,06
-31%	Preço do cacau @	6,25	9,31	975,38
-32%	Preço do cacau @	6,25	9,31	-579,30

Com a inclusão dos CERs, no CEN6 (Tabela 8), a resistência à sensibilidade aumenta (como em todos os cenários) e a redução da mão de obra obtêm um VPL negativo a partir de 75%, e variação percentual da TIR de 10,81 %. Já no preço do cacau a projeção de -36% reduziu o VPL, mas somente ao adicionar o preço crédito de C tornou-se negativo. O preço do cacau sozinho torna-se negativo à -37% em diante, com variação percentual da TIR de 11,19%. Considerando a inclusão dos CERs em todos os cenários, foi observado que o decréscimo do VPL e da TIR foi atenuado (Tabelas 3-8). Ao analisar a receita proveniente dos CERs, quando se reduz o preço do cacau nas diversas projeções sugeridas, o decréscimo do VPL e da TIR é maior em todos os sistemas. Isto significa que o efeito do preço do cacau, que é a variável de maior impacto, pode ser minimizado com os CERs. Observa-se também que o preço do CERs é uma variável que gera um menor impacto na viabilidade do sistema, comparada ao preço do cacau e da mão de obra, mas que significa que o preço do crédito de C agrega valor econômico ao sistema. Estes resultados sugerem também, que a receita derivada dos CERs concebe um proveito menor ao se

comparar com o custo total o investimento.

O impacto do preço de venda da *commodity* cacau sobre a rentabilidade dos sistemas produtivos foi notado nestas análises com alto índice de sensibilidade o preço de venda é observado em outras atividades agrícolas como o mais instável e especulativo, ou seja, de menor controle aos produtores, tratando-se do segmento que abrange questões “depois da porteira”, que compreendem processos de comercialização e logística do produto até passarem pela industrialização (Araújo, 2010), além das incertezas e sazonalidades inerentes à agricultura como questões políticas, climáticas e de manejo (Silva et al., 2021).

Tabela 8. Projeções do cenário 6 (CEN6) média produção da área Cacau-Eritrina, com a inclusão de Créditos de Carbono (CERs). VPL = Valor Presente Líquido, TIR = Taxa Interna de Retorno.

CEN6- Com CERs				
Análise de sensibilidade	Especificação	TIR original (%)	Variação percentual (%)	VPL
60%	Mão-de-obra	8,28	8,52	11.187,61
	Mecanização	15,55	-7,27	49.919,62
	Sementes + saco	13,53	2,02	45.292,67
	Terra	15,75	-2,22	53.056,66
74%	Mão-de-obra	6,15	10,65	718,17
	Mecanização	15,26	-9,11	48.487,65
	Sementes + saco	12,90	2,36	42.781,07
	Terra	15,52	-2,62	52.356,66
75%	Mão-de-obra	5,99	10,81	-29,65
	Mecanização	15,24	-9,25	48.385,36
	Sementes + saco	12,86	2,38	42.601,67
	Terra	15,50	-2,64	52.306,66
-30%	Preço do cacau @	8,32	8,84	9.416,25
	Crédito de Carbono	16,31	-7,99	53.690,80
	Preço+ Crédito	7,34	8,97	7.050,39
-36%	Preço do cacau @	6,02	10,78	88,17
	Crédito de Carbono	16,23	-10,21	53.217,63
	Preço+ Crédito	5,27	-10,96	-2.750,86
-37%	Preço do cacau @	5,61	11,19	-1.466,51
	Crédito de Carbono	16,22	10,2	53.138,77
	Preço+ Crédito	4,82	11,41	-4.384,40

As diversas formas de comercialização e a otimização dos manejos praticados na cultura do cacau podem servir como estratégias para amenizar a instabilidade do preço pago ao produtor e minimizar os custos de produção. Um dos planejamentos indispensáveis no cacau é a parte relacionada a da venda do produto. As estratégias de venda podem diminuir os custos de logística e em alguns casos podem apresentar preços superiores. Isto vai depender do volume de colheita também, pois ocorre que o preço em varejo é maior que em atacado (Silva et al., 2021).

O segundo item que se destacou como mais importante foi a mão de obra. Para tanto, é importante inferir sobre o impacto nos custos com gerenciamento técnico, insumos e manutenção do sistema. Em contrapartida, os custos de menor impacto foram as operações mecanizadas. O destaque econômico dos custos da mão de obra pode ser justificado, neste caso, pelo alto custo das operações de manejo na cultura do cacau, como as podas e colheitas, que são atividades em que a mão de obra é indispensável. O melhor planejamento dessa e de outras operações, como organização durante as podas e colheitas gera otimização dos custos com mão de obra, reduz o erro de custos superfaturados ou abaixo do necessário ao longo dos anos.

O cacauzeiro exige muita mão de obra, conforme discutido anteriormente, e este fator eleva os custos de implantação e manutenção dos SAFs de cacau. Neste estudo os principais custos foram com mão de obra, que foi utilizado como referência o valor atual de mercado da diária no meio rural (R\$ 65,00). A quantidade de homens depende do número de plantas por hectare, pois os tratamentos culturais aumentam de forma geral, além da incidência da vassoura de bruxa, os custos mais altos com mão de obra são principalmente com roçagem química, poda, remoção da vassoura de bruxa 3 vezes ao ano, colheita e beneficiamento, além da correção do sombreamento, aplicação de inseticida, aplicação de fungicida, adubação, calagem e desbrota.

Ainda que o número de plantas seja 800 plantas por hectare (baixa produção), os SAFs de cacau-eritrina exigem mão de obra considerável em razão de estarem inviabilizado a adoção de importantes práticas culturais para o manejo integrado da doença a ponto de comprometer o potencial de produção (Marques e Monteiro 2016; Pereira e Valle, 2012) com direta relação à iniciativa adotada pela

CEPLAC de inserir dos clones resistentes, utilizados no processo de renovação. Sistemas frutíferos no geral requerem mão de obra especializada (Monteiro et al., 2011; Perroni et al., 2017).

Paulus et al. (2021) testaram quatro arranjos agroflorestais biodiversos, dentre eles SAFs de cacau, no qual demonstraram que os custos com mão de obra são maiores do que com os insumos. Arco-Verde e Amaro (2014) ao analisar as despesas geradas pelos SAFs, concluíram que a mão de obra é consideravelmente mais alta nos primeiros anos. Outrossim, é válido ressaltar a importância nos custos de investimento, a participação das instalações do sistema principalmente relacionado ao sombreamento do cacau, que representam cerca de 20% do valor do investimento inicial, haja vista que para o bom desempenho do cacau, em função das condições edafoclimáticas da Bahia, a não realização desta etapa prejudica a frutificação do cacau (Melo, 2019).

Para que ocorra uma boa frutificação e produtividade do cacau deve haver sombra para proteção direta dos raios solares, principalmente no início da implantação. O sombreamento provisório quanto o permanente precisa ser implantado de seis meses a um ano antes do plantio da lavoura cacauera. O recomendado nos primeiros estágios de desenvolvimento da muda é a entrada de luz de 25% a 50%. Quando as plantas estiverem maiores, a quantidade de luz deve ser de 70%, o que deve ser feito por meio de desbastes e podas das espécies usadas como sombreamento. A não realização destes tratamentos culturais prejudicam o desenvolvimento da lavoura, pois favorece também a incidência de pragas e doenças (Dias et al., 2003; Muller e Gama-Rodrigues, 2012).

4.4. Considerações finais: Inclusão da Valoração dos Serviços Ecossistêmicos nos SAFs

Balbino et al. (2011) destaca alguns benefícios econômicos gerados pela adoção dos SAFs que vem além das questões ambientais, como: dinamização de vários setores da economia, principalmente em nível regional, redução de riscos em razão de melhorias nas condições de produção e da diversificação de atividades comerciais, melhoria da imagem da produção agropecuária e dos

produtos brasileiros, pois concilia atividade produtiva e meio ambiente, melhores vantagens comparativas na inserção das questões ambientais nas discussões e negociações na Organização Mundial do Comércio (OMC). Desta forma as práticas de SAFs devem ser muito valorizadas e incentivadas pelas instituições governamentais, pois gera benefício social-ambiental abrangente que beneficiará o hoje e as gerações futuras (Silva, 2015).

