ReGeo ISSN: 2177-3246

MONITORAMENTO AMBIENTAL DA CACAUICULTURA EM TEMPOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA

ENVIRONMENTAL MONITORING OF COCOA FARMING IN TIMES OF CLIMATE CHANGE

MONITOREO AMBIENTAL DEL CULTIVO DE CACAO EN TIEMPOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

https://doi.org/10.56238/revgeov17n9-205

Data de submissão: 15/08/2026 **Data de publicação:** 29/09/2026

Giovanni Moura de Holanda
Instituição: FITec Labs - Fundação para Inovações Tecnológicas
E-mail: gholanda@fiteclabs.org.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5603-2675

Priscila Pereira Coltri
Instituição: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
E-mail: pcoltri@cpa.unicamp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0807-3410

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves
Instituição: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
E-mail: renata@cpa.unicamp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0981-3062

Claudia Regina Castellanos Pfeiffer
Instituição: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
E-mail: claupfe@unicamp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0331-9626

Vancler José Marsola
Instituição: FITec Labs - Fundação para Inovações Tecnológicas
E-mail: vmarsola@fiteclabs.org.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3765-4182

Paulo Cesar Lima Marrocos
Instituição: Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
E-mail: paulo.marrocos@agro.gov.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3574-5152

Lindolfo Pereira dos Santos Filho
Instituição: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac)
E-mail: lindolfo.filho@agro.gov.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1821-6857

ReGeo
ISSN: 2177-3246

Jurandir Zullo Júnior
Instituição: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-5945-4918

RESUMO
Neste artigo apresentamos a abordagem metodológica concebida para o projeto "CacauClima – Solução de monitoramento inteligente climático nas esferas produtiva e ambiental da cacauicultura", destacando a ação combinada das tecnologias de sensoriamento remoto com a avaliação dos impactos das mudanças climáticas e a busca por um entendimento aprofundado das necessidades atuais dos agricultores e dos técnicos. Esse monitoramento, integrado e alinhado à herança agrícola da região foco dos estudos – o sul da Bahia – poderá significar um salto qualitativo no gerenciamento da produção de cacau, ajudando o produtor rural a tomar decisões eficientes em diversas direções que afetam o resultado da lavoura, em prol da redução de perdas e danos ambientais e da preservação do solo e florestas.

Palavras-chave: Bioeconomia do Cacau. Agroecologia. Agricultura Familiar. Percepção Pública. Ciência Cidadã. Cadeia Socioprodutiva.

ABSTRACT
This paper presents the methodological approach conceived for the project "CacauClima – Intelligent climate monitoring solution in the productive and environmental spheres of cocoa farming", highlighting the combined action of remote sensing technologies with the assessment of the impacts of climate change, as well the search for a deeper understanding of the current needs of farmers and agricultural technicians. Such an integrated monitoring, aligned with the agricultural heritage of the target region of studies – Southern Bahia, Brazil – could represent a qualitative leap in cocoa production management, helping rural producers to make efficient decisions in various directions that affect crop yields, in favor of reducing losses and environmental damage and preserving soil and forests.

Keywords: Cocoa Bioeconomy. Agroecology. Family Farming. Public Perception. Citizen Science. Socio-productive Chain.

RESUMEN
En este artículo presentamos el enfoque metodológico concebido para el proyecto "CacauClima – Solución de monitoreo climático inteligente en las esferas productiva y ambiental del cultivo de cacao", destacando la acción combinada de las tecnologías de teledetección con la evaluación de los impactos del cambio climático y la búsqueda de una comprensión profunda de las necesidades actuales de los agricultores y los técnicos. Este monitoreo, integrado y alineado con el legado agrícola de la región objeto de estudio, el sur de Bahia, podrá representar un salto cualitativo en la gestión de la producción de cacao, ayudando a los productores rurales a tomar decisiones eficientes en diversas áreas que afectan el rendimiento del cultivo, contribuyendo a la reducción de pérdidas y daños ambientales, así como a la preservación del suelo y de los bosques.

Palabras clave: Bioeconomía del Cacao. Agroecología. Agricultura Familiar. Percepción Pública. Ciencia Ciudadana. Cadena Socioproductiva.

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola está exposta a dois fenômenos climáticos distintos, porém interligados. O primeiro é a variabilidade natural do clima — flutuações inerentes ao sistema climático que geram anos mais secos ou úmidos, ondas de calor e geadas fora de época —, que já impõe desafios ao manejo do plantio, às janelas de colheita e ao controle de pragas. O segundo é a mudança climática de longo prazo, impulsionada pelo acúmulo de emissões de carbono, incluindo aquelas decorrentes das próprias práticas agrícolas. Essa tendência amplifica e desloca os padrões de variabilidade, elevando temperaturas médias e alterando os índices de umidade do solo e do ar de forma persistente. O resultado é uma pressão dupla sobre as culturas: sofrem os efeitos das transformações no ambiente e, ao mesmo tempo, contribuem para aprofundá-las. Não por acaso, há uma relação negativa documentada entre aumento de temperatura e Produto Interno Bruto (PIB), particularmente em países cuja economia depende fortemente da agricultura (cf. Newell *et al.*, 2021).

Os estudos do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) indicam que mudanças no uso do solo implicam em emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, e que ações para a mitigação de tais emissões são necessárias para evitar o aumento desordenado da temperatura (IPCC, 2023). Além disso, é conhecido que as práticas agrícolas são importantes emissores ou sequestradores de carbono em ambientes de floresta (Coltri *et al.*, 2019).

No contexto da agricultura de baixo carbono, a cacauicultura contribui para aumentar a cobertura florestal quando cultivada em sistemas agroflorestais (SAFs), contribuindo para promover a ciclagem de nutrientes e a recuperação de solos, regular o clima, preservar a vida silvestre e respeitar a herança sociocultural, favorecendo o aumento de renda para os agricultores familiares (Solidaridad, 2021; Araújo *et al.*, 2025).

