

Biodiversidade, serviços ecossistêmicos e produtividade nas cabrucas:

os tradicionais
sistemas
agroflorestais
de cacau do sul
da Bahia



Autoria:

Dra. Deborah Faria
Dra. Camila Righetto Cassano

Coordenação e revisão:

Victor Ferraz

Projeto Gráfico:

Bruna Foltran

Comunicação:

Daniel Freitas
Luiz Attie
Sabrina Fernandes

Índice

Sumário executivo	4
Introdução	6
As Cabruças na Mata Atlântica do Sul da Bahia	8
Biodiversidade na Cabruças	10
Diversidade de árvores	
Diversidade de fauna	
Serviços Ecosistêmicos	12
Regulação e resiliência climática	
Controle da erosão, retenção de sedimentos, formação de solo e ciclagem de nutrientes	
Regulação e suprimento de água	
Polinização	
Controle de pragas	
Cabruca como modelo agrícola produtivo e biodiverso	17
Planejamento de paisagens multifuncionais	19
Referências bibliográficas	21
English version	23

Sumário executivo

- Os sistemas agroflorestais de cacau do sul da Bahia, conhecidos como cabruças, têm sofrido pressões por intensificação de manejo, conversão para produção a pleno sol e substituição por outras lavouras, reduzindo assim o potencial deste modelo produtivo para a conservação da biodiversidade e resiliência às mudanças climáticas;
- Embora as florestas nativas sejam os grandes reservatórios da biota regional, as cabruças abrigam uma expressiva quantidade de espécies da flora e fauna nativas, reforçando a importância destes sistemas para a conservação da biodiversidade;
- Mais de 300 espécies de árvores são encontradas nas cabruças, a imensa maioria de espécies nativas, incluindo algumas raras e ameaçadas de extinção;
- A diversidade de fauna nas cabruças é ainda mais impressionante, em alguns casos sendo comparável ou até superior à das florestas nativas. Embora a maior parte da fauna seja generalista (espécies com ampla tolerância a diferentes tipos de habitats e que têm uma dieta variada), estes sistemas abrigam muitas espécies florestais, incluindo endêmicas e ameaçadas de extinção como o mico-leão-baiano e a preguiça-de-coleira.
- Além de mitigar os efeitos climáticos adversos, as cabruças são fundamentais para a adaptação do cultivo de cacau quando consideramos que as mudanças climáticas tendem a reduzir drasticamente as áreas adequadas a este cultivo

no sul da Bahia. Caso substituídas por sistemas sem sombra, estima-se que apenas 37% das áreas permaneceriam climaticamente adequadas em um cenário otimista, mas somente 17% na projeção mais pessimista.

- Cabucas contribuem com pelo menos 32 das 59 categorias de serviços ambientais reconhecidas, incluindo serviços de provisão, regulação e culturais.
- Longe de representarem um obstáculo à produção, as agroflorestas tradicionais devem ser vistas como ativos culturais, ambientais e sociais valiosos.
- Instrumentos que reconheçam e valorizem estes benefícios das cabucas são fundamentais. Pagamentos por Serviços Ambientais, Créditos de Carbono e de Biodiversidade são exemplos de mecanismos que podem auxiliar na manutenção destes sistemas, complementando a renda dos produtores e contribuindo para a resiliência da produção.
- Por fim, destaca-se a necessidade de uma abordagem territorial com um desenho de paisagem multifuncional integrado, combinando a presença de sistemas produtivos biodiversos como as cabucas, imersos em paisagens com níveis altos de cobertura florestal nativa.

Introdução

Desde sua introdução no século XVIII, os agricultores do sul da Bahia experimentaram diversos métodos para o cultivo do cacau (*Theobroma cacao*), culminando na criação do sistema agroflorestal conhecido como cabruca. Nesse modelo tradicional, o cacau é plantado no sub-bosque da floresta nativa, preservando uma parte das árvores originais para fornecer sombra às plantações. Por mais de 150 anos, esse sistema posicionou o Brasil como o principal produtor mundial de cacau, ao mesmo tempo em que contribuiu para a conservação significativa da biodiversidade da Mata Atlântica, um dos principais hotspots de biodiversidade do planeta.

Entretanto, este modelo de uso da terra, ambientalmente amigável e climaticamente inteligente, enfrenta mudanças rápidas. Flutuações no preço das commodities, o aumento dos custos de produção e a propagação de doenças fúngicas reduziram drasticamente a produtividade regional. Esta crise atingiu principalmente pequenos produtores familiares e assentados da reforma agrária. Em resposta, muitos produtores têm diminuído de forma significativa os níveis de sombra nas cabruças como forma de aumentar a produtividade no curto prazo. **Embora o aumento da produção seja importante, a transição para sistemas com pouca ou nenhuma sombra pode resultar em uma perda considerável de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, além de comprometer a resiliência das plantações contra pragas e mudanças climáticas, reduzindo de maneira significativa a adequabilidade da região Sul da Bahia para a produção de cacau até 2050 (Heming et al., 2022).**

O objetivo deste documento é **oferecer uma visão abrangente sobre o impacto das cabruças na produção de cacau e seu papel essencial na conservação da biodiversidade regional**. Para isso compilamos as informações mais relevantes e disponíveis sobre o sistema cabruca, porém, quando dados específicos são escassos ou inexistentes, complementamos a análise com informações disponíveis em sistemas agroflorestas semelhantes em outras regiões.

Nossa revisão mostra que, sem dúvida, estas agroflorestas devem ser mais bem manejadas, incluindo o manejo de sombra. Porém, longe de representarem um obstáculo à produção, essas agroflorestas tradicionais devem ser vistas como ativos culturais, ambientais e sociais valiosos. Com o manejo agrícola adequado, as cabruças podem oferecer uma produção sustentável, em sintonia com as demandas do século XXI. Nesse sentido, **instrumentos que reconheçam e valorizem estes benefícios são fundamentais**. Pagamentos por Serviços Ambientais, e Créditos de Carbono e de Biodiversidade são exemplos de mecanismos que podem auxiliar na manutenção destes sistemas, complementando a renda dos produtores e contribuindo para a resiliência da produção.

Além disso, pretende-se reforçar a importância de uma abordagem territorial, com desenho de paisagem multifuncional de forma mais integrada. A integração de sistemas produtivos biodiversos com áreas de proteção e unidades de conservação é fundamental para garantir a conservação da biodiversidade.

As Cabruças na Mata Atlântica do Sul da Bahia

A região cacauera do sul da Bahia, conhecida como Território de Identidade da Costa do Cacau (TILSB), abrange 26 municípios e cerca de 16.000 km², com uma população de 772.000 habitantes.

A economia local é fortemente dependente da agricultura, sendo o cacau a principal atividade, com 78% das propriedades rurais envolvidas em sua produção. O cacau é cultivado de diversas formas na região, desde monoculturas sem sombra, conhecidas como “cacau a pleno sol”, até esquemas agroflorestais. Entre os sistemas agroflorestais, além das tradicionais cabruças, existem alternativas como o cultivo de cacau consorciado com espécies fixadoras de nitrogênio, como a *Erythrina* sp., espécies frutíferas como o cajá (*Spondias mombin*) e o cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), e árvores de valor comercial, como a seringueira (*Hevea brasiliensis*) (Alvim & Pereira, 1965; Alvim & Nair, 1986). No entanto, essas agroflorestas são mais simplificadas do que as cabruças, muitas vezes sendo estabelecidas após a remoção de florestas nativas ou de cabruças tradicionais (Sambuichi, 2012).

Apesar dessas variedades de esquemas produtivos, o sistema de cabruca ainda predomina na região, presente em 62% das propriedades que cultivam cacau, especialmente em pequenas propriedades e na agricultura familiar¹. As cabruças continuam sendo o modelo agroflorestal preferido devido à sua capacidade de combinar produção agrícola e conservação ambiental. Compreendendo a importância desse sistema, o governo da Bahia regulamentou o manejo de árvores nativas em cabruças através do Decreto 15.180/2014 e da Portaria nº 10.225/2015². Esses instrumentos legais definem os critérios para a remoção de árvores nativas e, pela primeira vez, estabeleceram uma definição legal para as cabruças, descritas como “um sistema agroflorestal com densidade de árvores igual ou superior a 20 indivíduos de espécies nativas por hectare, com cultivo em associação a árvores nativas ou exóticas de forma descontínua e aleatória no bioma Mata Atlântica”. Assim, uma cabruca legalmente definida pode englobar plantações de cacau com seringueira ou áreas mais antigas de cacau sob *Erythrina*, desde que sejam enriquecidas com um mínimo necessário de árvores nativas.

1. <https://arapyau.org.br/wp-content/uploads/2020/10/panorama-cacaucultura-bahia.pdf>

2. Esta Portaria foi posteriormente substituída pela PORTARIA CONJUNTA SEMA/INEMA Nº 03 DE 16 DE ABRIL DE 2019

A Mata Atlântica é um dos biomas mais diversos do mundo, estendendo-se por 8 mil km ao longo da costa brasileira, com grande variação em solo, relevo e clima. Na região sul da Bahia e norte do Espírito Santo, localiza-se a “Hileia Bahiana” ou “refúgio baiano”, uma das áreas mais importantes para a conservação devido ao elevado nível de endemismo e à presença de espécies ameaçadas. Entre ~20 e 30% da flora local é exclusiva, ou seja, endêmica dessa região. A diversidade da fauna também é notável, com espécies endêmicas de invertebrados, aves, serpentes, morcegos e primatas, destacando a relevância desse bioma para a preservação da biodiversidade. A região é crucial para a conservação de espécies únicas, o que a torna uma área prioritária em termos de proteção ambiental.



Biodiversidade na Cabruças

Diversidade de **árvores**

A diversidade de árvores nas cabruças, embora não comparável à das florestas nativas, representa uma importante contribuição para a conservação produtiva. Em média, as cabruças retêm cerca de 20% da densidade de árvores encontradas nas florestas nativas (Schroth et al., 2015), com variações entre 10-30% conforme diferentes estudos (ver Alves 1990 e Johns 1999, respectivamente). A composição de espécies de árvores varia bastante entre diferentes cabruças, e por terem sido estabelecidas após o raleamento de florestas, coletivamente, essas plantações abrigam uma parcela importante das espécies nativas de árvores. Ainda, como foram preferencialmente implantadas em solos mais férteis, raramente encontrados em áreas protegidas, as cabruças retêm um subconjunto de espécies adaptadas a essas condições particulares, que muitas vezes estão ausentes em unidades de conservação.