Com respeito a valoração dos serviços ecossistêmicos (SE) está relacionado aos ganhos ambientais, além do sequestro de carbono com redução da emissão de gases de efeito estufa através do CERs, há recuperação da qualidade e da capacidade produtiva do solo, maior infiltração de água das chuvas, redução do processo erosivo e diversificação da produção e minimização dos riscos climáticos (Romano, 2010).

Tratando de redução de custos, o trabalho de Oliveira (2021) observou que os produtores de SAFs reduziram o uso de fertilizantes e adubos químicos, assim como houve diminuição da incidência de pragas e utilização de agrotóxicos. Estes dados concordam com o censo IBGE (2019) no qual 38% das propriedades que possuem SAFs no município de Tomé Açu-PA não utilizam adubação alguma e 84% dos estabelecimentos não utilizam agrotóxico.

Almeida (2010) ainda relaciona benefícios sociais, uma vez que estes sistemas tornam o ambiente do entorno mais agradável, quer seja pelos benefícios ambientais diretos, quer seja pelos benefícios econômicos que resultam. Assim, amplia-se a percepção de qualidade de vida das pessoas do local, podendo contribuir para a diminuição do êxodo rural, além de poder dinamizar o comércio local. Em relação a valoração do C nos sistemas, principalmente em áreas de pequena produção de cacau, além de propiciar oportunidade de se desenvolver um olhar para valoração dos demais serviços ecossistêmicos gerados pelos SAFs.

Todos os serviços e benefícios provocados pelos SAFs não são capturados pelo mercado econômico, por esse motivo criou-se categorias de serviços ecossistêmicos que foram definidos como: valor de uso direto, o qual resulta do uso direto da biodiversidade, como atividades de colheita dos recursos naturais; valor de uso indireto, que abrangem de forma ampla, as funções ecológicas da biodiversidade, como proteção de bacias hidrográficas,

estabilização climática, sequestro de carbono; valor de opção, em que decorre da opção de usar o recurso natural no futuro, podendo os usos futuros serem diretos ou indiretos; e o valor de não-uso que é atribuído pelas pessoas aos recursos ambientais, sem que estejam ligados a alguns de seus usos; inclui os valores de herança e de existência (Furlan,2010).

Para tanto, por estes SEs não possuírem preço de mercado é preciso expressar um modelo específico para valoração dos serviços ecossistêmicos, que consiste no Modelo Integrado de Avaliação Contingente (MIAC), já aplicado nos estudos de Santana (2015; 2018; 2020), Santana et al. (2016), Santana et al. (2017) e Santana (2015), Santana et al. (2016) e Santana et al. (2017), Santana e Khan (1992), Carson (2012), Groot et al. (2012), Bentes et al. (2014), Rosa et al. (2016), Begot (2018) e Oliveira et al. (2020).

No qual Santana (2021) expressa um método composto de diversas variáveis nas dimensões econômica, social e ambiental. Em que a econômica é representada pela variável renda e a variável dummy, esta variável toma o valor de “zero” ou “um” indicando a ausência ou presença de qualidades ou atributos. A variável social é representada pelas variáveis idade, sexo, tempo que vive no local, educação, atividade principal como fonte de renda e local de origem e a variável ambiental é representada pelo indicador ambiental e incluiu 12 variáveis relacionadas à proteção de bacias hidrográficas e qualidade da água, conservação e recomposição da biodiversidade, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, utilização de agrotóxicos, uso de fertilizantes e adubos químicos, uso sustentável da terra na Amazônia, qualidade de vida da população, SAFs como geração de emprego e renda, belezas cênicas e atrativo turístico.

Segundo Costanza et al. (1997) e Santana (2020), os serviços ecossistêmicos não podem ser aumentados ou diminuídos pelo sistema econômico, suas curvas de oferta são quase verticais. A análise de custos e benefícios sociais permite valorar ativos naturais de forma a maximizar o bem-estar inserindo custos e benefícios externos (externalidades positivas e negativas) que são desprezados na análise privada e por isso tendem a subestimar o valor econômico dos ativos naturais. Na análise do comportamento das linhas de oferta e demanda para o ativo natural dos sistemas agroflorestais, os produtos e

serviços que possuem preços de mercado já possuem representação e valor, já a dos serviços ecossistêmicos dos SAFs em que há um fluxo contínuo de oferta dos serviços é necessário ser dimensionado nessas condições (econômica, social e ambiental).

O conceito e a prática de serviços ecossistêmicos também podem ter um uso estratégico em planos de governos com a finalidade de melhorar a efetividade de suas políticas que tenham o objetivo de criar uma abordagem mais estratégica com relação às questões ambientais (Munk, 2015). Desta forma, compete aos órgãos de apoio às agroflorestas incentivar esse tipo de atividade e valoração.

Esta estratégia foi usada pelo Reino Unido, em que foi criado um plano de ação para a integração da abordagem ecossistêmica, em termos dos benefícios providos para a sociedade e para prosperidade econômica (UK NEA, 2014). Essa ação do Reino Unido é um reflexo da Estratégia para Biodiversidade da União Europeia (UE) que incluiu a necessidade de os países reconhecerem seus serviços ecossistêmicos com o mapeamento e valoração deles (European Commission, 2020). A Comissão Europeia adotou uma estratégia ambiciosa visando travar a perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos até 2020, restaurando-os quando possível e colaborando para diminuição da redução da biodiversidade global (Munk, 2015).

As políticas de incentivo a valoração dos serviços ecossistêmicos dependem da pressão internacional e nacional. Em dezembro de 2020 a câmara aprovou o projeto que cria a política nacional de pagamento por serviços ambientais (PNPSA), destinada a também auxiliar agricultores familiares, que abrange o manejo sustentável de sistemas agrícolas e agroflorestais que contribuam para captura e retenção de carbono. Após isso, instaurou-se Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais para adequá-las à nova política que entrou em vigor (Câmara Legislativa, 2020).

O ministério do Meio Ambiente lançou em outubro do ano de 2021 a modalidade Floresta+ Agro, cuja proposta é reconhecer os serviços ambientais realizados por produtores rurais e incentivar o pagamento por essas atividades. O Floresta+ Agro funciona de maneira complementar ao PNPSA. Esta iniciativa ocorreu em meio a críticas ao governo brasileiro sobre o plano climático, em que o

Brasil foi o único do G20 que recuou na promessa de cortar emissões de carbono e não reduziu o desmatamento ilegal (Lopes, 2021).

Todas estas políticas são capazes de integrar instrumentos de gerência e controle, cooperando com a valorização dos ativos ambientais, ademais ocasionar benefícios aos fornecedores desses serviços, principalmente as populações vulneráveis, (Forest Trends, Grupo Katoomba e Pnuma, 2008).

Santos et al. (2012) e Coelho (2021) realizaram levantamentos sobre a efetividade e regulações de programas de PSA desenvolvidos no Brasil e a maior parte dos instrumentos avaliados previam apoio a serviços ambientais de forma extensa, com algumas exceções mais ligadas a sequestro ou conservação de estoque de C. Os beneficiários que repetidamente são citados nas leis, trata-se de proprietários e possuidores de terra, assentados, comunidades tradicionais e agricultores familiares. No entanto, poucas leis detalham sobre as divisões fundiárias elegíveis para projetos e ações apoiáveis de pagamento de serviços ambientais.

Os aspectos comuns observados nos estudos realizados sobre PSA relacionado ao crédito de carbono, é a indigência de determinar quem serão os beneficiários de pagamentos. De forma geral o problema se centra na ausência de citações quanto à transparência e distribuição equitativa de benefícios. Outro fator que foi observado, é ausência de mecanismos de verificação, como por exemplo, como a remuneração deve ser realizada após a prestação de um serviço ambiental, é primordial que haja um determinado tipo detalhamento de conferência da entrega desse serviço (Coelho, 2021).