Por sua vez, a cultura do cacau é sensível a mudanças nos valores históricos de temperatura e nos regimes hídricos, que afetam não só sua produtividade como a distribuição de pragas e doenças que também a prejudica (Cilas & Bastide, 2020). No Brasil, são previstas alterações nos ciclos de precipitação em seus vários biomas. Especificamente para a Mata Atlântica e o Cerrado, o CLIMBra (Ballarin *et al.*, 2023) projeta uma mudança na sazonalidade, indicada por um grande aumento na precipitação nos primeiros meses do período seco – de abril a julho – e uma redução nos últimos meses – em agosto e setembro.

Entretanto, há poucos estudos de campo sobre o efeito das mudanças climáticas e da seca relacionadas a oscilações climáticas em cacaueiros da América do Sul, especialmente no Brasil. Mesmo para a África Ocidental, região de detém mais de 70% do cacau cultivado, os impactos da

temperatura, precipitação e concentração atmosférica de dióxido de carbono na fisiologia e produtividade do cacaueiro são pouco compreendidos (Asante *et al.*, 2025).

Um estudo voltado ao sul da Bahia mostra como o sistema cabruca pode reduzir a vulnerabilidade do cacau frente aos efeitos das mudanças climáticas, quando comparado a plantações a pleno sol (Heming *et al.*, 2022). Contudo, muitas questões sobre o impacto do clima em SAFs de cacau dessa região, sobretudo em termos de produtividade e aumento de pragas e doenças, continuam desconhecidas, inclusive para plantações a pleno sol.

A cacauicultura baiana é fortemente marcada pelo cacau cabruca, instalado no sul da Bahia desde meados do século XIX (Sambuichi *et al.*, 2012), em sistema agroflorestal (SAF), raro no mundo e caracterizado pelo cultivo sob o dossel de árvores remanescentes da Mata Atlântica. Diferentemente de outros SAFs, a cabruca mantém estrutura semelhante à floresta original. No bioma Mata Atlântica, onde se encontra boa parte da produção de cacau no sul da Bahia, a cabruca se beneficia da sombra e dos efeitos positivos da biodiversidade local ao mesmo tempo que contribui para a conservação da própria mata, mitigando impactos climáticos (Araújo *et al.*, 2025).

É desse imbricamento entre agricultura sustentável e risco climático que surge o projeto de pesquisa e desenvolvimento "CacauClima – Solução de monitoramento inteligente climático nas esferas produtiva e ambiental da cacauicultura", conduzido pelos autores deste artigo com recursos da Finep. Pretendemos aqui apresentar suas linhas gerais de atividades, destacando que, mais do que reunir tecnologias inovadoras, o projeto se concentra em transformar dados climáticos, imagens de satélite e observação local em ferramentas úteis para quem produz cacau ou assiste sua cadeia produtiva.

Neste artigo apresentamos a abordagem concebida para esse projeto, destacando a ação combinada das tecnologias de sensoriamento remoto com a avaliação dos impactos das mudanças climáticas e a busca por um entendimento aprofundado das necessidades atuais dos agricultores e dos técnicos. Esse monitoramento integrado e alinhado à herança agrícola da região poderá significar um salto qualitativo no gerenciamento da produção de cacau, ajudando o produtor rural a tomar decisões mais eficientes em diversas direções que afetam o resultado da lavoura, em prol da redução de perdas e danos ambientais e da preservação do solo e florestas. Além da abordagem metodológica, apresentada a seguir, o artigo descreve a população envolvida e a ser beneficiada com o projeto, os impactos socioeconômicos esperados e as contribuições que podem aportar para o ambiente e a sustentabilidade da produção do cacau na região.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O projeto CacauClima compreende o desenvolvimento de uma solução de monitoramento climático nas esferas produtiva e ambiental da cacauicultura, tendo como foco áreas de cacau cultivado em sistemas agroflorestais e a pleno sol na Bahia. O objetivo central dessa solução é avaliar os impactos das mudanças climáticas nessa cultura e gerar informações integradas que fomentem a inteligência no campo e promovam ações ambientalmente sustentáveis, agregando valor à cadeia socioprodutiva do cacau. Para tanto, as análises precisam ser baseadas em visão ecológica de médio e longo prazo, possibilitando ao produtor local tomar decisões com mais eficiência em várias direções que afetam o resultado da cacauicultura, quanto a manejo, controle de pragas, produtividade e redução de danos ambientais.

Nesse sentido, o projeto desenvolverá modelos específicos que melhor avaliem a expressão agroclimática da região de cacau no sul da Bahia e um sistema para monitoramento de condições ambientais que possa orientar ações em resposta aos problemas de fenologia. Tem características inovadoras por adaptar técnicas voltadas a cultivos em condições semelhantes, usar inteligência artificial sobre imagens e dados satelitais, e incorporar princípios de ciência cidadã, com a participação de agricultores familiares e a valorização do saber local. Combinará dados de sensoriamento remoto com séries climáticas atuais e cenários climáticos futuros para analisar impactos das mudanças climáticas e orientar a inteligência em campo.

A metodologia de execução do projeto está estruturada em quatro blocos de coleta de dados e análises e um bloco de análises integradas, como ilustrada na Fig. 1.

O **primeiro bloco**, “Sensoriamento remoto”, tem o objetivo de monitorar áreas de cultivo de cacau sombreadas e a pleno Sol, para detectar mudanças de estado da vegetação, vigor vegetativo, áreas de sombreamento por nuvens, doenças, produção etc.

A solução de monitoramento baseia-se em técnicas desenvolvidas para cultivos com algumas semelhanças – como o café (Coltri *et al.*, 2019) –, no uso de inteligência artificial (IA) e em sensores remotos. Para as áreas especificadas na experiência piloto, são utilizadas cenas de imagens de satélites de diferentes resoluções espaciais – como Sentinel II e Landsat para média resolução e GOES para baixa resolução (voltada a casos de sombreamento de nuvens, ao acompanhamento de índice de vegetação do dossel e à avaliação de massa de ar em tempo real). Todas essas imagens e dados meteorológicos/climáticos locais serão processados continuamente para geração de alertas de risco em áreas em que os índices de doenças e de seca calculados apontem problemas e requeiram ações mitigadoras. Também serão consideradas eventuais imagens de radar de abertura sintética (Sentinel I) nesse processo.