Estudos mais antigos e com uma amostragem reduzida mostram uma média de 76 espécies de árvores de sombra por hectare nas cabruças, com um total de 171 espécies observadas. Porém, uma compilação de inventários florísticos conduzidos em cabruças e florestas da região pelo Laboratório de Ecologia Aplicada à Conservação (LEAC), da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), registrou uma diversidade ainda maior: **304 espécies de árvores nas cabruças, em comparação com 483 espécies amostradas nas florestas**. Neste estudo, **60% das árvores presentes nas cabruças eram de espécies nativas**, e dessas, 25 espécies representavam mais de 72% de todas as árvores observadas. Das espécies exóticas, quatro foram as mais abundantes: jaqueiras, seringueiras, erythrina e o cajá.

Entre as espécies nativas bem representadas nas cabruças encontramos algumas muito valiosas, como *Platymenia reticulata*, *Cedrela fissilis* e *Petrorocarpus rohnii*, que hoje são bem raras em florestas re-

manescentes devido à superexploração. Outras espécies comuns nas cabruças, como a *Inga edulis*, *Albizia polycephala* e *Lecythis pisonis*, são muito importantes para a fauna frugívora, evidenciando o papel das cabruças na manutenção da biodiversidade regional.

Diversidade de fauna

As cabruças mantêm uma estrutura complexa que inclui todos os estratos verticais da vegetação encontrados em florestas maduras, uma característica muitas vezes ausente em florestas secundárias iniciais (Faria et al., 2009). Essa complexidade estrutural cria condições e oferece recursos semelhantes aos das florestas nativas, o que parcialmente explica a diversidade de espécies nas cabruças. Porém, além da estrutura local, a fauna presente em uma cabruca é fortemente influenciada pela paisagem ao seu redor. Quanto maior a presença de floresta nativa ao redor, maior será a biodiversidade. Portanto, cabruças mais ricas em espécies florestais geralmente são aquelas estruturalmente complexas – muitas árvores e de muitas espécies – localizadas em paisagens com níveis elevados de floresta nativa remanescente. Nesta situação, estudos comparativos entre cabruças e florestas primárias revelam que para alguns grupos biológicos a diversidade - número de indivíduos e espécies - nestas agroflorestas é equivalente ou até superior ao encontrado em habitats nativos. Por exemplo, um estudo que investigou borboletas frugívoras, anfíbios, lagartos da serapilheira, morcegos, pequenos mamíferos e aves encontrou que cerca de 60% das espécies florestais e 77,1% das espécies generalistas foram registradas nas cabruças (Pardini et al., 2009).

As cabruças são importantes também para a conservação de espécies ameaçadas. Pesquisas com o mico-leão-baiano (*Leontopithecus chrysomelas*) e a preguiça-de-coleira (*Bradypus torquatus*) mostram que esses animais utilizam as cabruças, chegando a restringir suas áreas de uso a esse sistema (Cassano et al., 2011; Oliveira et al., 2011). Espécies raras, como o rato-do-cacau (*Callistomys pictus*) e o pássaro-acrobata (*Acrobatornis fonsecai*), têm registros concentrados em cabruças (Cassano et al., 2009). Uma nova espécie de vespa, recentemente descoberta e descrita pela ciência (Silva et al., 2024), foi encontrada exclusivamente em florestas e cabruças no sul da Bahia. Essa descoberta revela não apenas a necessidade de aprofundarmos nosso conhecimento sobre a biodiversidade da região, mas também reforça a importância das cabruças na conservação dessa biota única.



florestas maduras



cabruca

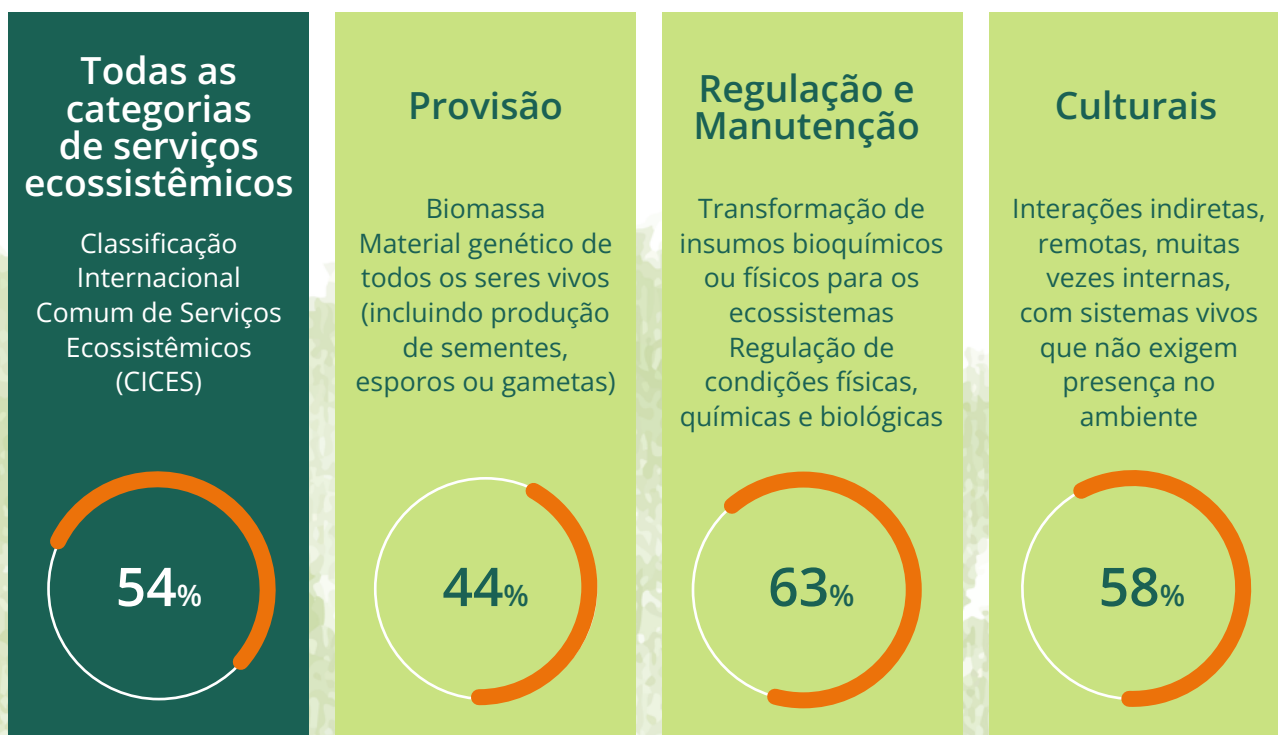


florestas secundárias iniciais

Serviços Ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos englobam todos os bens e serviços fornecidos pela natureza que sustentam a vida e, por isso, influenciam direta ou indiretamente o bem-estar humano (Luck et al., 2009). Segundo Santos et al., (2019), sistemas agroflorestais mais complexos, como é o exemplo das cabucas, proporcionam benefícios significativos. Em comparação aos sistemas de produção convencionais, as agroflorestas retêm 45% mais biodiversidade e fornecem 65% mais serviços ecossistêmicos no total, com um aumento notável de 280% nos serviços de regulação (Santos et al., 2019). Especificamente para as cabucas, evidências diretas e indiretas na literatura indicam que estas agroflorestas contribuem para 32 das 59 categorias de serviços ecossistêmicos (CICES)³, incluindo 11 serviços de provisão, 14 de regulação e 7 culturais (Figura 3, modificada a partir de Coelho, 2023).

3. <https://cices.eu/>



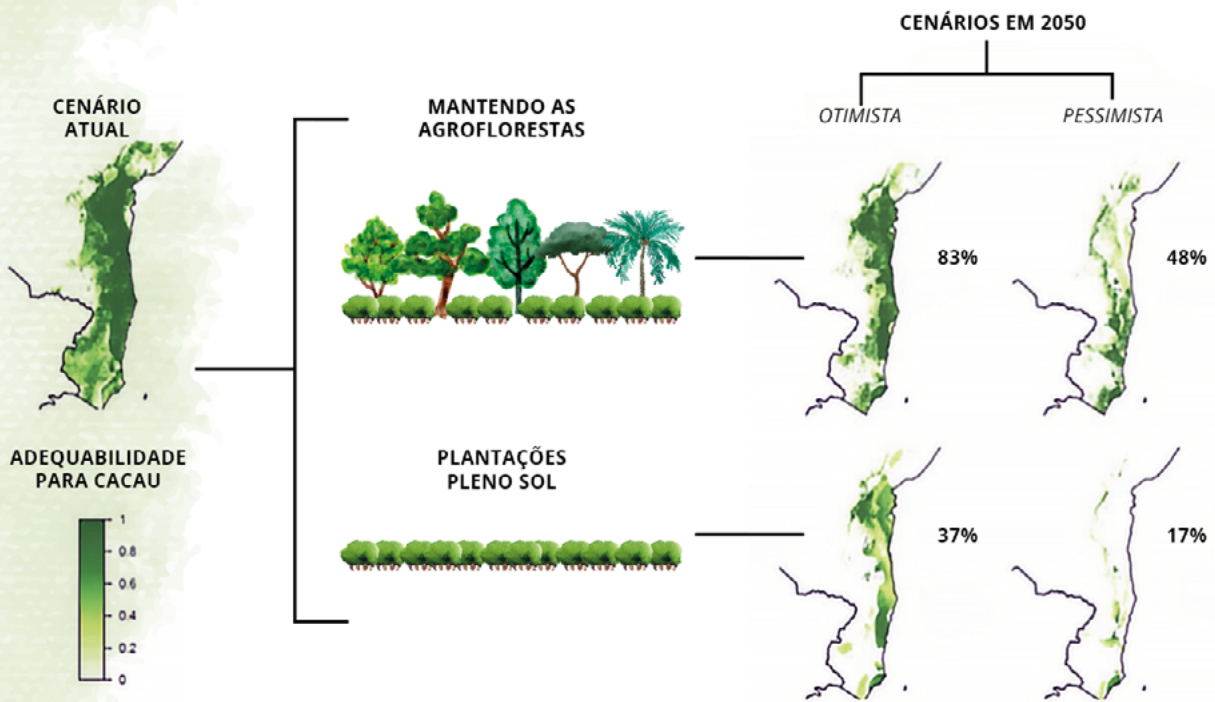


Regulação e resiliência climática

As agroflorestas desempenham um papel fundamental na luta contra as mudanças climáticas, especialmente por meio da captura e armazenamento de carbono. O carbono acima do solo armazenado nas cabruças é de aproximadamente 87 Mg C por hectare, o que representa entre 25% e 48% do que uma floresta madura pode armazenar. Embora menor que o das florestas maduras, essa quantidade é comparável à encontrada em florestas perturbadas e superior à de florestas jovens, menos desenvolvidas (Schroth et al., 2015). Além disso, as cabruças são eficazes em armazenar carbono no solo, graças à decomposição constante de matéria orgânica vinda das plantas de cacau e das árvores que fornecem sombra (Gama-Rodrigues et al., 2010). **O solo nas cabruças contém níveis de carbono semelhantes aos das florestas nativas**, o que contribui para a estabilidade desse carbono ao longo do tempo (Gama-Rodrigues et al., 2010; Monroe et al., 2016). As emissões de CO₂ em cabruças também se assemelham às de florestas naturais, o que as torna uma alternativa valiosa para reduzir os gases de efeito estufa (Costa et al., 2018).