Para se estabelecer um PSA eficiente quanto a valoração do SE é necessário que sejam esclarecidos e estabelecidos os critérios de cálculos, considerando os estudos científicos, pesquisas acadêmicas como já aqui citados. A elucidação das fontes dos recursos, arranjo institucional, fontes de recursos, beneficiários, categorias fundiárias elegíveis para os programas, requisitos de acesso ao recebimento de benefício, remuneração e critério de cálculo, assim como sistemas de verificação de prestação do serviço e salvaguardas socioambientais (Santos et al., 2012). É também fundamental a investigação sobre o funcionamento destes programas para o acesso do pequeno produtor,

pois para realização destas atividades são necessárias iniciativas políticas e pressão para que sejam mais abrangentes e concretas.

Através do Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês) que foram estabelecidos os critérios determinação das espécies florestais que se enquadram para os projetos agroflorestais de sequestro de C, e o cacau não está enquadrado nestas espécies (Caletini et al, 2012). Mas duas soluções existem, a primeira, para que de forma mais abrangente os SAFs de cacau sejam reconhecidos mundialmente como sumidouros de C, seria a participação do Brasil de forma mais veemente nas conferências sobre o mercado de C mundial, e fixar iniciativas para inserção dos sistemas de produção mais eficientes do país, no qual os SAFs de cacau estão inclusos, nestas normas.

A segunda solução seria implementar leis nacionais mais claras, mas com a necessidade de esclarecer e melhorar os critérios já apontados neste estudo. Para todas essas ações é necessário considerar as pesquisas acadêmicas desenvolvidas no Brasil sobre a eficiência dos SAFs de cacau de gerar e manter serviços ecossistêmicos (Oliveira, 2021; Hespanhol et al., 2020), e considerar as metodologias propostas pela comunidade científica do Brasil e do mundo para valoração do estoque de C do solo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os estudos científicos comprovam que o aumento dos GEEs - Gases de efeito estufa são os responsáveis pelas mudanças climáticas, estes estudos alertam a necessidade de práticas e medidas que controlem o efeito desses gases. Os SAFs, demonstram eficiência no estoque de C no solo e na biomassa vegetal por um grande período de tempo, e por isso possuem potencial para projetos com fins de créditos de carbono através do Mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL, que é um pagamento por serviço ambiental reconhecido mundialmente.

Portanto, os serviços ecossistêmicos que envolvem estes SAFs devem ser vistos com interação direta com a economia. É preciso valorar também este serviço para que sirva como parâmetro para posterior enquadramento nas normas das instituições que regem a valoração dos serviços ecossistêmicos, além de abrir caminho para a conscientização dos produtores para optar por um sistema de produção que priorize o manejo sustentável.

Se tratando do ponto de vista econômico (viabilidade econômica) foi observado neste estudo a importância de inserir os serviços ecossistêmicos principalmente em áreas de baixa produção. Nos cenários médio e alta vemos que os sistemas são viáveis e lucrativos mesmo sem a inclusão dos CERs. Conclui-se, então, que valorar o estoque de C em sistemas agroflorestais de cacau+eritrina é viável e observa-se valor os serviços ecossistêmicos é fundamental em todos os cenários, visto que, os SAFs são um sistema que administram bem os recursos ambientais e ainda mantêm e produz ativos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agriannual (2004) *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 456p.
- Akitt, J.W. (2018) Some observations on the greenhouse effect at the Earth's surface. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 188:127–134.
- Albuquerque, A.C.S., Nass, L.L. (2009) The state of use. In: Mariante, A.S.; Sampaio, M.J.A., Inglis, M.C.V. (ed.). *The state of Brazil's plant genetic resources: second national report: conservation and sustainable utilization for food and agriculture*. Brasília, DF: Embrapa Technological Information, p. 81-129.
- Allen, T., Prospero, P. (2016) Modeling Sustainable Food Systems. *Environmental Management*, 57:956–975.
- Almeida, R.G. (2010). Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Conferência: VII *Encontro sobre zootecnia de Mato Grosso do Sul*, 7. Campo grande: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. 1-10p.
- Anderson, T.R., Hawkins, E., Jones, P.D. (2016) CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's

Earth System Models, *Endeavour*, 40(3):178–187.

- Andrade, C.D., Romeiro, A.A. (2009) Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. *Texto para Discussão*. IE/UNICAMP, 159:1-24.
- Andrade, C., Fasiaben, M. (2009) A utilização dos instrumentos de política ambiental para a preservação do meio ambiente: o caso dos pagamentos por serviços ecossistêmicos. *In: Embrapa Informática Agropecuária - Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Encontro da sociedade brasileira de economia ecológica*, 8., 2009, Cuiabá. Aplicando a Economia Ecológica para o desenvolvimento sustentável. [SI: sn], 2009.
- Anghinoni, G., Anghinoni F.B.G., Tormena, C.A., Braccini, A.L., Mendes, I.C., Zancanaro, L., Lal, R. (2021) Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. *Política de Uso da Terra*. 108:105-591.
- Araújo, M.J. (2010) *Fundamentos de Agronegócios*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 20p.
- Araújo, S.I. (2018) *Identificação e valoração de serviços ecossistêmicos no parque das dunas*. Tese – (Mestrado em Geografia) - Natal – RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 98p.
- Arco-Verde, M.F., Amaro, G.C. (2014) *Análise financeira de sistemas produtivos integrados*. Colombo/PR: Embrapa Florestas, 12p.
- Arévalo, E., Ram, A., Monteiro, W.R., Valle, R.R. (2007) Integração de práticas de manejo no cultivo de cacau. *In: VALLE, R.R. (eds), Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro*. Ilhéus: CEPLAC, 467p.
- Arrhenius, S. (1896) On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5:239-276.
- Arrouays, D., Poggio, L., Guerrero, O.A.S., Mulder, V.L. (2020) Digital soil mapping and Global Soil Map main advances and ways forward. *Geoderma Regional*, 21:e00265.
- Artaxo, P. (2020) As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde,

biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, 34:53-66.

- Balbino, L.C., Barcellos, A.O., Stone, L.F. (Ed.).(2011) *Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília, DF: Embrapa, 2011. ISBN 978-85-7383-xxx-x.
- Barman, D., Mandal, S.C., Bhattacharjee, P., Ray, N. (2013) Land Degradation: Its Control, Management and Environmental Benefits of Management. in *Reference to Agriculture and Aquaculture, Environment & Ecology* 31 (2C): 1095-1103, April June 2013. Website: environmentandecology.com. ISSN 0970-0420.
- Barreto, P.A.B., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Fontes, A.G., Polidoro, J.C., Moço, M.K.S., Machado, R.C.R., Baligar, V.C. (2011) Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 81:213-220.
- Batalhone, S.A. (2000) *Valoração Econômica: Uma Abordagem Empírica sobre o Método de Preços Hedônicos e o Valor dos Imóveis Residenciais*. Tese (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Brasília – BSB, Universidade Estadual de Brasília – UnB, 142p.
- Bauhus, J.B., Pokorny, P.J., Van der Meer, P.J., Kanowski. (2010) *Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests*. 1 ed. London: Routledge, 17p.
- Baveye, P.C., Baveye, J., Gowdy, J. (2016) Soil “Ecosystem” Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4:1-49.
- Bellinaso, H., Dematte, J.A.M., Romeiro, S.A. (2009) Soil spectral library and its use in soil classification *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:861–70.
- Bhatia, K., Ghanem, H. (2019) Natural Resource and Environmental Dimensions of Agrifood Systems *In: Krausmann, F. Sustainable Food and Agriculture*. 1. ed. Rome, Italy: Published by Elsevier Inc. All rights reserved, Academic Press, The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), p. 349–377.
- Bispo, A., Andersen, L., Angers, D.A., Bernoux, M., Brossard, M., Cécillon, L., Comans, R.N., Harmsen, J., Jonassen, K., Lamé, F., Lhuillery, C. (2017)

Accounting for carbon stocks in soils and measuring GHGs emission fluxes from soils: do we have the necessary standards? *Frontiers in Environmental Science* 5 (41):1–12.