Figura 1. Visão geral da estrutura do projeto



Fonte: Elaborado pelos autores

Além disso, será obtida resposta espectral das plantas em relação a doenças, transformando-as em índices para efeitos de monitoramento contínuo. Um trabalho em campo registrará a realidade do cultivo SAF-cacau em relação ao cultivo a pleno sol, para entender e registrar como são as áreas de cultivo e quais as formas de manejo, para apoiar o processamento das imagens.

O processamento das imagens e dados será baseado em IA, seguindo as etapas de: classificação, treinamento do algoritmo, seleção de variáveis, balanceamento de amostras e filtragem espacial. A validação e a quantificação da exatidão global e da acurácia de cada classe poderão ser feitas pela análise visual da equipe técnica e colaboradores, utilizando os dados coletados em campo como verdade terrestre, para efeito de comparação entre os modelos e técnicas adotadas. Na condução desse processamento, alguns métodos – como classificação e segmentação, identificação de padrões, detecção de mudança (*change detection*), uso de índices de vegetação, características do dossel e declividade – podem constituir-se em elementos essenciais para diferenciar as características e mudanças do perfil biofísico das áreas de plantio em SAF e a pleno sol.

Dados do microclima de cultivo – precipitação pluvial, temperaturas, radiação solar, vento e umidade relativa– subsidiarão análises sobre a possibilidade de doenças e pragas, bem como de manejo adequado frente às mudanças fenológicas em curso e futuras. Esses dados serão coletados por meio de estações meteorológicas com estruturas flexíveis e de baixo custo, as quais estão sendo especificadas e construídas para as finalidades particulares deste projeto.

O **segundo bloco**, "Mudanças climáticas", é responsável por extrair os dados dos cenários históricos e futuros de modelos climáticos, os do CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project* – Fase 6), referenciados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), e preparar as séries climáticas atuais (por exemplo, BR-DWGD) para análises integradas, objetivando avaliar o impacto das mudanças climáticas na cacauicultura e contribuir para prover análises de riscos

climáticos. O CMIP é uma iniciativa que congrega simulações de diversos organismos de pesquisas mundiais, com modelos climáticos para entender a dinâmica do clima e avaliar as mudanças passadas, atuais e futuras, objetivando melhorar a precisão das previsões.

É conhecido que, em relação às condições climáticas, a exploração do cacau tem como fatores limitantes os regimes hídrico e térmico do local de implantação da lavoura, em maior grau de importância, e a velocidade do vento, em menor grau. A combinação entre temperatura e umidade exerce influência sobre as principais doenças que incidem sobre a cultura, como a vassoura-de-bruxa (Ferrer-Sánchez *et al.*, 2022; Gateau-Rey *et al.*, 2018) e a podridão parda (Lessa *et al.*, 2020; Ferrez-Sánchez *et al.*, 2026). A disseminação da vassoura-de-bruxa despertou preocupações, levando à necessidade de se compreender os efeitos dos elementos climáticos na produção da cultura do cacau e na incidência de doenças (Souza *et al.*, 2009).

Além das soluções tecnológicas, é fundamental entender como as pessoas envolvidas na produção de cacau entendem e percebem os impactos da emergência climática e as diferentes formas de produzir um equilíbrio ambiental. Desse modo, a comunidade agrícola pode fazer uso efetivo das soluções do projeto. Esse é o objeto de estudo do **terceiro bloco**, "Percepção pública", que será baseado em pesquisas qualitativas junto a atores locais (produtores rurais e técnicos), tendo como premissa o conhecimento da percepção técnico-científica dos atores que se beneficiarão dos resultados do projeto, para que o processo de implantação e monitoramento seja acompanhado continuamente pelo compartilhamento de saberes-fazeres.

Para tanto, serão realizados grupos focais e entrevistas com os atores locais, para que a percepção seja analisada. O mapeamento das necessidades que agricultores e técnicos apresentam em relação às informações sobre produção, tecnologias e de como esse conhecimento circula entre eles, será fundamental para a identificação de como a equipe do projeto poderá atuar para trazer soluções e produzir artefatos condizentes com as demandas apresentadas. Assim, após essa etapa, prevê-se a formulação de práticas de intervenção junto à comunidade de cacauicultores e de formas mais efetivas de construção de conhecimento conjunto e empoderamento dos atores locais, a partir da produção de material de divulgação moldado às reais necessidades de quem planta, maneja e colhe o cacau.

O **quarto bloco**, "Ciência cidadã", diz respeito ao envolvimento de voluntários, como os agricultores locais, em atividades de monitoramento ambiental. A ciência cidadã tem se comportado como aliada de pesquisadores ao contribuir em produzir conhecimento com base no engajamento público. Possibilita gerar dados em grande escala e constitui uma oportunidade de educação para o público envolvido com o tema de estudo, aproximando-o da ciência aplicada em ações a favor de sua comunidade. Ademais, o envolvimento de voluntários em pesquisas e ações de biodiversidade vem

aumentando a percepção social sobre a necessidade de proteção da natureza e o uso sustentável dos recursos naturais (Bonney, 2021; Forti *et al.*, 2025). Para este projeto, a participação dos voluntários nas ações de ciência cidadã compreende o envio de fotos e de eventuais relatos meteorológicos e climáticos extremos ou não usuais, e a possível custódia de uma estação meteorológica em sua propriedade. Desse modo, os agricultores coproduzirão serviços meteorológicos e climáticos de necessidade própria, numa colaboração cientista-usuário alinhada à melhor forma de uso da informação produzida.