Além de ajudar no armazenamento de carbono, **as árvores de sombra nas cabruças protegem as plantações de cacau contra o estresse causado por falta de água e calor extremo, fatores que se tornam mais intensos com as mudanças climáticas** (Wood & Lass, 2001; Schroth et al., 2016; Gateau-Rey et al., 2018). Ao manter um clima mais estável nas áreas de cultivo, essas árvores ajudam as plantas de cacau a se desenvolverem melhor. **Estudos indicam que as mudanças climáticas podem reduzir drasticamente as áreas adequadas para o cultivo de cacau no sul da Bahia, especialmente se as cabruças forem substituídas por plantações sem sombra** (Heming et al., 2022). No entanto, as cabruças podem mitigar esse impacto, proporcionando proteção às plantas de cacau contra condições climáticas adversas.

Com sua capacidade de estocar carbono, suas baixas emissões e seu papel em mitigar os efeitos das mudanças climáticas, as cabruças se destacam como um **sistema agrícola inteligente em termos climáticos**. Elas não apenas ajudam a conservar o meio ambiente, mas também são uma estratégia eficaz para adaptar o cultivo de cacau às novas condições climáticas.



Adaptado de Heming et al., 2022.



Controle da erosão, retenção de sedimentos, formação de solo e ciclagem de nutrientes

As cabruças, em conjunto com as florestas nativas em diversos estágios de sucessão, formam um mosaico florestal no sul da Bahia. Esse mosaico, aliado à topografia relativamente plana da região, ajuda a reduzir a exposição à erosão, que afeta apenas uma pequena parte das principais bacias hidrográficas ali presentes. Entretanto, estudos mostram que **o desmatamento poderia dobrar a atual taxa de perda de solo**, ressaltando o papel fundamental das agroflorestas como barreiras naturais contra a erosão e na conservação do solo.

A produção de biomassa nas cabruças é significativa, e forma uma camada rica que sustenta uma diversidade de micro e macrofauna do solo, além de microrganismos como bactérias e fungos (Moço et al., 2009). Esses organismos desempenham papéis essenciais na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, processos fundamentais para a manutenção da saúde e fertilidade do solo, fornecendo serviços ecossistêmicos indispensáveis (Salamon et al., 2008).



Regulação e suprimento de água

Embora não existam pesquisas específicas sobre como as cabruças afetam o ciclo da água, um estudo estimou que um hectare de terra no sul da Bahia pode gerar cerca de 4.000 litros de água por dia, graças ao mosaico florestal, que além de florestas nativas é composto por cabruças (Mattos et al., 2018). Portanto, é possível inferir que as cabruças têm um impacto positivo na produção de água na região. Ainda, como as cabruças cobrem a maior parte da área florestal da região, uma parte grande das nascentes está localizada neste tipo de uso da terra. De fato, uma modelagem preliminar sobre a distribuição espacial de nascentes na região, indicou que **cerca de 60% delas estariam em áreas hoje cobertas por agroflorestas de cacau** (Mariano-Neto, dados não publicados).



Polinização

A polinização é um serviço ecossistêmico vital para a manutenção dos ecossistemas naturais, especialmente nas florestas tropicais, onde quase 90% das plantas dependem de animais para sua reprodução (Ollerton et al., 2011). Da mesma forma, muitos cultivos agrícolas, como o cacau, dependem de polinizadores. No sul da Bahia, grande parte das variedades de cacau são auto-incompatíveis, ou seja, a formação de frutos depende diretamente do processo de polinização. A presença de polinizadores aumenta a visitação das flores e, conseqüentemente, a formação de frutos, como demonstrado em áreas onde há maior densidade de locais de nidificação, como caules de bananeiras e restos de cascas de cacau (Young, 1982; Forbes & Northfield, 2017).

As cabruças, com sua complexidade estrutural e grande diversidade arbórea, desempenham um papel importante na manutenção de diversas espécies de polinizadores. Elas fornecem recursos florais, abrigo e locais de reprodução não só para polinizadores do cacau, mas também para outras espécies que podem se deslocar para florestas vizinhas e áreas agrícolas. Isso **aumenta a diversidade de polinizadores nestas paisagens da região, fortalecendo tanto os sistemas naturais quanto os produtivos**, a exemplo do café e do mangostão. Isso **reforça o papel crucial das cabruças não só na produção agrícola**, mas também na preservação da biodiversidade e na prestação de serviços ecossistêmicos relacionados à polinização.



Controle de pragas

Diversos estudos mostram a importância das espécies nativas no controle natural de pragas em plantações agrícolas (Wielgoss et al., 2014; Maas et al., 2013). Áreas com maior diversidade de árvores tendem a atrair mais parasitoides, vetores que ajudam a controlar pragas do cacau, especialmente durante períodos mais quentes (Sperber et al., 2012). Além disso, animais voadores como morcegos e aves têm um papel importante no controle de insetos herbívoros que podem danificar as plantas de cacau (Cassano et al., 2016). Por exemplo, morcegos ajudam a reduzir a população do besouro *Percolaspis ornata*, uma praga comum em plantações de cacau, conhecida como vaquinha verde (Lopes, 2021). As cabruças também abrigam besouros predadores em grande quantidade, com uma diversidade comparável ou até maior do que em florestas, o que aumenta seu potencial para o controle de pragas (Novais et al., 2017).

Embora faltem estudos específicos sobre os impactos econômicos do controle de pragas nas cabruças, pesquisas em agroflorestas de cacau na Indonésia, que têm características semelhantes, oferecem algumas pistas. Por exemplo, Maas et al., (2013) mostram que, **quando aves e morcegos foram impedidos de acessar os pés de cacau, e, portanto, predação os invertebrados que causam danos ao cacau, a produtividade caiu até 31%**. Além disso, Gras et al., (2016) indicam que manter 30-40% de cobertura de árvores sombreando o cacau pode evitar perdas anuais entre de 100 a 800 kg de amêndoas por hectare, devido ao efeito positivo de formigas e aves no controle de insetos.

Assim, **a diversidade de espécies presentes nas cabruças, como aves, morcegos, besouros predadores e parasitoides, é essencial para o controle natural de insetos**. Embora mais estudos sejam necessários para entender melhor os impactos econômicos nas cabruças, as evidências sugerem que manter a biota associada a esse sistema pode trazer benefícios para a produtividade, ao reduzir o impacto de pragas.

Cabruca como modelo agrícola produtivo e biodiverso

As cabruças, como outras agroflorestas, têm geralmente uma produtividade de cacau inferior àquela obtida em monocultivos. No curto prazo, estima-se que esquemas agroflorestais produzam cerca de 25% menos cacau quando comparados a monoculturas. No entanto, ao se analisar o sistema completo, o rendimento total das agroflorestas, que inclui outros produtos como frutas e madeira, pode ser até 10 vezes maior do que em sistemas convencionais (Neither et al., 2020). Essa diversidade de recursos oferece benefícios adicionais, especialmente para pequenos agricultores, ao contribuir para a segurança alimentar e a geração de renda local. Além do cacau, são cultivadas pelo menos 65 espécies de plantas em fazendas de cacau na região, para consumo próprio ou comercialização em mercados locais.

Estudos sugerem que dobrar a produtividade média de cacau seria possível com níveis intermediários de sombra (até 55%) ou estoques de carbono nas árvores de sombra (até 65 Mg C ha⁻¹) (Schroth et al., 2016). Fazendas que adotam boas práticas agrícolas básicas, como poda e uso de fertilizantes agroecológicos, podem aumentar a produtividade, mesmo com níveis razoáveis de sombra, chegando a produzir até 3,7 vezes mais que a média regional. No entanto, a baixa adoção de práticas agrícolas adequadas, como preparo do solo e controle de pragas, é um grande fator que explica a baixa produtividade na região. Embora níveis altos de sombra certamente limitem a produção, sem a implementação de técnicas adequadas, aumentos significativos na produtividade são improváveis.

As cabruças não substituem as florestas nativas como reservatórios de biodiversidade ou provedores de serviços ambientais essenciais, mas desempenham um papel importante na conservação da biodiversidade em paisagens produtivas. Como sistemas agroflorestais focados na produção, suas limitações para a conservação são claras, e elas sozinhas não conseguem garantir a manutenção da biodiversidade em larga escala. Porém, a baixa representatividade das áreas protegidas na região também indica que apenas elas são insuficientes para garantir a conservação da biodiversidade, e o crescente desmatamento da Mata Atlântica agrava essa vulnerabilidade (Faria et al., 2023).

Quando comparadas a outros usos da terra, as cabruças atingem vários objetivos de conservação, mesmo de maneira não intencional. Portanto, a sobrevivência da biodiversidade regional depende tanto da conservação das áreas naturais protegidas quanto da manutenção de sistemas produtivos sustentáveis, como as cabruças.