Blum, W.E.H. (2013) Soil and Land Resources for Agricultural Production: General Trends and Future Scenarios-A Worldwide Perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(3):1–14. Boyd, J., Banzhaf, S. (2007) What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. *Ecological Economics*, 63:616-626.

Brancher, T. (2010). *Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé-Açu*, Tese – (Mestrado em Ciências Ambientais) – Belém – PA, Universidade Federal do Pará - UFPA, 58p.

Brasil. República Federativa do Brasil. *Contribuição pretendida determinada a nível nacional para alcançar o objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas*. 2ª ed. Brasília, DF: Ministério das Relações Internacionais, 2022 [citado 2022 Mar 26]. Disponível em: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=BRA>.

Brasil. Submissões no processo da UNFCCC sobre o artigo 6, 2017, duas submissões efetuadas em <http://unfccc.int>. e nova a ser submetida até a COP-23. Acesso em: dez, 2021.

Brownson, K., Guinessey, E., Carranza, M., Esquivel, M., Hesselbach, H., Madri Ramirez, L., Villa, L. (2019) Pagamentos baseados na comunidade por serviços ecossistêmicos (CB-PES): implicações do envolvimento da comunidade para os resultados do programa. *Ecosystem Services*, 39: 100974.

Bruno, F.M.R., Fraga, J.M.L. (2018) A crise climática, o acordo de Paris e as perspectivas sobre o aquecimento global após a (des)regulamentação ambiental de Washington. *Aurora*, 11:23-48.

Bustamante, M., Nardoto, G., Pinto, A., Resende, J., Takahashi, F., Vieira, L. (2012) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, 72:655–671.

Cabala-Rosand F.P., Santana, C.J.L., Santana, M.B.M. (1984) Novos critérios

para recomendações de fertilizantes e corretivos no Estado da Bahia, Brasil. *IX Int. Cocoa Res. Conf.* 117-123.

Cabala-Rosand, P., Santana, M.B.M., Santana, C.J.L., Chepote, R.E., Nakayama, L.H. (1988). Utilização de adubos e corretivos na cultura do cacau. In: *Manual do extensionista*. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC/Deptº de Extensão, 1:1-22.

Calestini, E.D.N. (2012) A questão dos créditos de carbono e sua viabilidade econômica ambiental Tese – (Mestrado em Geografia Física) – São Paulo – SP, Universidade de São Paulo – USP, 212p.

Câmara Legislativa (2020): Câmara aprova projeto que prevê pagamento a agricultores por serviços ambientais. Fonte: Agência Câmara de Notícias. Link: <https://www.camara.leg.br/noticias/718155-camara-aprova-projeto-que-preve-pagamento-a-agricultores-por-servicos-ambientais/>. Acesso: 10. Mar. 2022.

Carneiro, J.P.S., de Sousa, J.S. (2020) Pagamento de serviços ambientais: uma análise sobre sua implantação. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 9 (18):79-91.

Castro, M.M.D., Villanova, P.H., Ferreira, G.L. (2017). Balanço de carbono–viabilidade econômica de dois sistemas. *Floresta e Ambiente*, 24:e00092114.

Castro Neto, F.D., Jacovine, L.A.G., Torres, C.M.M.E., Oliveira Neto, S.N.D., Castro, B.S., Young, C.E.F., de Souza Pereira, V. (2018) Iniciativas estaduais de pagamentos por serviços ambientais: análise legal e seus resultados. *Revibec- revista iberoamericana de economía ecológica*, 28(2):44–71.

Cerri, C.C., Maia, S.M.F., Galdos, M.V., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Bernoux, M. (2009) Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola*, 66(6):831–843.

Cerri, C.C., Cerri, C.E.P.B. (2007) Agricultura e aquecimento global. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 32,1:40- 44.

Cginley, K., Finegan, B. (2002) *Evaluation for sustainable forest management*. Turrialba, CR CIFOR Catie. 73p.

Chaves, S.D.R., de Paiva, R.D.S.R., Campos, W.D.S., Rodrigues, S.D.C., Vasconcelos, S. (2016) Estoque de raízes, serapilheira e carbono no solo de

sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. In Embrapa Amazônia Oriental - Artigo em anais de congresso. *In: Simpósio De Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia*, 5., 2016, Belém, PA. Anais... Belém, PA: UEPA, 2016. 591-599p.

Chen D., Chang, N., Xiao, J., Zhou, Q., Wu, W. (2019) Mapping dynamics of soil organic matter in croplands with MODIS data and machine learning algorithms *Science of the Total Environment*. 669:844–55.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2019) Contribuição Da Indústria Ao Mecanismo De Desenvolvimento Sustentável No Acordo De Paris,/Confederação Nacional da Indústria. Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS – Brasília: CNI, 2019. 21p.

Coase, R.H. (1960) The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3:1-44.

Coelho, N.R., Gomes, A.D.S., Cassano, C.R., Prado, R.B. (2021) Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26:409-415.

Contador, C.R. (1981) *Avaliação Social de Projetos*. São Paulo: Atlas, 301p.

COP-22 (2016) Conference of the parties to the united nations framework convention on climate change; 12th Conference of the Parties serving as a Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol;| 1 st Conference of the Parties serving as a Meeting of the Parties to the Paris Agreement. Secretariat for Social Communication – International Area – Presidency of the Federative Republic of Brazil Marrakech 7 to 18, November 2016.

Costanza, R., d’Arge, R., De Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., o’Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M. (1997) The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387:253-260.

Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Grasso, M. (2017) Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28:1–16.

- Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Valverde, S.R., Paiva, H.N., Virgens Filho, A. de C., Silva, M.L. (2006) Economic analysis of the rubber-cocoa intercropping for generation of certified emission reduction. *Revista Árvore*, 30(6):969–979.
- Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Valverde, S.R., Paiva, H.N., Virgens Filho, A. de C., Silva, M.L. (2008) Biomass quantification and emission reduction certificates for rubber-cocoa intercropping. *Revista Árvore*, 32:969-978.
- Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Valverde, S.R., Paiva, H.N., Virgens Filho, A. De C., Silva, M.L. (2006). Economic analysis of the rubber-cocoa intercropping for generation of certified emission reduction. *Revista Árvore*, 30(6): 969–979.
- Dambros, V K.K. (2022) *A Nova Lei de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei no 14.119/21): proteção de bens comuns e a função socioambiental da propriedade*. Monografia (Bacharel em Direito) – Brasília, Universidade de Brasília - UNB, 44p.
- Dasgupta, S., Robinson, E.J.Z. (2022) Attributing changes in food insecurity to a changing climate. *Scientific Reports*,12:4709.
- De Oliveira Silva, P.H., Janni, V. (2021) Relação da taxa mínima de atratividade no cenário econômico atual com a viabilidade econômica de projetos. *Boletim do Gerenciamento*, 25(25): 68-75.
- Dias, L.A.S., Souza, S.A.C., Augusto, G.S., Siqueira, R.P., Muller, W.M. (2003) "Período mínimo de colheita para avaliação de cultivares de cacau em Linhares-ES." *Revista Árvore* 27: 495-501.
- Dignac, M.F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G.T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M. (2017) Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(14):1-27.
- Don, A., Schumacher, J., Freibauer, A. (2011) Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks-a meta-analysis. *Global Change Biology*, 17:1658-70.
- Duarte, B.B., Tupiassu, L., Cruz, S.N. (2020). O mercado de carbono na política de mitigação das mudanças climáticas. *Revista de Direito Ambiental e*