Neste particular das ações dos cientistas cidadãos, a IA pode potencializar as interações dos colaboradores ou usuários com o sistema CacauClima. No desenvolvimento da ferramenta operacional, será incluído um recurso de diálogo em linguagem natural para facilitar a interação do usuário e simplificar o uso do sistema. Nessa interação viabilizada por um aplicativo, o agricultor poderá reportar um evento e mesmo pedir orientações de como proceder para contornar eventuais riscos ou ameaças percebidas. Por exemplo, submeter ao sistema uma foto de um cacaueiro com manchas incomuns na folhagem, perguntando se é alguma praga ou desequilíbrio hídrico; e o sistema responderá, se for o caso, que se trata possiveis fungos e que é recomendável chamar um ATER (assistente técnico de extensão rural) para vistoria e avaliação detalhada.

O **quinto bloco**, "Análises integradas", nutre-se dos dados de monitoramento e informações dos demais blocos, combinando-os para analisar as séries climáticas atuais de modo a entender a referência climática e identificar possíveis mudanças já em andamento, bem como a incidência de eventos extremos. Com dados dos modelos climáticos gerados pelo segundo bloco, um conjunto de modelos será construído para entender as implicações e incertezas do clima futuro na área de cultivo. Assim, serão projetados e analisados: i) eventos extremos de chuva/seca e calor e suas implicações para a cultura do cacau; ii) zoneamento agrícola de riscos climáticos em cenários futuros de mudanças climáticas; iii) projeção de risco de importantes doenças do cacau; iv) contribuição do sombreamento para contornar as adversidades climáticas no microclima de plantio; e v) impactos ambientais, afetando a tomada de decisões de técnicos e produtores, e a eficiência produtiva. Será avaliada também se a capacidade produtiva do cacau na região se sustenta sob cenários de mudanças climáticas e quais atividades de mitigação e adaptação podem ser abordadas. Por último, serão sempre levadas em consideração as análises qualitativas de modo a comporem os cenários possíveis de intervenções.

No âmbito dessa integração analítica, os recursos de IA comportam-se como um sistema de raciocínio multiagente para apoio a decisões, combinando visão computacional com o relato textual (a partir da análise do relato textual via *chatbot* e das imagens submetidas pelo agricultor), dados climáticos daquela localidade e o histórico de interações de usuários daquela região. Eventualmente, a

análise poderá gerar um alarme de prioridade de orientação ou vistoria detalhada em campo, dirigida aos técnicos envolvidos. Prevê-se também o uso de grandes modelos de linguagem (LLMs) para análise de relatórios de impactos climáticos e de sensoriamento remoto gerados no funcionamento do sistema CacauClima.

3 POPULAÇÃO ENVOLVIDA COM O PROJETO

Consideramos que a população envolvida com o CacauClima compreende tanto as pessoas e organizações que se beneficiam dos resultados do projeto quanto as pessoas que dele participam: agricultores, pesquisadores, técnicos e gestores agrícolas. Como um dos eixos da presente abordagem metodológica inclui os princípios de ciência cidadã, os agricultores do sul da Bahia têm uma participação ativa em parte das atividades de P&D e na própria continuidade do projeto, trabalhando com informações que apoiam suas decisões no campo e gerando novas informações sobre o que observam como consequência e a respeito de novos eventos climáticos e agrícolas que possam surgir.

E essa população é expressiva. De acordo com a pesquisa de produção agrícola do IBGE, em 2022 o estado da Bahia foi responsável por cerca de 40% do cacau produzido no Brasil (IBGE, 2022), sendo que a Região Sul do estado concentra a maior parte. O sistema agrícola do cacau na Bahia está localizado no bioma Mata Atlântica, com área total de cerca de 400 mil hectares cultivados (Santos Filho *et al.*, 2020). Grande parte da produção nessa região adota um sistema agroflorestal conhecido como cabruca, que promove a conservação do ambiente natural. Em 2019, o cacau cabruca estava presente em 62% dos estabelecimentos rurais do litoral sul da Bahia e em 78% dos produtores de cacau da região (Chiapetti *et al.*, 2020).

Podemos dizer que a população a ser alcançada pelo projeto CacauClima é maior do que a localizada no sul da Bahia, uma vez que toda a região produtora de cacau no Estado da Bahia pode ser beneficiada pelo projeto, sobretudo agricultores e agricultoras familiares. Como contribuição do projeto, espera-se gerar resultados positivos em toda a cadeia de valor do cacau da Região Sul da Bahia, reforçando as ações agroecológicas e agregando inteligência de campo para promover o desenvolvimento rural sustentável.

O desenvolvimento da solução CacauClima é uma importante estratégia para que o atendimento técnico seja mais imediato, facilitando a integração entre os atores envolvidos e ampliando o acesso às informações, sem, contudo, substituir a interação pessoal. Outra contribuição é o estímulo para que jovens e mulheres ocupem um papel de liderança na tomada de decisões ao protagonizarem o uso do aplicativo.

Cabe lembrar ainda que, no contexto da agricultura familiar, a variável educacional é determinante no uso da terra e a falta da componente instrucional pode levar à perda de biodiversidade (Silva Bezerra *et al.*, 2016) e outros problemas correlatos. Adicionalmente, os sistemas de produção conduzidos por populações tradicionais são os que melhor expressam os níveis de complexidade do manejo dos recursos disponíveis e a administração da força de trabalho familiar (Noda & Noda, 2003). Nesse sentido, o projeto contribuirá para preservar e valorizar o patrimônio cultural imaterial e o conhecimento tradicional de povos e comunidades.

4 IMPACTOS AMBIENTAIS E CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE

A produção de cacau no Brasil, sexta maior do mundo, vive um momento decisivo. Seu arcabouço legal proporciona um cenário propício para a cultura do cacau, com emprego digno e maior sustentabilidade ambiental, destacando-se como uma alternativa para consórcios florestais com potencial de recuperação de áreas degradadas e restauração de reservas legais.