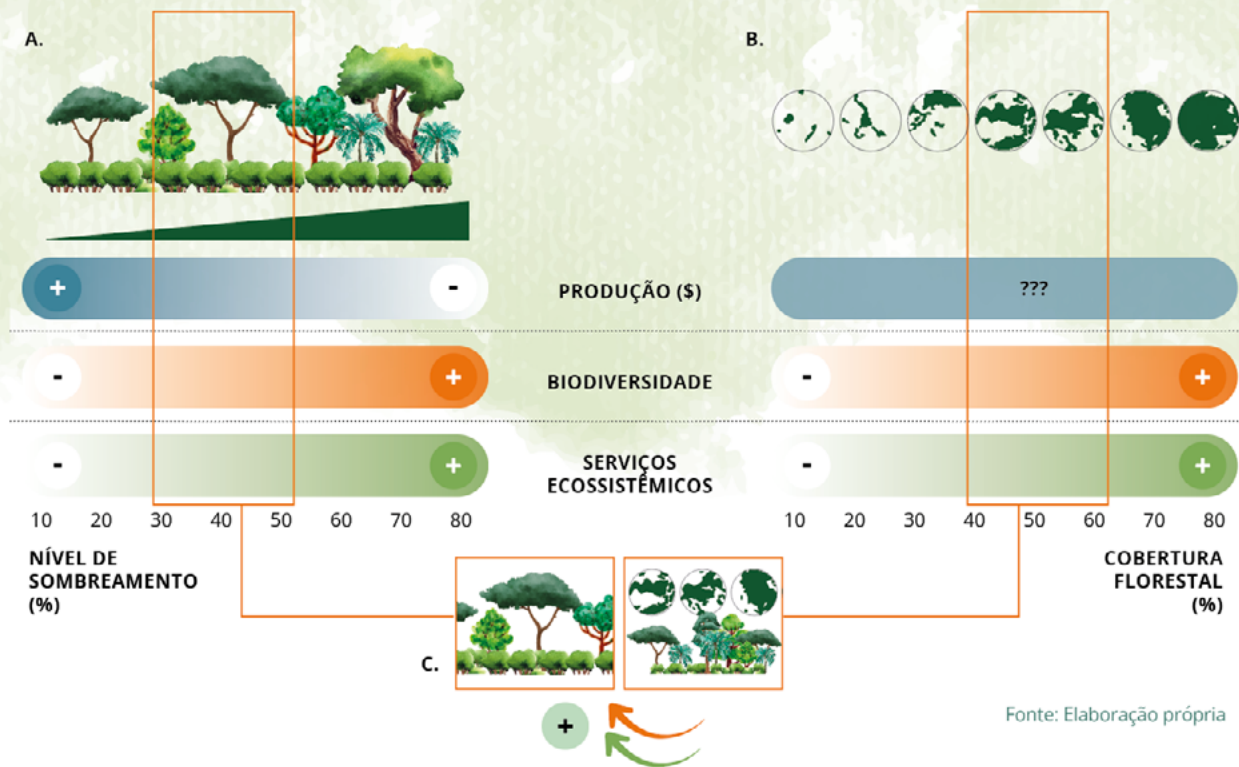
Planejamento de paisagens multifuncionais

Em escala regional, as cabruças abrigam uma parte significativa da biota nativa, graças à combinação de sua complexidade estrutural, que se assemelha à das florestas, e à influência dos fragmentos florestais ao seu redor. Quanto mais complexa for a cabruca, mais espécies ela consegue suportar (Silva et al., 2020).

Além disso, quando localizadas em paisagens dominadas por florestas, as cabruças funcionam como corredores, **conectando fragmentos de floresta e facilitando a movimentação de espécies, o que ajuda a manter a conectividade ecológica da paisagem** (Faria et al., 2007; Pardini et al., 2009).

Em áreas onde a cobertura florestal é menor, seja devido à predominância de cabruças ou outros usos da terra, observamos menos espécies de floresta e mais espécies generalistas. Ainda assim, mesmo nessas condições menos favoráveis, **as cabruças podem servir como importantes ou até como únicos refúgios para espécies que dependem de ambientes florestais, desempenhando um papel fundamental na preservação da biodiversidade local.**

A biodiversidade e os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas cabruças refletem o balanço entre processos que ocorrem em diferentes escalas espaciais. Em escala local, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos aumentam com maiores níveis de sombra, enquanto a produção de cacau tende a diminuir, embora seja influenciada por práticas de manejo adequadas. Em uma escala maior, a quantidade de floresta ao redor das cabruças afeta positivamente os níveis de biodiversidade e serviços ecossistêmicos dentro delas. Embora não seja claro como essa escala afeta diretamente a produção de cacau, é possível que haja uma relação indireta, através de serviços como o de controle de pragas.



Fonte: Elaboração própria

Em um modelo teórico de paisagens multifuncionais, podemos sugerir um limite máximo de 50% de sombra para garantir a produção e pelo menos 40% de cobertura florestal em escala de paisagem para manter espécies florestais de vários grupos biológicos (Arroyo et al., 2020), como um cenário ótimo para equilibrar produção, biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Embora diferentes grupos biológicos e serviços ecossistêmicos respondam de forma variada às mudanças no uso da terra, é possível sugerir que perdas na diversidade de espécies e serviços causadas pela intensificação agrícola, como a redução de sombra ou a homogeneização das árvores, poderiam ser compensadas pelo aumento da presença de florestas nas paisagens ao redor. Compreender como a biodiversidade reage a essas mudanças em diferentes escalas espaciais é crucial para prever suas tendências. **A partir desse entendimento, por exemplo, é possível planejar a restauração de áreas degradadas usando agroflorestas mais complexas e com maior potencial de contribuição para a biodiversidade.**

Ao contrário de um obstáculo para a produção, essas agroflorestas tradicionais devem ser reconhecidas como importantes ativos culturais, ambientais e sociais. Com a adoção de técnicas agrícolas mais adequadas, elas podem atender à demanda crescente dos consumidores do século XXI por uma produção mais sustentável. **Aprimorar o manejo agrícola mantendo altos níveis de biodiversidade e serviços ecossistêmicos parece uma alternativa possível para este uso da terra, cujos princípios podem inspirar a implantação de sistemas semelhantes em novas áreas.**

Referências bibliográficas

Alvim, P. de T. and Pereira, C. P. 1965. Sombra e espaçamento nas plantações de cacau no Estado da Bahia e Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, Bahia, Brasil. Pp.18-19. In: *Relatório Anual do CEPEC* 1964. CEPLAC, Ilhéus.

Alvim, R. and Nair, P. K. R. 1986. Combination of cacao with other plantation crops: an agroforestry system in Southeast Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 4: 3-15.

Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J.I., Tischendorf, L., Benchimol, M. and Tscharrntke, T. 2020. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*. 23: 1404-1420.

Cassano, C. R., Silva, R. M., Mariano-Neto, E., Schroth, G. and Faria, D. 2016. Bat and bird exclusion but not shade cover influence arthropod abundance and cacao leaf consumption in agroforestry landscape in northeast Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 247-253

Cassano, C.R.; Kierulff, M.C.M. and Chiarello, A.G. 2011. The cacao agroforests of the Brazilian Atlantic Forest as habitat for the endangered maned sloth *Bradypus torquatus*. *Mammalian Biology*, 76(3): 243-250.

Cassano, C.R.; Schroth, G.; Faria, D., Delabie, J.H. and Bede, L. 2009. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cacao producing region of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18: 577-603.

Coelho, N.R. 2023. Política de pagamento por serviços ambientais no Sul da Bahia: desafios, potencialidades e proposta de compensação. PHD thesis - Universidade Estadual de Santa Cruz, Brazil.

Costa, E.N.D; De Souza, M. F.L.; Marrocos, P.C.L.; Lobão, D. and Silva, D.M.L. 2018. Soil organic matter and CO₂ fluxes in small tropical watersheds under forest and cacao agroforestry. *PLOS ONE* 13(7): e0200550

Faria, D.; Mariano-Neto, E.; Martini, A.M.Z.; Ortiz, J.V.; Montingelli, R.; Rosso, S.; Paciencia, M.L.B. and Baumgarten, J. 2009. Forest structure in a mosaic of rainforest sites: the effect of fragmentation and recovery after clear cut. *Forest Ecology and Management*, 257: 2226-2234.

Faria, D.; Morante-Filho, J.C.; Baumgarten, J.; Bovendorp, R.S.; Cazetta, E.; Gaiotto, F.A.; Mariano-Neto, E.; Mielke, M.S.; Pessoa, M.S.; Rocha-Santos, L.; Santos, A.S.; Soares, L.A.S.S.; Talora, D.C.; Vieira, E.M. and Benchimol, M. 2023. The breakdown of ecosystem functionality driven by deforestation in a global biodiversity hotspot. 829 *Biological Conservation*, 283: 110126.

Faria, D.; Paciencia, M.L.B.; Dixo, M.; Laps, R.R. and Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic Forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2335-2357.

Forbes, Samantha J. and Northfield, T. D. 2017. Increased pollinator habitat enhances cacao fruit set and predator conservation. *Ecological Applications*, 27(3): 887-899.

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

Gateau-Rey L.; Tanner E.V.J.;

Rapidel B.; Marelli J.P. and Roy-aert, 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: e0200454.

Gras, P.; Tscharrntke, T.; Maas, B.; Tjoa, A.; Hafsaah, A. and Clough, Y. 2016. How ants, birds and bats affect crop yield along shade gradients in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 53(3): 953-963.

Heming, N. M. ; Schroth, G. ; Talora, D. C. and Faria, D. 2022. Cabruca agroforestry systems reduce vulnerability of cacao plantations to climate change in Southern Bahia, Brazil. *Agronomy for Sustainable Development*, 42 :1-12.

Lopes, S.O. 2021. O controle de insetos-praga por morcegos e a influência da paisagem sobre os grupos funcionais de morcegos em Sistema Agroflorestais no sul da Bahia. PHD thesis - Universidade Estadual de Santa Cruz, Brazil.

Luck G.W.; Harrington, R.; Harrison P.A.; Kremen, C.; Berry, P.M.; Bugter, R.; Dawson, T.P.; De Bello, F.; Díaz, S. and Feld, C.K. 2009. Quantifying the contribution of organisms to the provision of ecosystem services. *BioScience*, 59: 223-235.

Maas, B.; Clough, Y. and Tscharrntke, T. 2013. Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. *Ecology Letters*, 16: 1480-1487.

Mattos J.B; Santos, D.A.; Falcão Filho, C.A.T.; Santos, T.J.; dos Santos, M.G. and De Paula, F.C.F. 2018. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. *Environmental Science and Policy*, 84: 52-59.