- Socioambientalismo*, 6(2):93-108.
- Dumanski, J., Peiretti, R. (2013) *Modern concepts of soil conservation. International Soil and Water Conservation Research*, 1(1):19–23.
- Easterbrook, D.J. (2016) Greenhouse Gases. *In: Don J. Easterbrook. Evidence-Based Climate Science*. 2 ed. Washington, EUA, p.163–173.
- Engel, S., Pagiola, S., Wunder, S. (2008) Designing Payments for Environmental Services in Theory and Practice: An Overview of the Issues. *Ecological Economics*, 65(4):663–75.
- Ericksen, P.J. (2008) Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Elsevier*, 18(1):234-235.
- European Commission (2020) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020*. Discussion paper. 2013A.
- Evangelista, M.L.S. (2006) Estudo comparativo de análise de investimentos em projetos entre o método vpl e o de opções reais: o caso cooperativa de crédito. Sicredi Noroeste. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 163p.
- Fajardo, A.M.P., Timofeiczky, J.R. (2012) Avaliação Financeira do Sequestro de Carbono na Serra de Baturité, Brasil, 2012. *Floresta e Ambiente*, 22:391-399.
- Fante, E.M., Paim, E.S., de Moraes, C.H. (2022) Bioeconomia como referência para a reativação do Fundo Clima: análise discursiva a partir da audiência do STF. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 60:96-115.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla International Year of Soils (2015) Rome Italy soils-2015@fao.org. Disponível em: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/pt/c/277682/>. Acesso em: fev, 2021.
- FAO. (2020) *FAO Strategy on Mainstreaming Biodiversity across Agricultural Sectors*. Rome: FAO, 20p.
- Feist, M., Geden, O. (2023) Negociações climáticas em tempos de múltiplas

crises: Credibilidade e confiança na política climática internacional após a COP27. Link: <https://brasil.un.org/pt-br/205789-cop27-o-que-vocC3AA-precisa-saber-sobre-conferC3AAncia-do-clima-daonu>. Acesso em: jan. 2023.

Fontes, A.G., Gama-Rodrigues, A.C., Gama-Rodrigues, E.F., Sales, M.V.S., Costa, M.G., Machado, R.C.R. (2014) Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*, 383(1-2):313–335.

Forster, P.M.F; Taylor, K.E. 2006: Climate forcings and climate sensitivities diagnosed from coupled climate model integrations. *Journal of Climate*, 19:6181–6194.

Freitas, I.C., dos Santos, F.C.V., de Oliveira Custódio Filho, R., Correchel, V. (2016). Carbono no solo, acúmulo e qualidade da serapilheira em sistemas de produção familiar. *Floresta*, 46(1):31-38.

Gama-Rodrigues, A.C. (2004) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. *In*: Muller, M. W.; Gama-Rodrigues, A.C.; Brandão, I.C.S.F.L.; Serôdio, M.H.C.F. (Ed.). *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; [Campos dos Goytacazes]: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 67-87p.

Gama-Rodrigues, A.C., Miranda, R.C.C. (1991) O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41:598-606.

Gama-Rodrigues, E.F., Nair, P.K.R., Nair, V.D., Gama-Rodrigues, A.C., Baligar, V., Machado, R.C.R, (2010) Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, 45:274–283.

Garcia, L.T., Paulus, L.A.R., Fernandes, S.S.L., Arco-Verde, M.F., Padovan, M.P., Pereira, Z.V. (2021) Financial viability of biodiverse agroforestry systems in the Brazilian Midwest. *Research, Society and Development*, 10(4):e47210413682.

Gattinger, A., Muller, E., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N.,

- Mader, P., Stolze, M., Smith, P., El-Hage, N.S., Nigli, U. (2012) Enhanced topsoil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109:18226–31.
- Gomez-Baggethun, E., Martin-Lopez, B. (2015) *Ecological economics perspectives on ecosystem services valuation*. In: Martínez-Alier, J., Muradian, R. (org) *Handbook of Ecological Economics*. 1.ed. Massachusetts: Edward Elgar, 260-282.
- Gordon, L.J., Finlayson, C.M., Falkenmark, M. (2010) *Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services*. *Agricultural Water Management*, 97(4):512–519.
- Greenland, D.J. (1975) Bringing the green revolution to the shifting cultivators. *Science*, 190:841-844.
- Grossi, M., Araújo, A., Clark, A., Ribeiro, S. (2019) Proposta sobre os créditos de carbono pode mudar a história. *Valor Econômico*. IFE – informativo eletrônico do setor elétrico/UFRJ. Disponível em: www.gesel.ie.ufrj.br. São Paulo. Acesso em: jan. 2021.
- Guo, L.B., Gifford, R.M. (2022) Soil carbon stocks and land use change: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 8:345-60.
- Hespanhol, L.I. (2020) Valoração Econômica de Carbono no Solo como Serviço Ecosistêmico em Sistemas Agroflorestais Baseado em Cacaueiros. Tese – (Mestrado em Produção Vegetal) – Campo dos Goyatacases – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 64p.
- Horta, P., Sissini, M., Mueller, C.M., Soares, F.M., Pagliosa, P., Rörig, L., Fonseca, A.L. (2023) Brazil promotes the exploration of fossil fuels, despite climate crises and environmental vulnerabilities. *Marine Policy*, 148:105423.
- Houghton, R.A. (1999) The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 51(2):298–313.
- Houghton, R.A., House, J.I., Pongratz, J., Van der Werf, G.R., DeFries, R.S., Hansen, M.C., Ramankutty, N. (2012) Carbon emissions from land use and

land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12):5125–5142.

Huang, H., Yang, L., Zhang, L., Pu, Y., Yang, C., Cai, Y., Zhou, C. (2022) A review on digital mapping of soil carbon in cropland: progress, challenge, and prospect. *Environmental Research Letters*, 17:123004.

Hutchinson, G.L., Mosier, A.R. (1979) Nitrous oxide emissions from an irrigated cornfield. *Science*, 205:1125-1127.

IBGE (2002) Área territorial oficial. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em: Mar, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em Jul 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. (2019) Censo Agropecuário 2017: Tomé-Açu. Brasília: IBGE, 2019. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tome-acu/pesquisa/24/27745. Acesso em Fev 2021.

IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. SPM D. 216p.

IPCC (2013b). Summary for policymakers. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge: Cambridge University Press. 1-26p.

Kanianska, R. (2016) Agriculture and Its Impact on Land-Use, Environment, and Ecosystem Services. Radoslava Kanianska (org) Landscape Ecology - The

Influences of Land Use and Anthropogenic Impacts of Landscape Creation. 1.ed. *Environment, and Ecosystem Services*, 3-24.

Kumar, A., Singh, P., Raizada, P., Hussain, C.M. (2022) Impact of COVID-19 on greenhouse gas emissions: a critical review. *Science of the Total Environment*, 806:150349.

Mitigating, G.H.G. (2004) Emissions in the humid tropics: Case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). *Environmental, Development and Sustainability.*, 6:145-162.

Lal, R. (2007) Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008(363):815-30.

Lal, R. (2020) Food security impacts of the "4 per Thousand" Initiative (Impacto da iniciativa "4 por Mil" na segurança alimentar). *Geoderma*, 374:114427.

Lal, R. (1975). *Role of mulching techniques in tropical soil and water management*. IITA Technical Bulletin 1, Ibadan: Nigeria, 38p.

Lal, R. (1976) No tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Science Society of Amer. Proceedings*, 40:762-768.

Lal, R. (2004) Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304:1623–1627.

Lamichhane, S., Kumar, L., Wilson, B. (2019) Digital soil mapping algorithms and covariates for soil organic carbon mapping and their implications: a review *Geoderma*, 352:395–413.

Laudares, S.S.A., Borges, L.A.C., Ávila, P.A., Oliveira, A.L., Silva, K.G., Laudares, D.C.A. (2017). Agroforestry as a sustainable alternative for environmental regularization of rural consolidated occupations. *Cerne*, 23(2):161–174.

Le Quéré, C., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Zheng, B. et al. (2018) Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, 10:2141-94.

Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M., (2007) Historical overview of climate change. *In:*

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.), *Climate Change, 2007, The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 551–556.

Lei Estadual 2.308/2010. Disponível em: <http://www.al.ac.leg.br/leis/wpcontent/uploads/2014/09/Lei2308.pdf>. Acesso em: mar. 2021.

Lei Federal 14.119/21. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm. Acesso em: mar. 2021.

Lei nº 312/15, 10 de fevereiro de 2015. Brasil. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=946475>. Acesso em: jan. 2020.

Lobão, D.E.V.P. (2007) *Agroecossistema cacauero da Bahia: cacau-cabruca e fragmentos florestais na conservação de espécies arbóreas*. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Jaboticabal – SP, Faculdade de Ciências Agrárias – UNESP, 108p.