A cacauicultura, no seu modelo de sustentabilidade ambiental em sistemas agroflorestais, configura-se como uma das atividades agrícolas de exploração permanente, que presta inúmeros serviços ambientais, tais como: manutenção da biodiversidade, absorção e armazenamento da água de chuva, recarga de lençóis freáticos, redução da erosão do solo e estoque de carbono. Além disso, funciona como estimuladora à contribuição na redução do passivo ambiental via recuperação de áreas degradadas (Pereira Neto, 2012). Assim, pode ser assumida como ativo ambiental passível de comercialização, a exemplo do estoque de carbono armazenado nessas áreas, associado aos mais diversos sistemas de cultivo.

As emissões de todos os setores do bioma Mata Atlântica (agricultura, mudança de uso da terra, resíduos, energia e indústria) foram de 8,55 GtCO2e, entre 2000 e 2018, sendo o segundo bioma em emissões de GEE (gases de efeito estufa) do país, com 21% do total emitido no Brasil no período (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021). O estudo da Fundação SOS Mata Atlântica destaca as estimativas de recuperação decorrente do uso da terra previstas para esse bioma: potencial de diminuir as emissões totais do bioma em até 6,28 GtCO2e, entre 2005 e 2050. Claro, o alcance das metas de redução das emissões e remoção de GEE depende de medidas de governança e da adoção de melhores práticas.

Os produtores de cacau têm uma carência de dados e informações de qualidade, em quantidade, acessíveis rápida e facilmente, e de baixo custo para auxiliar a tomada das decisões necessárias para desempenho de suas atividades. Ressalta-se que essas decisões devem ser feitas em várias escalas temporais, indo desde aquelas relacionadas com as atividades cotidianas (como o manejo do solo, a

adubação, as podas, os tratamentos fitossanitários e a colheita, entre outras), até as referentes ao planejamento das próximas safras e ao futuro da própria cultura no caso das mudanças climáticas e seus impactos. Decisões tomadas corretamente, no momento oportuno, favorecem a sustentabilidade da produção agrícola, a melhoria da qualidade dos produtos obtidos, a otimização dos recursos humanos, materiais e financeiros utilizados, e o acesso a novos mercados.

Os gestores públicos e privados, por outro lado, necessitam normalmente de dados e informações em uma escala espacial mais abrangente que a dos produtores, mais adequada para a tomada de decisões em um nível gerencial, visando aos planejamentos regional e nacional da cultura. Nesse caso, os dados de sensoriamento remoto, adquiridos principalmente pelos sistemas orbitais, são de grande importância para auxiliar o monitoramento das áreas de cacau cultivados em sistemas agroflorestais e a pleno sol.

Os parâmetros que se pretende obter com monitoramento e a análise dos impactos das mudanças climáticas em andamento e previstas para médio e longo prazo são de grande interesse e utilidade tanto para os produtores, individualmente, quanto para os gestores públicos e privados. No caso dos produtores, esse tipo de dado pode auxiliar o manejo adequado dos plantios, o controle de pragas e a recuperação de áreas degradadas. Para os gestores, trata-se de uma informação que pode ser útil, por exemplo, na formulação de políticas públicas que visem tornar a agricultura nacional cada vez mais sustentável ambientalmente.

Adicionalmente, pode-se destacar a importância estratégica do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), concebido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, que tem como premissas básicas e fundamentais a redução da degradação dos ecossistemas, a restauração dos biomas e a adoção de sistemas produtivos de baixo carbono, com finalidade precípua de conservar os recursos naturais e promover o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário (Sotta *et al.*, 2021).

Ressalta-se que o Plano ABC – na perspectiva de cumprir as suas metas nas escalas regional e nacional – delineou alternativas de sistemas produtivos sustentáveis para o setor agropecuário, entre elas: a expansão de ações de recuperação de pastagens degradadas (RPD), a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), as florestas plantadas e SAF. Vale registrar que esses sistemas agrícolas se configuram como estratégia relevante para adaptação às mudanças climáticas, na medida em que promovem sistemas diversificados, o uso sustentável da biodiversidade e dos recursos hídricos, além da prestação de serviços ecossistêmicos, contribuindo, assim, para a estabilidade e sustentabilidade da produção, sem degradação da base dos recursos naturais.

Nesse contexto, enquadra-se o cultivo do cacaueiro em SAF, que se destaca pelo uso de boas práticas agrícolas e pela aplicação de tecnologias de baixa emissão de GEE, além de apresentarem grande potencial de tornar a agricultura mais resiliente às mudanças climáticas, de proporcionar inúmeros benefícios para o sistema de produção, de contribuir para o aumento da produtividade e da renda líquida do produtor, e ainda, de gerar empregos diretos e indiretos no meio rural, notadamente nas escalas local e territorial.

Com efeito, os SAFs com cacaueiros constituem-se numa alternativa sustentável para o enfrentamento dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, haja vista a sua capacidade produtiva, as suas vantagens comparativas e, sobretudo, os seus benefícios agroambientais (cf. Brasil, 2021), centrados na recuperação e na implantação de ativos ambientais e na prestação de uma diversidade de serviços ecossistêmicos de suporte, provisão e de regulação. Entre esses serviços estão: sequestro e retenção de carbono da atmosfera, proteção e manutenção da biodiversidade, proteção do solo contra erosão, reciclagem de nutrientes e retenção dos nutrientes no solo, incorporação de matéria orgânica no solo, retenção da umidade do solo, recomposição de matas ciliares, proteção dos cursos d'água, estabilização microclimática e regulação dos ciclos hidrológicos e recuperação de áreas alteradas.

Assim, contribuindo para o enfrentamento dos desafios mencionados, o monitoramento das mudanças climáticas é de grande importância para a cacauicultura da Bahia e do Brasil, dado que viabiliza a identificação de condições que podem agregar valor aos produtos da cacauicultura. O sistema integrado em desenvolvimento no CacauClima ajudará na proteção das matas e das áreas de assentamentos rurais, e na promoção da mudança cultural entre as partes interessadas, públicas e privadas, fornecendo informações para implementação de práticas de gestão dos recursos naturais, aumento da produtividade do cacau e outras atividades econômicas sustentáveis. A abordagem local contribuirá para a mudança na tendência de desmatamento e emissões de GEE defendida pela agroecologia e fortalecerá a capacidade de adaptação para reduzir a vulnerabilidade climática dos ecossistemas nas comunidades de cultivo de cacau, além do horizonte do projeto de pesquisa e desenvolvimento atualmente em curso.