- Moço, M.K.S.; Gama-Rodrigues, E.F. Gama-Rodrigues, A.C.; Machado, R.C.R. and Baligar, V.C. 2009. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforest Systems*, 76: 127-138.
- Monroe, P.H.M.; Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C. and Marques, J.R.B. 2016. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221: 99-108.
- Niether, W.; Jacobi, J.; Blaser, W. J.; Andres, C. and Armengot, L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10): 04085.
- Novais, S.M.; Macedo-Reis, L.E. and Neves, F.S. 2017. Predatory beetles in cacao agroforestry systems in Brazilian Atlantic Forest: a test of the natural enemy hypothesis. *Agroforestry Systems*, 91: 201-209.
- Oliveira, L.; G Neves, L.; E Raboy, B. and Dietz, J. M. 2011. Abundance of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) affects group characteristics and use of space by golden-headed lion tamarins (*Leontopithecus chrysomelas*) in cabruca agroforest. *Environmental Management*, 48: 248-262.
- Ollerton, J.; Winfree, R. and Tarrant, S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3): 321-326.
- Pardini, R.; Faria, D.; Accacio, G.M.; Laps, R.R.; Mariano-Neto, E.; Paciencia, M.L.; Dixo, M. and Baumgarten, J. 2009. The challenge of maintaining Atlantic Forest biodiversity: a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agroforestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation*, 142(6): 1178-1190.
- Salamon, J.A.; Scheu, S. and Schaefer, M. 2008. The Collembola community of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. *Pedobiologia*, 51(5-6): 385-396.
- Sambuichi, R.H.R.; Vidal, D.B.; Piasentin, F.B.; Jardim, J.G.; Viana, T.G.; Menezes, A.A.; Mello, D.L.N.; Ahnert D. and Baligar, V.C. 2012. Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21: 1055-1077. doi:10.1007/s10531-012-0240-3.
- Santos, P.Z.F.; Crouzeilles, R. and Sansevero, J.B.B. 2019. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest ecology and management*, 433: 140-145.
- Schroth, G.; Bede, L.C.; Paiva, A.O.; Cassano, C.R.; Amorim, A.M.; Faria, D.; Mariano-Neto, E.; Martini, A.M.Z.; Sambuichi, R.H.R. and Lôbo, R.N. 2015 Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20: 1175-1190.
- Schroth, G.; Jeusset, A.; Gomes, A.S.; Florence, C.T.; Coelho, N.A.P.; Faria, D. and Läderach, P. 2016. Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21: 67-80.
- Silva, A.A.D.S.; Alvarez, M.R.D.V.; Mariano Neto, E. and Cassano, C.R. 2020. Is shadier better? The effect of agroforestry management on small mammal diversity. *Biotropica*, 52(3): 470-479.
- Silva, A.A.D.S.; Alvarez, M.R.D.V.; Mariano Neto, E. and Cassano, C.R. 2020. Is shadier better? The effect of agroforestry management on small mammal diversity. *Biotropica*, 52(3): 470-479.
- Sperber, C.F.; Azevedo, C.O.; Muscardi, D.C.; Szinwelski, N. and Almeida, S. 2012. Drivers of parasitoid wasps' community composition in cacao agroforestry practice in Bahia State, Brazil. *See Reference*, 59: 45-64.
- Wielgoss, A.; Tschardt, T.; Rumed, A.; Fiala, B.; Seidel, H.; Shahabuddin, S. and Clough, Y. 2014. Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems. *Proceedings of the Royal Society B*, 281: 20132144.
- Wood, G.A.R. and Lass, R.A. 2001. *Cocoa*, 4th edn. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Young, A. M. 1982. Effects of Shade Cover and Availability of Midge Breeding Sites on Pollinating Midge Populations and Fruit Set in Two Cocoa Farms. *Journal of Applied Ecology*, 19(1): 47-63.

Biodiversity, ecosystem services and productivity in *cabruças*:

traditional cocoa agroforestry systems in southern Bahia, Brazil

Executive summary	24
Introduction	26
Cabruças in the Atlantic Rainforest in southern Bahia	28
Biodiversity in cabruças	30
Tree diversity	
Fauna diversity	
Ecosystem services	32
Regulation and climate resilience	
Control of erosion, sediment retention, soil formation and nutrient cycle	
Water regulation and supply	
Pollination	
Pest control	
Cabruça as a productive and biodiverse agricultural model	37
Planning multifunctional landscapes	39
Bibliographic references	41

Executive summary

- Traditional cocoa agroforestry systems in southern Bahia, Brazil known as cabruças, have experienced pressure from intensified management, conversion to 'full sun' production and substitution by other crops, thus reducing the potential of this productive model for biodiversity conservation and resilience to climate change.
- Although native forests are the major reserves of regional biota, cabruças harbour a significant amount of native flora and fauna species, underlining the importance of these systems for biodiversity conservation.
- More than 300 tree species are found in cabruças, most of them native species, including some that are rare and threatened with extinction.
- Fauna diversity in cabruças is even more impressive, in some cases comparable or even superior to that found in native forests. Although most of the fauna is generalist (species with ample tolerance to different kinds of habitat and a varied diet), these systems shelter many forest species, including ones that are endemic and threatened with extinction, such as the golden-headed lion tamarin and the maned sloth.
- As well as mitigating adverse climate effects, cabruças are fundamental to the adaptation of cocoa cultivation, when we consider that climate change tends to drastically reduce the amount of space suitable for this kind of cultivation in southern Bahia. If they were substituted by systems that do not make use of shade, it is estimated that just 37% of areas

would remain viable in an optimistic forecast, and only 17% in the most pessimistic one.

- Cabruças contribute to at least 32 of the 59 recognized categories of environmental services, including provisioning, regulating, and cultural services.
- Far from representing an obstacle to production, however, these traditional agroforests must be seen as valuable cultural, environmental and social assets.
- Tools that recognise and value these benefits of cabruças are fundamental. Payments for environmental services and carbon and biodiversity credits are examples of mechanisms that can help to maintain these systems, complementing the producers' income and making production more resilient.
- Finally, we underline the need for a territorial approach with an integrated multifunctional landscape design, combining the presence of biodiverse systems of production such as cabruças, immersed in landscapes with high levels of native forest cover.

Introduction

Since its introduction in the 18th century, farmers in southern Bahia have tried out diverse methods of cultivating cocoa (*Theobroma cocoa*), culminating in the creation of the agroforestry system known as cabruca. In this traditional method, cocoa is planted in the understory of a native forest, preserving part of the original trees to supply shade to the plantation. For more than 150 years, this system made Brazil the main global producer of cocoa, while simultaneously contributing towards significant conservation of biodiversity in the Atlantic Rainforest, one of the planet's main biodiversity hotspots.

However, this land use model, environmentally friendly and climatically intelligent, faces rapid changes. Fluctuations in commodity prices, increasing production costs and the propagation of fungal diseases have drastically reduced regional productivity. This crisis has mainly affected small family producers who were given land following agrarian reforms. In response, many producers have drastically decreased shade levels in cabruças as a way of increasing short-term productivity. **Although increasing production is important, transitioning into systems with little or no shade can result in considerable loss of biodiversity and ecosystem services, as well as compromising plantations' resilience against pests and climate change, significantly reducing the southern Bahia region's suitability for cocoa production by 2050 (Heming et al., 2022).**

This document aims to **offer a wide-ranging view of the impact of cabruças on cocoa production and their essential role in conserving regional biodiversity**. To this end, we gather the most relevant information available regarding the cabruça system. When specific data are scarce or non-existent, we complement the analysis with available information on similar agroforestry systems in other regions.

Our survey shows that, without a doubt, these agroforests must be better managed, including the management of shade. Far from representing an obstacle to production, however, these traditional agroforests must be seen as valuable cultural, environmental and social assets. With adequate agricultural management, cabruças can offer a sustainable form of production that is in symphony with 21st century demands. In this sense, **tools that recognise and value these benefits are fundamental**. Payments for Environmental Services and Carbon and Biodiversity Credits are examples of mechanisms that can aid the maintenance of these systems, complementing producers' income and helping to make production more resilient.

We also aim to reiterate the importance of a territorial approach, with a highly integrated multifunctional landscape design. The integration of biodiverse productive systems with protection areas and conservation units is fundamental to guaranteeing biodiversity conservation.

Cabruças in the Atlantic Rainforest in southern Bahia

The cocoa-producing region in southern Bahia, known as the Cocoa Coast Identity Territory, encompasses 26 municipalities and close to 16,000 km², with a population of 772,000 inhabitants.

The local economy is strongly dependent on agriculture, with cocoa as the main activity and 78% of rural properties involved in its production. Cocoa cultivation in the region is done in several ways, from shadeless monoculture, known as ‘full sun cocoa’, to agroforestry. Among the agroforestry systems, as well as the traditional cabruças, there are alternatives such as the cultivation of cocoa in consort with nitrogen fixing species such as *Erythrina* sp., fruit-bearing species such as yellow mombin (*Spondias mombin*) and clove (*Syzygium aromaticum*), and trees with a high commercial value, such as the rubber tree (*Hevea brasiliensis*) (Alvim & Pereira, 1965; Alvim & Nair, 1986). However, these other kinds of agroforest are less complex than cabruças, often established after the removal of native forests or traditional cabruças (Sambuichi, 2012).

Despite these varied production methods, the cabruça system still predominates in the region and is present in 62% of cocoa-producing properties, especially in small properties and family agriculture¹. Cabruças continue to be the preferred agroforestry model, owing to their ability to combine agricultural production and environmental conservation. Understanding the importance of this system, the government of Bahia regulated the management of native trees in cabruças through Decree 15.180/2014 and Directive 10.225/2015². These legal instruments defined the criteria for the removal of native trees and, for the first time, established a legal definition for cabruças, described as ‘an agroforestry system with a tree density equal to or greater than 20 individual native species per hectare, with cultivation taking place alongside with native or exotic trees in an discontinuous and random way in the Atlantic Rainforest biome’. Thus, a legally defined cabruça can encompass cocoa and rubber plantations or older areas with cocoa growing beneath *Erythrina* trees, since all are enriched with the necessary minimum number of native trees.

1. <https://arapyau.org.br/wp-content/uploads/2020/10/panorama-cacaucultura-bahia.pdf>

2. This directive was later replaced by JOINT DIRECTIVE SEMA/INEMA N° 03, 16 APRIL 2019

The Atlantic Rainforest is one of the world's most diverse biomes, spreading across 8 thousand km of land adjacent to the Brazilian coast, with great variations in soil, relief and climate. The southern part of Bahia and the north of Espírito Santo is home to the 'Hileia Bahiana' or 'Bahian Refuge', one of the most important areas for conservation owing to a high level of endemism and the presence of many threatened species. Between ~20 and 30% of the local flora is exclusive, that is, endemic to this region. Fauna diversity is also notable, with endemic invertebrate, bird, snake, bat and primate species, underlining the importance of those biomes for preserving biodiversity. The region is crucial for the conservation of unique species, making it a priority region in terms of environmental protection.