Lopes, A.J. (2021) Ministério do Meio Ambiente lança programa de incentivo a serviços ambientais. Disponível: <https://www.poder360.com.br/governo/ministerio-do-meio-ambiente-lanca-programa-de-incentivo-a-servicos-ambientais/>). Acesso em: mar. 2022.

Lubbers, I., Groenigen, V. K., Fonte, S., Six, J., Brussaard, L., Groenigen, V.W.J. (2013) Greenhousegas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Clim Change*, 3:187–194.

Minasny, M.B., McBratney, A., Michot, D., Viaud, V., Walter, C. (2014) High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape *Geoderma*, 213:296–311.

Maillard, É., McConkey, B.G., Angers, D.A. (2017). Increased uncertainty in soil carbon stock measurement with spatial scale and sampling profile depth in

world grasslands: a systematic analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environmen.* 236:268–276.

Marques, J.D.O., Luizão, F.J., Teixeira, W.G., Sarrazin, M., Ferreira, S.J.F., Beldini, T.P., Marques, E.M.A. (2015). Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 39(1):232–242.

Marques, J.F., Comune, A. (1995) Quanto Vale o Ambiente: Interpretações sobre o Valor Econômico Ambiental. *In: Encontro nacional de economia*, 23., Salvador, BA, Anais... 633-651p.

Marques, J.R.B., Monteiro, W.R. (2016) Substituição sustentável de eritrina por seringueira em SAF de cacauero. *Agrotrópica*, 28: 01-122.

Masiero, M., Pettenella, D., Boscolo, M., Barua, S.K., Animon, I., Matta, J.R. (2019) *Valuing Forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers*. Forestry Working Paper N. 11. Rome: FAO. 216p.

Matheus, M.T. (2012) Sequestro de carbono sob a óptica florestal no Brasil. *Revista Trópica*, 6:104-116.

May, P. Economia do meio ambiente. Elsevier Brasil, (2018) Mercado agropecuário de redução de emissões / Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural; Instituto CNA. – Brasília, DF : ICNA, 2018.

MEA (2019) Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio. 2005, 57p. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>. Acesso em: out. 2019.

MEA. Millennium Ecosystem Assessment (2008). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Island Press: Washington, DC. 266p.

Melo, P.A. (2019) Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o desenvolvimento de mudas de cacau (*Theobroma Cacao*) com e sem molhamento no município de Tomé-Açu/PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da

Amazônia - UFRA, 50p.

- Miguez, J.D.G., Andrade, M.T.C. (2018) A continuidade do MDL Ante o Acordo de Paris e sua Articulação com o MDS. *In: Flavia Witkowski Frangetto, Ana Paula Beber Veiga, Gustavo Luedemann (org) Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil*. 1. ed. Brasília – DF: IPEA, p. 299-318.
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chamber, S.A., Winowiecki, L. (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*,29:59–86.
- Minasny, B., McBratney, A.B., Malone, B.P., Wheeler, I. (2013) Digital Mapping of Soil Carbon. *Advances in Agronomy*, 118:1-47.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA (2002). Critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável. Brasília: MMA, 42 p.
- MMA. (2018) Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: mma.gov.br/informma/item/15344-paises-aprovam-regras-para-concretizar-acordo-climatico.html. Acesso em: jan. 2021.
- Monroe, P.H.M., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C. (2016) Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brasil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221:99-108.
- Monteiro, W.R.; Valle, R.R.; Lopes, U.V.; Pereira, A.S.; Santo, S,W.R. (2011) Manejo de cacauais seminais pela poda e correção do sombreamento permanente. CEPLAC/CEPEC. *Boletim Técnico*: 201. Ilhéus-BA: p, 30p.
- Müller, F., Burkhard, B. (2012) The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 1:26-30.
- Müller, M.W., Gama-Rodrigues, A.C. (2012) Sistemas Agroflorestais Com Cacaueiro. *In: Valle, R.R. (ed). Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro*. 2ª ed., Brasília- DF: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. p. 407-430.

- Munk, N. (2015) Inclusão dos serviços ecossistêmicos na avaliação ambiental estratégica. Tese (Mestrado em Planejamento energético) - Rio de Janeiro RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 179 p.
- Narloch, U., Pascual, U., Drucker, A.G. (2009) Payments for agrobiodiversity conservation services (PACS): Creating incentive mechanisms for the sustained on-farm utilization of plant and animal genetic resources. Paper prepared for 11th Annual BioEcon Conference in Venice, Italy, p. 21-22.
- NASA by Buis, A. (2019) The Atmosphere: Keeping a Weather Eye on Earth's Climate Instabilities Sizing Up Humanity's Impacts on Earth's Changing Atmosphere: A Five-Part Serie NASA's Jet Propulsion Laboratory. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>. Acesso em: jan. 2021.
- Nayak, A.K., Rahman, M.M., Naidu, R., Dhal, B., Swain, C.K., Nayak, A.D., Pathak, H. (2019) Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. *Science of The Total Environment*, 665:890-912.
- Nikolaidis, N.P. (2011) Human impacts on soils: tipping points and knowledge gaps. *Applied Geochemistry*, 26:S230–3.
- Nimer, E. (1972) *Climatologia da região Nordeste do Brasil*. ed.34. Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Geografia, 51p.
- Ninan, K.N. (2007) The Economics of Biodiversity Conservation Valuation. In: K. N. Ninan (org) *Tropical Forest Ecosystems*. 1. ed. London: Earthscan, 288p.
- Nkonya, E., Anderson, W., Kato, E., Koo, J., Mirzabaev, A., Von Braun, J., Meyer, S. (eds). (2015) *Global Cost of Land Degradation. Economics of Land Degradation and Improvement a Global Assessment for Sustainable Development*. ed.1. University of Bonn, Bonn, Germany: Springer Cham, 686p.
- NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2018, Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>. Acesso em: jan. 2021.
- Nogueira, J.M., Medeiros, M.A.A., Arruda F.S.T. (1998) *Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo? Caderno de Pesquisa em*

Desenvolvimento Agrícola e Economia do Meio Ambiente Nº 002. Brasília: Departamento de Economia, Universidade de Brasília, NEPAMA. 36p.

Okabe, E.T., Almeida, C.M.V.C., Almeida, L.C., dos Santos Dias, L.A. (2004) Desempenho de Clones de Cacaueiro em Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brasil Performance of Cacao Clones at the Ouro Preto do Oeste, Rondônia State, Brazil. *Bioscience Journal*, 20:133-143.

Oliveira, D.M.S., Tavares, R.L.M., Loss, A., Madari, B.E., Cerri, C.E.P., Alves, B.J.R., Pereira, M.G., Cherubin, M.R. (2023) Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 47:e0220055.

Oliveira, G.M.T.S. (2021) A valoração socioeconômica e ambiental em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental, Tomé-Açu, Pará, como instrumento de desenvolvimento local e sustentável. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido - NAEA/Área: Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Pará/ Belém: UFPA, 162p.

Oliveira; G.M.T.S., Santana, A.C., Oliveira, E.S., Silva, R.J., Santos, W.A.S., SantanA, A.L., Costa, V.C.N. (2020) The Value of Agroforestry Ecosystem Services Provided in Rural Communities in the Eastern Amazon (Tomé-Açu – PA, Brazil). *Journal of Agricultural Studies*, 8:203-216.

Ontl, T.A., Schulte, L.A. (2012) Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*, 3:10-35

ONU (2018) Artigo: A importância do Brasil no Acordo do clima de Paris. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/artigo-qual-e-a-importancia-do-brasil-no-acordo-do-clima-de-paris/>. Acesso em Fev, 2020.

Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas - IPCC. Alterações climáticas (2022): Impactos, adaptação e vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o sexto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre as alterações climáticas. Acesso em Mai, 2021.