5 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

A cacauicultura circunscreve-se entre os cultivos com grande importância para a economia mundial, pois tem como característica a agregação de valor ao longo de sua cadeia; especialmente porque, além das amêndoas, pode ser acrescentada a produção de chocolate, cosméticos e gêneros alimentícios como geleias, bebidas e sorvetes (Almeida & Valle, 2010).

Como destacado em Santos Filho *et al.* (2020; 2022), a cacauicultura desempenha um papel estruturante nas atividades sociais e econômicas da Bahia, sendo natural que os municípios produtores de cacau enfrentem variações de produtividade em função de fatores associados a solo, clima, variedade e manejo. Situada majoritariamente no bioma Mata Atlântica, a região cacaueira da Bahia compreende 20% de seus municípios e cultiva aproximadamente 400 mil hectares de cacau, em planície litorânea com proteção natural por sombreamento.

Com a entrada da vassoura-de-bruxa nos anos 1990, o cultivo na região ficou comprometido (Souza *et al.*, 2009), (Santos Filho *et al.*, 2020) e (Gateau-Rey *et al.*, 2018). Como mencionado por Santos Filho e outros (2020), o planejamento da produção e a precisão das estimativas, especificamente quanto à produtividade do cultivo, foram afetados, fazendo-se necessários novos estudos de partição da região ajustados à realidade atual. E de acordo com as previsões apresentadas em Gateau-Rey *et al.* (2018), as agroflorestas de cacau brasileiras estão em risco e a frequência crescente de fortes secas provavelmente causará diminuição da produção de cacau nas próximas décadas.

Os eventos climáticos extremos já observados nas regiões produtoras devem agravar esses efeitos. As perdas por mudanças climáticas no Brasil foram estimadas em até 2,3% do PIB em 2050, comparado aos valores de 2008, impactando sobretudo o Norte e o Nordeste (Margulis & Dubeux, 2010). O sistema de cultivo do cacau cabruca pode reduzir a vulnerabilidade dessa cultura frente aos efeitos das mudanças climáticas (Heming *et al.*, 2022).

Um estudo do Instituto Arapyaú, junto com Coccoa Action Brasil (WCF) e WRI Brasil (2021), revela as vantagens econômicas da cultura do cacau de cenários melhorados após intervenções nas lavouras. Diferentes cenários foram desenhados para o sul da Bahia, mostrando que o rendimento médio de uma cabruca sem manejo (com alto sombreamento), gira em torno de R$ 895,00 ao final do terceiro ano. A partir do momento em que a cabruca tem seu sombreamento controlado (através de assistência técnica), de forma que mantenha 30% de sombreamento, o rendimento médio sobe para R$ 5.414,00, ou seja, um aumento de 505%.

Para qualquer que seja o sistema de cultivo empregado, em que inclusões tecnológicas são propostas, um custo se agrega ao sistema de produção. Portanto, mudanças de padrão na exploração cacaueira devem estar vinculadas primeiro ao desejo do produtor em mudar, sendo, indispensável, a informação dos ganhos/perdas econômicas, sociais e ambientais.

Além disso, a comunidade cacauicultora brasileira vem demandando ferramentas capazes de maximizar o tempo dedicado ao manejo de suas áreas, a tomada de decisão quanto às operações de campo, assim como a melhor aplicação de insumos e o melhor momento para colheita de frutos, independentemente das mudanças climáticas. Outro fator que precisa ser observado no cultivo de cacau

diz respeito à necessidade de aumentar pesquisas e incentivos financeiros para proporcionar mais assistência técnica voltada a combater as principais pragas e doenças da cultura, e de práticas de manejo adaptadas aos cenários climáticos futuros e às mudanças já em curso.

O sistema inteligente de monitoramento que o projeto traz, trabalhando em conjunto com organizações locais produtoras de cacau, somando-se à pesquisa e à análise de dados a ser desenvolvida, permitirá aos agricultores tomar decisões quanto às possíveis inclusões tecnológicas e melhorar as práticas para aumento da produtividade de suas áreas remanescentes. Espera-se que com as possibilidades geradas pelo projeto CacauClima, a produtividade do cacau possa aumentar cerca de três vezes, indo de 300 kg/ha para algo em torno de 900 kg/ha, inspirando-se nos índices que são alcançados em áreas tecnicamente assistidas, aumentando consequentemente a renda atual dos pequenos agricultores.

Na linha do que pode ser adotado para alcançar esse objetivo produtivo, o uso de dados e imagens de sensoriamento remoto tem se mostrado de grande utilidade em aplicações relacionadas ao monitoramento da agricultura e do meio ambiente, principalmente em um país de dimensões continentais e com grandes desafios ambientais e estruturais como o Brasil. Além disso, os dados de sensoriamento remoto combinados com os modelos de cenários atuais e futuros do clima contribuem para instrumentos, como o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos, que auxiliam produtores e agências financiadoras a planejarem e conduzirem suas atividades, reduzindo os riscos associados a adversidades climáticas, o que representa um gargalo para o ecossistema produtivo.

Portanto, é de interesse dos produtores e entidades associadas conhecer as projeções e modelos futuros dos elementos climáticos, para os próximos anos e décadas, projetando riscos e identificando oportunidades, seja sobre as áreas já existentes ou para áreas de potencial expansão da cultura. O impacto econômico dessas ações poderá ser potencializado com a aplicação dos resultados do projeto CacauClima, especificamente no que se refere a tornar a produção de cacau mais sustentável e menos vulnerável às variações climáticas.