Biodiversity in cabruças

Tree diversity

Diversity of trees in cabruças, though not comparable to that in native forests, represents an important contribution to productive conservation. On average, cabruças retain close to 20% of the tree density found in native forests (Schroth et al., 2015), with variations ranging from 10 to 30% according to different studies (see Alves 1990 and Johns 1999, respectively). The composition of tree species varies considerably between different cabruças, and for having been established after the destruction of forests, collectively these plantations harbour an important portion of native tree species. Additionally, because they were preferentially planted in more fertile soils, which are not commonly found in protected areas, cabruças harbour a subset of species, often absent in conservation units, that are adapted to these particular conditions.

Older studies with smaller samples show an average of 76 species of shading trees per hectare in cabruças, with a total of 171 observed species. However, a compilation of tree inventories conducted in cabruças and forests in the region by the Applied Ecology and Conservation Laboratory at the State University of Santa Cruz (UESC), recorded an even greater diversity: **304 tree species in cabruças, compared with 483 species sampled in forests. In this study, 60% of trees present in cabruças were from native species**, and of these, 25 species represented more than 72% of all those observed. Of the exotic species, four were most abundant: jackfruit, rubber, erythrina and yellow mombin.

Among the native species well represented in cabruças, we find some of very high value, such as *Platymenia reticulata*, *Cedrela fissilis* and *Petrorocarpus rohnii*, which are very rare in remaining forests nowadays because of overexploitation. Other species common in

cabrucas, such as *Inga edulis*, *Albizia polycephala* and *Lecythis pisonis*, are very important for fructivorous fauna, providing clear evidence of the role cabrucas play in maintaining regional biodiversity.

Fauna diversity

Cabrucas have a complex structure which includes all the vertical strata of vegetation found in mature forests, a characteristic very often absent in initial secondary forests (Faria et al., 2009). This structural complexity creates conditions and offers resources similar to those in native forests, which partially explains the diversity of species in cabrucas. However, as well as local structure, the fauna present in a cabruca is strongly influenced by the surrounding landscape. The greater the presence of surrounding native forest, the greater the biodiversity will be. Therefore, cabrucas richer in forest species tend to be those that are structurally complex – many trees coming from many species – and located in landscapes with high levels of surviving forest cover. In this situation, comparative studies between cabrucas and primary forests reveal that for some biological groups, diversity – the number of individuals and species – in these agroforests is equivalent to or even greater than that found in native habitats. For example, a study that investigated frugivorous butterflies, amphibians, leaf-litter lizards, bats, small mammals and birds found that close to 60% of forest species and 77.1% of generalist species were recorded in cabrucas (Pardini et al., 2009).

Cabrucas are also important in the conservation of threatened species. Research carried out on the **Golden-headed lion tamarin** (*Leontopithecus chrysomelas*) and the **maned sloth** (*Bradypus torquatus*) show that these animals use cabrucas to such an extent that they limit their usage areas to this system (Cassano et al., 2011; Oliveira & Diets, 2011). Rare species, such as the painted tree-rat (*Callistomys pictus*) and the Pink-legged graveteiro (*Acrobatornis fonsecai*), have been mostly recorded in cabrucas (Cassano et al., 2014). A new wasp species, recently discovered and described by science (Silva et al., 2024), was found exclusively in the forests and cabrucas of southern Bahia. This discovery not only reveals the need for us to deepen our knowledge of biodiversity in the region, but also reinforces the importance of cabrucas in the conservation of this unique biota.



mature
forest



cabruca

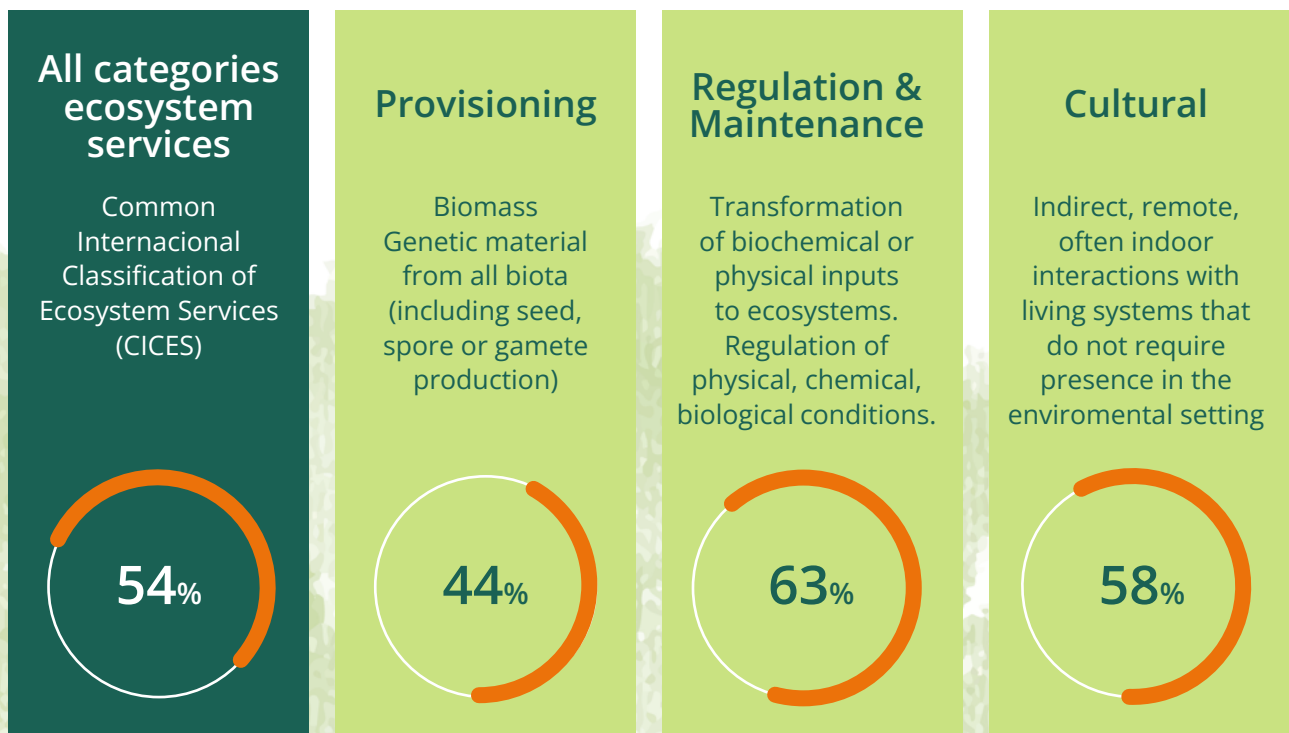


early-secondary
forest

Ecosystem services

Ecosystem services encompass all the goods and services supplied by nature that sustain life and, thus, directly or indirectly influence human wellbeing (Luck et al., 2009). According to Santos et al., (2019), more complex agroforestry systems, like cabruças, bring significant benefits. Compared to conventional production systems, agroforests hold 45% more biodiversity and supply 65% more ecosystem services in total, with a notable increase of 280% in regulation services (Santos et al., 2019). In the specific case of cabruças, direct and indirect evidence in the literature indicates that these agroforests contribute to 32 of the 59 categories of ecosystem services (CICES)³, including 11 provisioning services, 14 regulation and maintenance services and 7 cultural ones (Figure 3, modified from Coelho, 2023).

3. <https://cices.eu/>



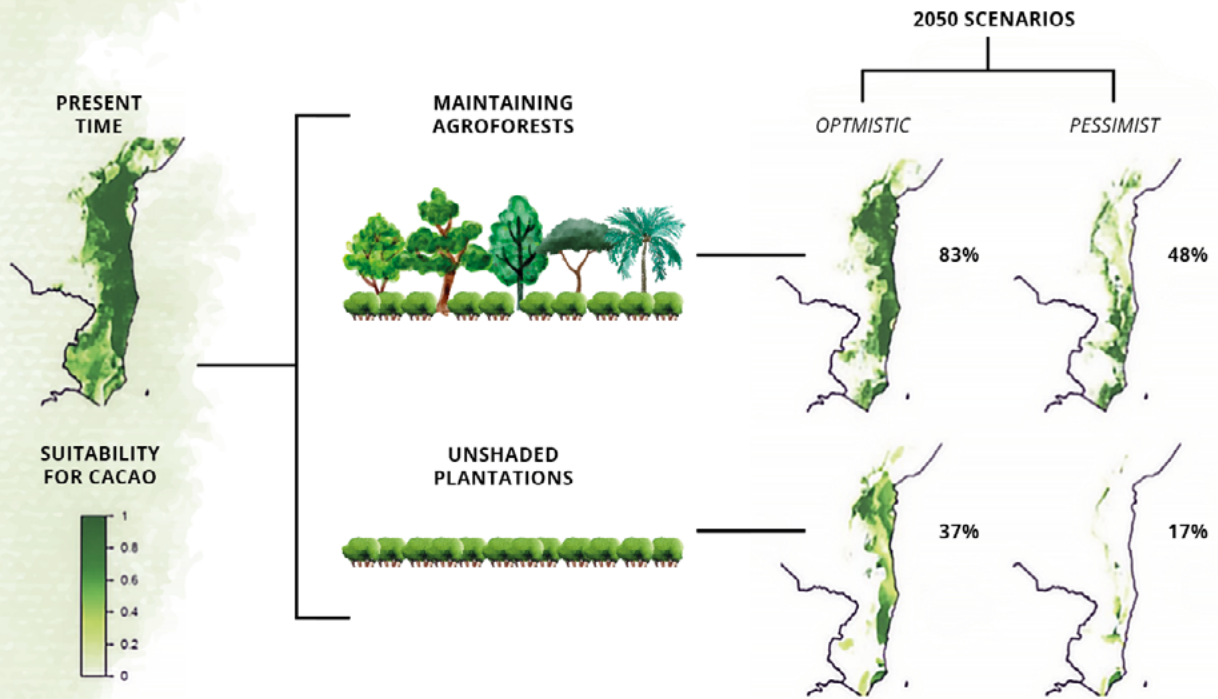


Regulation and climate resilience

Agroforests play a fundamental role in the fight against climate change, especially through carbon capture and storage. The carbon stored above soils in cabruças is roughly 87 mg C per hectare, which represents between 25% and 48% of what a mature forest can store. Though less than in mature forests, this quantity is comparable to that found in disturbed forests and greater than that in early, less developed forests (Schroth et al., 2015). In addition, cabruças are efficient at storing carbon in the soil, given the constant decomposition of organic material originating from cocoa plants and **shade-giving trees** (Gama-Rodrigues et al., 2010). **The soil in cabruças contains carbon levels similar to those in native forests**, which contributes to the stability of this carbon over time (Gama-Rodrigues et al., 2010; Monroe et al., 2016). CO₂ emissions in cabruças also resemble those in natural forests, which makes them a valuable alternative for reducing greenhouse gases (Costa et al., 2018).