Palm, C., Tomich, T., Van Noordwijk, M., Vosti, S., Gockowski, J., Alegre, J., Verchot, L. (2004) Mitigating GHG emissions in the humid tropics: case studies

- from the Alternatives to Slash-and-Burn Program (ASB). *Environment, Development and Sustainability*, 6:145-162.
- Palma, V.H., Arco-Verde, M.F., Curcio, G.R., Galvão, F., Mattos, L. (2020) Análise financeira de sistema agroflorestal (SAF) orgânico do sul do Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 17(31):26-39.
- Pantoja, K.R.D.S. (2017) Indicadores de carbono do solo em sistemas agroflorestais com potencial de uso em processo de transição produtiva agroecológica. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) – Belém - PA, Universidade Federal do Pará, 84p.
- Paraense, V., Mendes, F.A., Freitas, A. (2013) Avaliação econômica de sistemas agroflorestais de cacau e mogno na transamazônica: um estudo de caso. *Enciclopédia biosfera*, 9(16):2754.
- Paulus, L.A.R., Pereira, Z.V., Arco-Verde, M.F., Line, J.D.B., Padovan, M.P., dos Santos, M.A.R. (2021) Viabilidade financeira de arranjos agroflorestais biodiversos: estudo de casos no Mato Grosso do Sul, Brasil. Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em periódico indexado (ALICE). *Research, Society and Development*, 10:e370101016593.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P. (2016) Climate-smart soils. *Nature*, 532: 49-57.
- Pereira Neto, J.A. (2012). Estoques de carbono em sistemas agroflorestais de cacauero como as políticas de serviços ambientais. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Belém – PA, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - UFPA/NAEA/PDTU, 216p.
- Peres, G.E., Ribeiro C.M. (2019). A Importância do Pagamento por Serviços Ambientais–PSA. Resumo Expandido. Universidade Federal do Pampa - Dom Pedrito- RS. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/>.
- Perman, R.J., MA, Y., MCGILVRAY, J., COMMON, M. (2003) *Natural Resource and Environmental Economics*. 3ª Ed, Addison Wesley: Longman, 744p.
- Perroni, V., Menescal, A.C., Affonso, E.P. (2017) fruticultura: tecnologias e utilização de métodos não destrutivos. *IV Encontro Competências Digitais para*

Agricultura Familiar, Tupã: Unesp. 203p.

Piasentin, F.B. (2011) *O sistema cabruca no sudeste da Bahia: perspectivas de sustentabilidade*. 2011. Tese (Desenvolvimento sustentável) – Centro de Desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 200p.

Piasentin, F.B., Saito, C.H. (2014) Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 9(1):61-78.

Piester, C. (2023) A delegação da WILPF impacta a conversa na COP27. *Paz e Liberdade*, 83(1):10-12.

Pimentel, D., Burgess, M. (2013) Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture*, 3(3):443–463.

Reimann, C., Birke, M. Demetriades, A., Filzmoser, P., O'Connor, P. (eds.), (2014) *Chemistry of Europe's Agricultural Soils*. Ed 2. Stuttgart, Germany: Schweizerbart science publishers, 523p.

Rezende, J.L.P., Oliveira, A.D. (2008) *Análise econômica e social de projetos florestais*. Viçosa: Editora UFV, 389p.

Ribeiro, S., Cerruto, Jacovine, L.A.G, Soares, C.P.B; Silva, Áurea, M, Lopes; Nardelli, M, B; Souza, A, L; Martin, S, V. (2011) Economic analysis of the implementation of forestry projects for carbon credits generation for farmers in the Atlantic Forest. *Scientia Forestalis*, 39:9-19.

Rocha, A.P., Borges, A.P.S., Arend, J.S., Matheus, P.D., Vieira, R.L. (2014) *PNUMA. Programa das Nações Unidas para o meio ambiente*. Link: <https://news.un.org/pt/story/2015/05/1512941>. Acesso em: jun. 2021.

Romano, P.A. (2010) Integração Lavoura Pecuária-Floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. *Informe Agropecuário*, 31:7-15.

Romeiro, A.R. (2012) Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*, 26:65-92.

Rumpel, C., Amiraslani, F., Koutika, L.S., Smith, P., Whitehead, D., Wollenberg, E. (2018) Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature*,

564:7734.

- Salgado, G.M. (2016) *Estoque de carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais com seringueira no sul do Estado da Bahia, Brasil*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 70p.
- Sanches, S.C.G. (2019) *Análise de viabilidade econômica dos principais modais de produção de cacau no Sul da Bahia: Cabruca e SAF Cacau-Seringueira / Grazielle Cardoso da Silva Sanches*. Tese (Mestrado em Desenvolvimento econômico) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – SP, Instituto de Economia. 94p.
- Santana, M.B.M., CabalaRosand, P. (1985) Reciclagem de nutrientes em uma plantação de cacau sombreada com eritrina. *In: Conference Internationale sur Recherche*. Copal, Lagos, Nigeria. 205-210p.
- Santana, D.E., Faria, Filho A.F., Lisboa, G.P. (2010) *Mapa de Solos*. Ilhéus: Bahia: CEPLAC/CEPEC/SENUP. 1:750 000.
- Santana, A.C. (2020) *Bioeconomia aplicada ao agronegócio: mercado, externalidades e ativos naturais*. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 346p.
- Santos Filho, L.P., Midlej, R.R. (2016) Método de Estimativa da Produção de Cacau no Ano Civil Na Região Cacaueira Baiana. *Agrotrópica*, 28(3):247-252.
- Santos, G.A.D. (2021) *Análise econômica da produção de amêndoas de cacau (theobroma cacao) face à variação do preço do mercado: um estudo aplicado no município de Ouro Preto do Oeste-RO*. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Manaus - Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 103p.
- Santos, M.J., Rodriguez L.C.E., Wandelli, E.V. (2002) Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental. *Scientia Forestalis*, 62:48-61.
- Santos, P., Brito, B., Maschietto, F., Osório, G., Monzoni, M. (2012) *Marco regulatório sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil*. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. Belém: AMAZON FGV Cvcas, 76 p.

- Santos, S.S., Gelfin, A.R., Bertão, S.M. (2022) A política nacional de pagamento por serviço ambiental: um retrocesso?. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, 19(45):191-220.
- Schembergue, A., Cunha, D.A. da, Carlos, S. de M., Pires, M.V., Faria, R.M. (2022) Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 55(1):9-30.
- Schmidt, A., Smernik, R.J., McBeath, T.M., (2012) Measuring organic carbon in calcareous soils: understanding the pitfalls and complications. *Soil Research*, 50:397–405.
- Schmidt, G.A., Ruedy, R.A., Miller, R.L., Laci, A.A. (2010) Attribution of the present-day total greenhouse effect. *Journal of Geophysical Research*, 115:1-6.
- Shevliakova, E., Pacala, S., Malyshev, S., Hurtt, G., Milly, P.C.D., Caspersen, J., Sentman, L., Fisk, J., Wirth, C., Crevoisier, C. (2009) Carbon cycling under 300 years of land use change: Importance of the secondary vegetation sink, *Global Biogeochem*, 23:1-16.
- Silva, J.D.D. (2015) *Custos em sistemas agroflorestais*. Monografia (Superior em Engenharia Florestal) – Brasília – DF, Universidade de Brasília - UNB, 34 p.
- Silva, J.N.D., Ponciano, N.J., Souza, C.L.M., Souza, P.M.D., Viana, L.H., Silva, M.G.D.M. (2021) Viabilidade econômica da produção de uva 'Niágara Rosada' nas regiões norte e noroeste fluminense do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(1):1-8.
- Silva, M.L., Jacovine, L.A.G., Valverde, S.R. (2006) *Economia florestal*. Viçosa: Editora UFV, 178 p.
- Silva, W.S., Kummerow, J. (1998) Fine-root growth and longevity in a cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agrotrópica (Brasil)*, 10(1):31-34.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. (2004) A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79:7–31.
- Six, J., Elliott, E., Paustian, K. (2000) Soil macroaggregate turnover and

microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32:2099–2103.

Sommer, R., Bossio, D., (2014) Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144:83-87.

Souza, R.L.A., Alvares, G; Andrade, S.C.J. (2013) Mercado regulado de carbono no Brasil: um ensaio sobre divergências contábil e tributária dos créditos de carbono. *Organizações e Sociedade*, 20(67):1-23.