Objetivando, ainda, agregar valor à cadeia socioprodutiva do cacau, reunimos em nossa abordagem condições para que a implantação de novas práticas se dê a partir de uma apropriação real dos agricultores em relação aos conhecimentos gerados pelo projeto. Para a equipe do projeto, tal apropriação só pode ocorrer quando os saberes-fazeres são compartilhados, o que implica numa relação real de interlocução entre técnicos e produtores. Para tanto, o trabalho com a percepção desses dois conjuntos de atores locais, tanto em relação às mudanças climáticas, quanto em relação às práticas agrícolas, torna-se central para que um trabalho de construção coletiva de saberes-fazeres se efetive.

Não podemos esquecer que as melhorias na produtividade das plantas, com resultados para a qualidade da amêndoa, além dos benefícios para manter as famílias no campo em atividade economicamente vantajosa, reforçam a cadeia produtiva do cacau, e mesmo do chocolate. Ou seja, o sul da Bahia tem o domínio de toda a cadeia produtiva, da planta ao chocolate. Assim, o sistema de monitoramento inteligente do CacauClima poderá proporcionar lucro agregado aos produtores e melhores condições de vida.

E à medida que a cadeia produtiva do cacau apresente fatores maduros de viabilidade, não só em relação às técnicas de produção, mas também às exigências do mercado, espera-se que isso se converta em boa rentabilidade para a produção familiar. Rentabilidade decorrente de um cenário de oportunidades com efeitos sinérgicos e inter-relacionados, por meio da implantação de áreas de crescimento econômico, desenvolvimento sustentável, preservação do meio ambiente e da segurança alimentar, melhoria da saúde humana, manutenção do patrimônio cultural e consolidação de uma visão integrada e multidimensional.

O conjunto de atividades conduzida por este projeto contribuirá, consequentemente, para fomentar um panorama de uso sustentável da terra e de incremento de capital natural que deverá: 1) aumentar a renda do produtor (por meio da intensificação da produção, mitigação de riscos e do treinamento técnico); 2) permitir a valorização de propriedades que geralmente apresentam abandono ou degradação; 3) incentivar a permanência das populações no campo; 4) aproximar o produtor rural de outros atores da cadeia produtiva, apoiando sua conexão com os mercados; 5) trabalhar com os produtores as responsabilidades sociais e ambientais; 6) ajudar a desmistificar o ônus da recuperação, reduzindo a pressão por áreas de cultivo/exploração e consequentemente a violência no meio rural.

Em linhas gerais, o CacauClima colaborará com o fortalecimento da atividade, contribuindo para minimizar riscos climáticos e o cultivo de plantas mais produtivas e amêndoas de mais qualidade e, consequentemente, garantirá melhor posicionamento dos produtores no mercado, com vendas mais promissoras e maiores lucros para os produtores.

6 CONCLUSÃO

Ao término da execução das atividades previstas, o projeto entregará (i) uma ferramenta de monitoramento meteorológico e climático de áreas com cultivo de cacau em SAFs e a pleno sol, incluindo um aplicativo que possa ser usado por colaboradores voluntários para envio de informações sobre eventos meteorológicos e climáticos; (ii) estações meteorológicas de baixo custo que serão instaladas nas bases experimentais da Ceplac e em propriedades de voluntários que possam custodiá-las; e (iii) uma abordagem integrada para apoiar decisões climaticamente inteligentes, que considere

impactos biofísicos e socioeconômicos em função das flutuações do clima no manejo dos vários sistemas de cultivo de cacau (sombreados e a pleno sol), incluindo material de divulgação com informações quanto ao manejo e gestão sustentável da cacauicultura diante das mudanças climáticas, voltado aos pequenos produtores locais. Dessa forma, será possível minimizar riscos, agregar valor à cadeia socioprodutiva, e fomentar condições para preservação ou recuperação da paisagem local. Esses produtos serão entregues também dentro de uma lógica processual estruturada pela transferência de conhecimento em um trabalho de interlocução com os agricultores e os técnicos de assistência rural que atuam na região, além de outros atores públicos e privados.

Uma vez que o monitoramento ambiental se refere a várias atividades realizadas para obter conhecimento e acompanhar de forma sistemática a situação dos recursos naturais ao longo dos anos, o CacauClima está sendo estruturado com o propósito de ajudar a melhorar os processos produtivos e valorizar as amêndoas do cacau pelo incremento da qualidade. Uma vez construídas e validadas a ferramenta e a abordagem do projeto CacauClima, os atores que atuam na cacauicultura da Bahia poderão contar com um sistema integrado de informações capaz de subsidiar localmente alguns processos de mitigação dos impactos climáticos futuros e em curso, contribuindo para a produtividade sustentável do cacau e a conservação dos recursos naturais.

Trata-se, portanto, de um projeto cujo objetivo é acelerar a transição efetiva e consistente da lavoura cacaueira para um patamar de maior segurança climática, consequentemente mais produtivo, socialmente equilibrado e ambientalmente sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo apoio financeiro ao projeto CacauClima, contrato nº 01.25.0442.00 - Ref.: 2654/24, e a FAPESP pelo suporte ao BI0S (*Brazilian Institute do Data Science*), através do processo nº 2020/09838-0.

REFERÊNCIAS

Almeida, A. A., & Valle, R. R. (2010). Cacao: ecophysiology of growth and production. *Ecophysiology of tropical tree crops*, 37-70.

Araújo, G. J., Martello, F., Sabino, W. O., Andrade, T. O., Costa, L., Teixeira, J. S. G., ... & Carvalheiro, L. G. (2025). Tropical forests and cocoa production: synergies and threats in the chocolate market. *Environmental Conservation*, 52(1), 20-30. https://doi.org/10.1017/S0376892924000304

Asante, P. A., Rahn, E., Anten, N. P., Zuidema, P. A., Morales, A., & Rozendaal, D. M. (2025). Climate change impacts on cocoa production in the major producing countries of West and Central Africa by mid-century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 362, 110393. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110393

Ballarin, A. S., Sone. J. S., Gesualdo, G. C, Schwamback, D., Reis, A., Almagro, A., & Wendland, E. C. (2023). CLIMBra-climate change dataset for Brazil. *Scientific Data* 10(1), 47. https://doi.org/10.1038/s41597-023-01956-z

Bonney, R. (2021). Expanding the Impact of Citizen Science. *BioScience* 71(5):448-451. https://doi.org/10.1093/biosci/biab041

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2021). *Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030: Plano Operacional* / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília: Mapa/DEPROS, 2021.