As well as aiding carbon storage, **shade-giving trees protect cocoa plantations against stress caused by water shortages and extreme heat, factors that become more intense with climate change** (Wood & Lass, 2001; Schroth et al., 2016; Gateau-Rey et al., 2018). By maintaining a more stable climate in cultivation areas, these trees aid the healthy development of cocoa plants. **Studies indicate that climate change can drastically reduce areas suitable for cocoa cultivation in southern Bahia, especially if the cabruças are substituted by shadeless plantations** (Heming et al., 2022). On the other hand, cabruças can mitigate this impact, providing protection for cocoa plantations against adverse climate conditions.

With their capacity for stocking carbon, their low emissions and their role in mitigating the effects of climate change, cabruças stand out as an agricultural system that is climate-smart. Not only do they **help to conserve the environment, they are also an efficient strategy for adapting cocoa cultivation to new climate conditions.**



Adapt from Heming et al., 2022.



Control of erosion, sediment retention, soil formation and nutrient cycle

Cabruças, in conjunction with native forests at various stages of succession, form a mosaic of forestry in the south of Bahia. This mosaic, allied with the region’s relatively flat topography, helps reduce exposure to erosion, which affects just a small part of the main hydrographic basins present there. However, studies show that **deforestation could double the current rate of soil loss**, underlining the fundamental role of agroforests as natural barriers against erosion and in soil conservation.

The production of biomass in cabruças is significant and forms a rich layer that sustains a diversity of micro and macrofauna in the soil, as well as microorganisms such as bacteria and fungi (Moço et al., 2009). These organisms play essential roles in the decomposition of organic matter and the nutrient cycle, fundamental processes in the maintenance of soil health and fertility, supplying indispensable ecosystem services (Salamon et al., 2008).



Water regulation and supply

Although there is no specific research on how cabruças affect the water cycle, one study estimates that a hectare of earth in southern Bahia can generate close to 4,000 litres of water per day, thanks to the forest mosaic, which includes cabruças as well as native forests (Mattos et al., 2018). Thus, it's possible to infer that cabruças have a positive impact on water production in the region. In addition, as cabruças cover most of the forest area in the region, a significant portion of springs are located in this kind of land. In fact, preliminary modelling on the spatial distribution of springs in the region indicated that **close to 60% of them are in area that today are covered by cocoa agroforests** (Mariano-Neto, unpublished data).



Pollination

Pollination is a vital ecosystem service for maintaining natural ecosystems, especially in tropical forests, where almost 90% of plants depend on animals for their reproduction (Ollerton et al., 2011). In the same way, many agricultural crops, such as cocoa, depend on pollinators. In southern Bahia, most of the cocoa varieties are self-incompatible, that is, fruit formation depends directly on the pollination process. The presence of pollinators increases flower visitation and, consequently, fruit formation, as demonstrated in areas with a greater density of nesting locations, such as banana tree stems and the remains of cocoa shells (Young, 1982; Forbes & Northfield, 2017).

With their structural complexity and great diversity of trees, cabruças play an important role in the maintenance of diverse pollinator species. They supply floral resources, shelter and reproduction locations not only for cocoa pollinators, but also for other species that move to neighbouring forests and agricultural areas. **This increases the diversity of pollinators in these landscapes within the region, strengthening both natural and productive systems,** following the examples of coffee and mangosteen. **This reinforces the crucial role of cabruças not only in agricultural production but also in biodiversity preservation and the lending of ecosystem services relating to pollination.**



Pest control

A variety of studies demonstrate the importance of native species in natural pest control on agricultural plantations (Wielgoss et al., 2014; Maas et al., 2013). Areas with greater tree diversity tend to attract more parasitoids, vectors that help control cocoa pests, especially during warmer periods (Sperber et al., 2012). Aside from this, flying animals such as bats and birds play an important role in controlling herbivorous insects that can damage cocoa plants (Casanova et al., 2016). For example, bats help reduce *Percolaspis ornata* beetles, a common pest in cocoa plantations (Lopes, 2021). Cabruças also shelter a great number of predatory beetles, with a diversity that is comparable to or even greater than that in forests, which increases their potential for pest control (Novais et al., 2017).

Although there is a lack of studies on the economic impacts of pest control in cabruças, research carried out in Indonesian cocoa agroforests, which have similar characteristics, offers some clues. For example, Maas et al., (2013) show how, **when birds and bats were stopped from accessing cocoa plants and thus predating on the invertebrates that harm cocoa, productivity fell by 31%**. In addition, Gras et al., (2016) indicate that maintaining 30-40% of tree cover shading cocoa can avoid annual losses of between 100 and 800 kg of almonds per hectare, owing to the positive effect of ants and birds in insect control.

So, the **diversity of species present in cabruças, such as birds, bats, predatory beetles and parasitoids, is essential for natural insect control**. Though more studies are necessary to better understand their economic impact in cabruças, evidence suggests that maintaining the biota associated with this system can bring benefits to productivity by reducing the impact of pests.

Cabruca as a productive and biodiverse agricultural model

Like other agroforests, cabruças generally have lower cocoa productivity than that obtained in monocultures. In the short term, it's estimated that agroforestry systems produce around 25% less cocoa compared to monocultures. However, when the whole system is analysed, the total yield from agroforests, which includes other products such as fruits and wood, can be up to ten times greater than of conventional systems (Neither et al., 2020). This diversity of resources offers additional benefits, especially for small-scale farmers, by contributing to food security and the generation of local income. As well as cocoa, at least 65 plant species are cultivated in the region's cocoa farms, for consumption by growers or for sale in local markets.

Studies suggest that doubling average cocoa productivity would be possible with intermediary levels of shade (up to 55%) or carbon stocks in cabruças trees (up to 65 Mg C ha⁻¹) (Schroth et al., 2016). Farms that adopt good basic agricultural practices, such as pruning and the use of fertilisers, can increase productivity, even with reasonable levels of shade, producing up to 3.7 times more than the regional average. However, low take-up of suitable agricultural practices, such as soil preparation and pest control, is a major factor which explains the region's low productivity. Although high levels of shade certainly limit production, without the implementation of suitable techniques, significant increases in productivity are unlikely.

Cabruças do not substitute native forests as biodiversity reservoirs or providers of essential environmental services, but they play an important role in the conservation of biodiversity in productive passages. As agroforestry systems focused on production, their limitations for conservation are clear, and they alone cannot guarantee the preservation of biodiversity on a large scale. However, the low representation of the protected areas in the region also indicates that, on their own, they are also insufficient for guaranteeing biodiversity conservation, and the increasing deforestation in the Atlantic Rainforest aggravates this vulnerability (Faria et al., 2023).

Compared to other forms of land use, cabruças achieve several conservation goals, even if it is unintentionally. Therefore, the survival of regional biodiversity depends as much on the conservation of protected natural areas as it does on maintaining sustainable productive systems like cabruças.

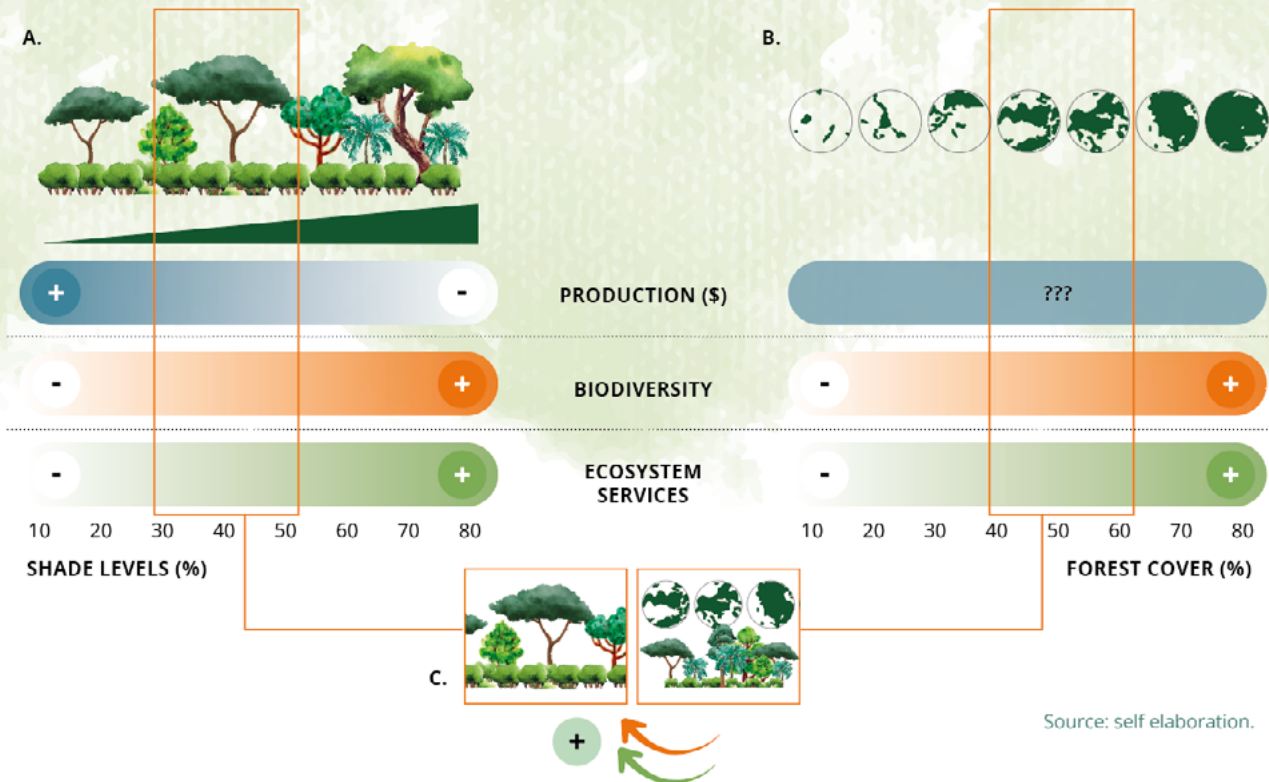
Planning multifunctional landscapes

On a regional scale, cabruças are home to a significant part of native biota, thanks to a combination of their structural complexity, which resembles that of forests, and the influence of forest fragments surrounding them. The more complex the cabruça, the more species it can support (Silva et al., 2020).

In addition, when located in landscapes dominated by forests, cabruças function like corridors, **connecting fragments of forest and facilitating the movement of species, which helps to maintain the landscape's ecological connectivity** (Faria et al., 2007; Pardini et al., 2009).