Stavi, I., Lal, R. (2013) Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33:81-96.

Sviech, V.; Mantovan, E.A. (2013) Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. *Percurso*, 1(13):1-28.

The Lancet. (2020) "World population likely to shrink after midcentury, forecasting major shifts in global population and economic power." Science Daily, Disponível em: www.sciencedaily.com/releases/2020/07/200715150444.htm. Acesso em Jul, 2020.

Thomas, W.W., Barbosa, M.R.V. (2008) *Natural vegetation types in the Atlantic Coastal Forest of Northeastern Brazil*. In: Thomas WW, Britton EG (eds) *The Atlantic coastal forest of Northeastern Brazil*. New York: New York Botanic Garden Press, p 6-20.

Torres, C., Ferman, K.S.R., Sbragia, I. (2016) Projetos de MDL no Brasil: oportunidade de mercado para empresas e para novas entidades operacionais designadas. *Ambiente e Sociedade*, 19(3):199-214.

Torres, C., Moreira, M.E. (2014) Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 34:235-244.

Tuckett, R. (2018). Greenhouse Gases. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. *Encyclopedia of Analytical Science*, (3):1-11.

UK NEA. (2014) *Cambridge*: UNEP-WCMC, 66 p.

- Valdetaro, E.B., Silva, F.L., Ribeiro, S.C., Jacovine, L.A.G. (2011) Contribuição dos créditos de carbono na viabilidade econômica dos contratos de fomento florestal no sul da Bahia. *Revista Árvore*, 35(6):1307-1317.
- Vicente, L.C. (2013) *Estoque de carbono orgânico em solos sob plantações de seringueira e eucalipto*. Monografia (Superior em Agronomia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 59p.
- Virgens Filho, A.C. (2002) *Programa de desenvolvimento do agronegócio da borracha no Estado da Bahia* - PRODEAB. Ilhéus: CEPLAC, 119 p.
- Vital, M.H.F. (2018) Global warming: international agreements, CO₂ emissions and the emergence of carbon markets in the world. ed.24. BNDES *Setorial*, Rio de Janeiro, (48):167-244.
- Vollset, S.E., Goren, E., Yuan, C.W., Cao, J., Smith, A.E., Hsiao, T., Murray, C.J.L. (2020) Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 396:1285–306.
- Wadoux, A.M.J.C. (2021) Ten challenges for the future of pedometrics *Geoderma*. 401:155.
- Weyland, F., Mastrangelo, M.E., Auer, A.D., Barral, M.P., Nahuelhual, L., Larrazábal, A., Villegas Palacio, C. (2018) Abordagem de serviços ecossistêmicos na América Latina: de promessas teóricas a aplicações reais. Serviços de ecossistemas. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, 21(2):521-539.
- Wunder, S. (2008) Necessary Conditions for Ecosystem Service Payments. *Economics and Conservation in the Tropics: A Strategic Dialogue*, Center for International Forestry Research (CIFOR), 8:1-10.
- WWF-UK (2020) Disponível em: <https://www.wwf.org.br/overshootday.cfm>. Acesso em Ago, 2020.
- Zepp, S., Heiden, U., Bachmann, M., Wiesmeier, M., Steininger, M., Andvan Wesemael, B. (2021) Estimation of soil organic carbon contents in croplands of Bavaria from SCMaP soil reflectance composites *Remote Sense*, 13(16):3141.

Zugaib, A.C.C., dos Santos, A.M., Midlej, R.R., Santos Filho, L.P. (2011) Especulação dos fundos no mercado de cacau no período de 2006 a 2010 - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira-CEPLAC- Centro de Pesquisas do Cacau- CEPEC -Seção de Sócio-Economia-SESOE. *Revista de Política Agrícola*, 20(1):24-38.

APÊNDICES

Apêndice A

Tabela 1A - Coeficientes técnicos do SAF de Cacau+Eritrina em 1 hectare

Especificação	Und	R\$	Qde	Ano 1	Qde	Ano 20
Mão de Obra						
Preparo da área para plantio	d/h					
tiragem de balizes	d/h					
Balizamento	d/h					
construção de ripado	d/h					
Enchimento de saquinhos	d/h					
Preparo de mudas sombreamento provisório	d/h					
Plantio de sementes de cacau	d/h					
manutenção de mudas	d/h					
plantio de sombreamento provisório	d/h					
limpeza da área (roçagem pré-plantio)	d/h-orcm					
Aberturas de covas/plantio de cacauzeiros	d/h					
manutenção do sombreamento	d/h					
limpeza da área inverno (duas vezes)	d/h-orcm					
limpeza da área verão (uma vez)	d/h-orcm					
combate às pagas	d/h-opcm					
Desbrota	d/h					
Manejo sombreamento provisório	d/h					
Adubação (NPK + Ureia)	d/h					
Replantio	d/h					
Controle da vassoura de Bruxa	d/h					

Tabela 1A, Cont,

Especificação	Und	R\$	Qde	Ano 1	Qde	Ano 20
Repasse da vassoura de Bruxa	d/h					
Colheita e beneficiamento	d/h					
Semente de cacau para plantio	und					
Sacos de polietileno	und					
Inseticida	litro					
Facão	um					
Insumos						
Semente de cacau para replantio	und					
Adubo (NPK)	saco					
Sacaria	um					
Valor da Terra						
obtenção de CERs						
Receita esperada	@					
crédito de carbono						
2. VALOR RESIDUAL DA TERRA	ha					
FLUXO DE CAIXA						
Custos						
Receita						

Crédito de Carbono: 16,98 CO₂.eq – Receita esperada: 235@ - Ano 1: 0 @; Ano 2: 0@; Ano 3: 35 @; Ano 4: 40@; Ano 5: @60 – e subsequentes – 80@. Exemplo para alta produtividade.

Apêndice B

Tabela 1B - Fluxo de caixa Saf Cacau+Eritrina, cenário baixa produtividade sem a inclusão dos CERs

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Entradas (R\$)	11.560,00	1.425,00	1.060,00	450	30
Saídas (-R\$)	11.560,00	1.425,00	1.060,00	1.900,00	2.320,00
Fluxo de Caixa	0	0	0	2.350,00	2.350,00
	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano10
Entradas (R\$)	220	240	240	1.340,00	1.340,00
Saídas (-R\$)	2.600,00	2.580,00	2.580,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	2.820,00	2.820,00	2.820,00	4.700,00	4.700,00
	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano15
Entradas (R\$)	1.320,00	1.340,00	1.340,00	1.340,00	1.340,00
Saídas (-R\$)	3.380,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	4.700,00	4.700,00	4.700,00	4.700,00	4.700,00
	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Entradas (R\$)	1.320,00	1.340,00	1.340,00	1.340,00	6.340,00
Saídas (-R\$)	3.380,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	4.700,00	4.700,00	4.700,00	4.700,00	9.700,00

Apêndice C

Tabela 1C- Fluxo de caixa Saf Cacau+Eritrina, cenário baixa produtividade com a inclusão dos CERs

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Entradas (R\$)	11.411,36	-776,36	-411,36	1.098,64	678,64
Saídas (-R\$)	12.060,00	1.425,00	1.060,00	1.900,00	2.320,00
Fluxo de Caixa	648,64	648,64	648,64	2.998,64	2.998,64
	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano10
Entradas (R\$)	868,64	888,64	888,64	1.988,64	1.988,64
Saídas (-R\$)	2.600,00	2.580,00	2.580,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	3.468,64	3.468,64	3.468,64	5.348,64	5.348,64
	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano15
Entradas (R\$)	1.968,64	1.988,64	1.988,64	1.988,64	1.988,64
Saídas (-R\$)	3.380,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	5.348,64	5.348,64	5.348,64	5.348,64	5.348,64
	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Entradas (R\$)	1.968,64	1.988,64	1.988,64	1.988,64	6.988,64
Saídas (-R\$)	3.380,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00	3.360,00
Fluxo de Caixa	5.348,64	5.348,64	5.348,64	5.348,64	10.348,64