Chiapetti, J.; Rocha, R.; Conceição, A. (2020*). Panorama da cacauicultura no território litoral sul da Bahia (2015-2019)*. Instituto Floresta Viva: Ilhéus.

Cilas, C., & Bastide, P. (2020). Challenges to cocoa production in the face of climate change and the spread of pests and diseases. *Agronomy*, 10(9), 1232. https://doi.org/10.3390/agronomy10091232

Coltri, P. P., Pinto, H. S., do Valle Gonçalves, R. R., Junior, J. Z., & Dubreuil, V. (2019). Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. *Heliyon*, 5(2), e01263. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01263

Ferrer-Sánchez, Y., Puente-Monar, N. E., & Manrique-Piedra, K. X. (2026). Modelación de la Favorabilidad Climática para Phytophthora spp. en Ecuador: Implicaciones para el Control Biológico en el Cultivo de Cacao. *Terra Latinoamericana*, 44. https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2438

Ferrer-Sánchez, Y., Mafaldo-Sajami, A. A., Plasencia-Vázquez, A. H., & Urdánigo-Zambrano, J. P. (2022). Risk to cocoa cultivation due to changes in the potential distribution of the phytopathogen Moniliophthora perniciosa under climate change scenarios in continental Ecuador. *Terra Latinoamericana*, 40. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1338.

Forti, L. R., da Fonseca-Freire, A. I., de Sá-Filho, G. F., & Szabo, J. K. (2025). Citizens Turning Into Scientists: A Calling to Boost the Knowledge of the Public to Address the Environmental Crisis in the Brazilian Semiarid. *Integrative Conservation*, 4(4), 546-554. https://doi.org/10.1002/inc3.70046

Fundação SOS Mata Atlântica (2021). *Contribuição da Mata Atlântica para a NDC brasileira: análise histórica das emissões de GEE e potencial de mitigação até 2050*. Outubro de 2021.

Gateau-Rey, L, Tanner, E. V., Rapidel, B., Marelli, J. P., & Royaert, S. (2018) Climate change could threaten cocoa production: Effects of 2015-16 El Niño-related drought on cocoa agroforests in Bahia, Brazil. *PLoS ONE* 13(7), e0200454. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200454

Heming, N. M., Schroth, G., Talora, D. C., & Faria, D. (2022). Cabruca agroforestry systems reduce vulnerability of cacao plantations to climate change in southern Bahia. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 48. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00780-w

IBGE (2022). *Produção Agrícola – Lavoura permanente - Cacau*. Ano 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/0. Acesso em 21/5/2026.

IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds)] IPCC, Geneva, Switzerland, 1–34.

Margulis, S., & Dubeux, C. (2010). *Economia da mudança do clima no Brasil. IPEA, boletim regional, urbano e ambiental*, 04 jul. 2010. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5569/1/BRU_n4_economia.pdf. Acesso em 21/8/2024.

Noda, H., & do Nascimento Noda, S. (2003). Agricultura familiar tradicional e conservação da sócio-biodiversidade amazônica. *Interações* (Campo Grande). Disponível em: https://www.multitemas.ucdb.br/interacoes/article/view/559. Acesso em 21/5/2026.

Pereira Neto, J. A. (2012). *Estoque de carbono em sistemas agroflorestais de cacaueiro como subsídios a políticas de serviços ambientais*. 216 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

Sambuichi, R. H., Vidal, D. B., Piasentin, F. B., Jardim, J. G., Viana, T. G., Menezes, A. A., ... & Baligar, V. C. (2012). Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21(4), 1055-1077. https://doi.org/10.1007/s10531-012-0240-3

Santos Filho, L. P. et al. (2020). *Identificação de áreas homogêneas da região cacaueira da Bahia, Brasil*. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico, nº 219. 32p.

Santos Filho, L. P.; Midlej, R. R.; Souza, I. C.; & Zugaib, A. C. C. (2022). *O negócio produção de amêndoas de cacau, no Estado da Bahia*. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico, nº 224, 35p.

Silva Bezerra, F. D., Maciel, R. C. G., da Silveira Cavalcanti, F. C., & Cavalcante Filho, P. G. (Agosto, 2016). Agricultura familiar, uso da terra e sustentabilidade na Amazônia: enfocando a dimensão educacional. *54º Congresso da Sociedade Brasileiro de Economia, Administração e Sociologia Rural*, 2106.

Solidaridad (2021*). Agricultura de baixo carbono na Amazônia: Viabilidade econômica dos cenários de emissões de GEE na produção agrícola familiar*. Solidaridad Brasil. 1a ed. São Paulo: 2021.

Sotta, E. D., Sampaio, F. G., Marzall, K., & Silva, W. G. D. (Org.) (2021). *Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros*. Brasília: MAPA/SENAR. http://192.168.3.118:8080/handle/1/214

Souza, C. A. S.; Aguilar, M. A. G.; Dias, L. A. S. Cacau. In: Monteiro, J. E. B. A. (org.) (2009). *a*. Brasília: INMET. pp. 333-350.

WCF/Instituto Arapyaú/WRI Brasil (2021). *Viabilidade econômica de sistemas produtivos com cacau: Cabruca, Pleno Sol e Sistemas Agroflorestais nos estados da Bahia e do Pará*. Disponível em: https://arapyau.org.br/wp-content/uploads/2021/11/viabilidade-economica-de-sistemas-produtivos-com-cacau.pdf. Acesso em 26/05/2026.