In areas with less forest cover, be that because of the predominance of cabruças or other forms of land use, we observe fewer forest species and fewer generalist species. But even in these less favourable conditions, **cabruças can serve as important or possible unique refuges for species that depend on forest environments, playing a fundamental role in the preservation of local biodiversity.**

The biodiversity and ecosystem services supplied by cabruças reflect the balance between processes that occur on different spatial scales. On a local scale, biodiversity and ecosystem services increase with greater levels of shade, while cocoa production tends to diminish, although it is influenced by suitable management practices. At a landscape scale, the quantity of forest around cabruças positively affects levels of biodiversity and ecosystem services inside them. Although it is not clear how this scale directly affects cocoa production, it's possible there is an indirect relationship, through services such as pest control.



Source: self elaboration.

In a theoretical model of multifunctional landscapes, we can suggest a maximum limit of 50% shade cover to guarantee production and at least 40% forest cover on a landscape scale to maintain forest species from several biological groups (Arroyo et al., 2020), as an optimal scenario for balancing production, biodiversity and ecosystem services.

Although different biological groups and ecosystem services respond in a varied manner to changes in land use, it's possible to suggest that losses in species and service diversity caused by agricultural intensification, such as reduced shade or the homogenisation of trees, could be compensated by an increase in the presence of forests in surrounding landscapes. Understanding how biodiversity reacts to these changes on different spatial scales is crucial for predicting trends. **Once this is understood, it is possible for example to plan the restoration of degraded areas using agroforests that are more complex and possess greater potential to contribute towards biodiversity.**

Rather than being an obstacle for production, these traditional agroforests must be recognised as important cultural, environmental and social assets. With the adoption of more appropriate agricultural techniques, they can meet rising demand from 21st consumers for more sustainable production. **Improving agricultural management while maintaining high levels of biodiversity and ecosystem services seems like a possible alternative for this form of land use, whose principles can inspire the setting up of similar systems in new areas.**

Bibliographic references

- Alvim, P. de T. and Pereira, C. P. 1965. Sombra e espaçamento nas plantações de cacau no Estado da Bahia e Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, Bahia, Brasil. Pp.18-19. In: *Relatório Anual do CEPEC* 1964. CEPLAC, Ilhéus.
- Alvim, R. and Nair, P. K. R. 1986. Combination of cacao with other plantation crops: an agroforestry system in Southeast Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 4: 3-15.
- Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J.I., Tischendorf, L., Benchimol, M. and Tscharrntke, T. 2020. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*. 23: 1404–1420.
- Cassano, C. R., Silva, R. M., Mariano-Neto, E., Schroth, G. and Faria, D. 2016. Bat and bird exclusion but not shade cover influence arthropod abundance and cacao leaf consumption in agroforestry landscape in northeast Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 247-253
- Cassano, C.R.; Kierulff, M.C.M. and Chiarello, A.G. 2011. The cacao agroforests of the Brazilian Atlantic Forest as habitat for the endangered maned sloth *Bradypus torquatus*. *Mammalian Biology*, 76(3): 243-250.
- Cassano, C.R.; Schroth, G.; Faria, D., Delabie, J.H. and Bede, L. 2009. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cacao producing region of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18: 577-603.
- Coelho, N.R. 2023. Política de pagamento por serviços ambientais no Sul da Bahia: desafios, potencialidades e proposta de compensação. PHD thesis - Universidade Estadual de Santa Cruz, Brazil.
- Costa, E.N.D; De Souza, M. F.L.; Marrocos, P.C.L.; Lobão, D. and Silva, D.M.L. 2018. Soil organic matter and CO₂ fluxes in small tropical watersheds under forest and cacao agroforestry. *PLOS ONE* 13(7): e0200550
- Faria, D.; Mariano-Neto, E.; Martini, A.M.Z.; Ortiz, J.V.; Montingelli, R.; Rosso, S.; Paciencia, M.L.B. and Baumgarten, J. 2009. Forest structure in a mosaic of rainforest sites: the effect of fragmentation and recovery after clear cut. *Forest Ecology and Management*, 257: 2226–2234.
- Faria, D.; Morante-Filho, J.C.; Baumgarten, J.; Bovendorp, R.S.; Cazetta, E.; Gaiotto, F.A.; Mariano-Neto, E.; Mielke, M.S.; Pessoa, M.S.; Rocha-Santos, L.; Santos, A.S.; Soares, L.A.S.S.; Talora, D.C.; Vieira, E.M. and Benchimol, M. 2023. The breakdown of ecosystem functionality driven by deforestation in a global biodiversity hotspot. 829 *Biological Conservation*, 283: 110126.
- Faria, D.; Paciencia, M.L.B.; Dixo, M.; Laps, R.R. and Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic Forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2335-2357.
- Forbes, Samantha J. and Northfield, T. D. 2017. Increased pollinator habitat enhances cacao fruit set and predator conservation. *Ecological applications*, 27(3): 887-899.
- Gama-Rodrigues, E.F.; Nair, P.K.R.; Nair, V.D.; Gama-Rodrigues, A.C.; Baligar, V.C. and Machado, R.C.R. 2010. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, 45: 274–283.
- Gateau-Rey L.; Tanner E.V.J.; Rapidel B.; Marelli J.P. and Roy-aert, 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: e0200454.
- Gras, P.; Tscharrntke, T.; Maas, B.; Tjoa, A.; Hafsaah, A. and Clough, Y. 2016. How ants, birds and bats affect crop yield along shade gradients in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 53(3): 953-963.
- Heming, N. M. ; Schroth, G. ; Talora, D. C. and Faria, D. 2022. Cabruca agroforestry systems reduce vulnerability of cacao plantations to climate change in Southern Bahia, Brazil. *Agronomy for Sustainable Development*, 42 :1-12.
- Lopes, S.O. 2021. O controle de insetos-praga por morcegos e a influência da paisagem sobre os grupos funcionais de morcegos em Sistema Agroflorestais no sul da Bahia. PHD thesis - Universidade Estadual de Santa Cruz, Brazil.
- Luck G.W.; Harrington, R.; Harrison P.A.; Kremen, C.; Berry, P.M.; Bugter, R.; Dawson, T.P.; De Bello, F.; Díaz, S. and Feld, C.K. 2009. Quantifying the contribution of organisms to the provision of ecosystem services. *BioScience*, 59: 223–235.
- Maas, B.; Clough, Y. and Tscharrntke, T. 2013. Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. *Ecology Letters*, 16: 1480-1487.
- Mattos J.B; Santos, D.A.; Falcão Filho, C.A.T.; Santos, T.J.; dos Santos, M.G. and De Paula, F.C.F. 2018. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. *Environmental Science and Policy*, 84: 52–59.

- Moço, M.K.S.; Gama-Rodrigues, E.F. Gama-Rodrigues, A.C.; Machado, R.C.R. and Baligar, V.C. 2009. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforest Systems*, 76: 127–138.
- Monroe, P.H.M.; Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C. and Marques, J.R.B. 2016. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221: 99–108.
- Niether, W.; Jacobi, J.; Blaser, W. J.; Andres, C. and Armengot, L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10): 04085.
- Novais, S.M.; Macedo-Reis, L.E. and Neves, F.S. 2017. Predatory beetles in cacao agroforestry systems in Brazilian Atlantic Forest: a test of the natural enemy hypothesis. *Agroforestry Systems*, 91: 201–209.
- Oliveira, L.; G Neves, L.; E Raboy, B. and Dietz, J. M. 2011. Abundance of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) affects group characteristics and use of space by golden-headed lion tamarins (*Leontopithecus chrysomelas*) in cabruca agroforest. *Environmental Management*, 48: 248–262.
- Ollerton, J.; Winfree, R. and Tarrant, S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3): 321–326.
- Pardini, R.; Faria, D.; Accacio, G.M.; Laps, R.R.; Mariano-Neto, E.; Paciencia, M.L.; Dixo, M. and Baumgarten, J. 2009. The challenge of maintaining Atlantic Forest biodiversity: a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agroforestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation*, 142(6): 1178–1190.
- Salamon, J.A.; Scheu, S. and Schaefer, M. 2008. The Collembola community of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. *Pedobiologia*, 51(5–6): 385–396.
- Sambuichi, R.H.R.; Vidal, D.B.; Piasentin, F.B.; Jardim, J.G.; Viana, T.G.; Menezes, A.A.; Mello, D.L.N.; Ahnert D. and Baligar, V.C. 2012. Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21: 1055–1077. doi:10.1007/s10531-012-0240-3.
- Santos, P.Z.F.; Crouzeilles, R. and Sansevero, J.B.B. 2019. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest ecology and management*, 433: 140–145.
- Schroth, G.; Bede, L.C.; Paiva, A.O.; Cassano, C.R.; Amorim, A.M.; Faria, D.; Mariano-Neto, E.; Martini, A.M.Z.; Sambuichi, R.H.R. and Lôbo, R.N. 2015 Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20: 1175–1190.
- Schroth, G.; Jeusset, A.; Gomes, A.S.; Florence, C.T.; Coelho, N.A.P.; Faria, D. and Läderach, P. 2016. Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21: 67–80.
- Silva, A.A.D.S.; Alvarez, M.R.D.V.; Mariano Neto, E. and Cassano, C.R. 2020. Is shadier better? The effect of agroforestry management on small mammal diversity. *Biotropica*, 52(3): 470–479.
- Silva, A.A.D.S.; Alvarez, M.R.D.V.; Mariano Neto, E. and Cassano, C.R. 2020. Is shadier better? The effect of agroforestry management on small mammal diversity. *Biotropica*, 52(3): 470–479.
- Sperber, C.F.; Azevedo, C.O.; Muscardi, D.C.; Szinwelski, N. and Almeida, S. 2012. Drivers of parasitoid wasps' community composition in cacao agroforestry practice in Bahia State, Brazil. *See Reference*, 59: 45–64.
- Wielgoss, A.; Tschardt, T.; Rumedé, A.; Fiala, B.; Seidel, H.; Shahabuddin, S. and Clough, Y. 2014. Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems. *Proceedings of the Royal Society B*, 281: 20132144.
- Wood, G.A.R. and Lass, R.A. 2001. *Cocoa*, 4th edn. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Young, A. M. 1982. Effects of Shade Cover and Availability of Midge Breeding Sites on Pollinating Midge Populations and Fruit Set in Two Cocoa Farms. *Journal of Applied Ecology*, 19(1): 47–63.

instituto
arapyauú 

