

## **RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS**

# **ANÁLISE DO ÍNDICE DE PERFORMANCE AGROFLORESTAL EM SAFs DA REGIÃO DE CARAJÁS, PARÁ - 2022**

Entrega nº 4: Resultado da análise de índice de performance  
agroflorestal dos cinco SAFs de Canaã e Parauapebas - 2022

## **RELATÓRIO FINAL DO PROJETO ANÁLISE DA CONSERVAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA EM ÁREAS PROTEGIDAS E PROPRIEDADES PRIVADAS**

**Sâmia Nunes**  
**Hellen Kezia Almada**  
**Gabriel Caixeta Martins**  
**Silvio Ramos**  
**Paula Godinho Ribeiro**  
**Ediu Carlos da Silva Junior**  
**Daniela Chagas**  
**Rosane Barbosa Lopes Cavalcante**  
**Hernanes Martins**  
**Rosária Francisco**

**Belém / Pará**  
**Dezembro / 2022**

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Título:</b> Análise do índice de performance agroflorestal em SAFs da região de Carajás, Pará - 2022 |                             |
| <b>PROD. TEC. ITV DS N039/2022</b>  | <b>Revisão</b><br><b>00</b> |
| <b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno ( x ) Pública                       |                             |

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

#### Citar como

NUNES, Sâmia do Socorro Serra, *et al.* **Análise do índice de performance agroflorestal em SAFs da região de Carajás, Pará - 2022.** Belém: 2022. (Relatório Técnico N039/2022). DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.39.Nunes

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N972 Nunes, Sâmia do Socorro Serra  
 Análise do índice de performance agroflorestal em SAFs da região de Carajás, Pará - 2022 / Sâmia do Socorro Serra Nunes ... [et al.] -- Belém: 2022.  
 30 p. : il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2022  
 PROD.TEC.ITV.DS – N039/2022  
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.39.Nunes

1. Biodiversidade – Serra dos Carajás (PA). 2. Índice agroflorestal - Serra dos Carajás (PA). 3. Sistema agroflorestal - Serra dos Carajás (PA). I. Almada, Hellen Kezia. II. Martins, Gabriel Caixeta. III. Ramos, Silvio Junio. IV. Ribeiro, Paula Godinho. V. Silva Júnior, Ediu Carlos da. VI. Chagas, Daniela. VII. Cavalcante, Rosane Barbosa Lopes. VIII. Martins, Hernanes. IX. Francisco, Rosária. X. Título

Bibliotecário responsável: Eddie Saraiva / CRB 2 – 058P

## RESUMO EXECUTIVO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma forma de produção que combina elementos da agricultura convencional com elementos da floresta. Os SAFs têm o potencial de prover benefícios ambientais, como menor uso da terra pela combinação de produções na mesma área, melhoria da qualidade do solo, aumento do estoque de carbono e aumento da biodiversidade, quando comparadas à agricultura tradicional. Podem ser aplicados na agricultura familiar com possibilidade de gerar produtos a curto, médio e longo prazos; contribuir para dieta alimentar das famílias e trazer renda pela comercialização da produção. Por isso, o monitoramento dos SAFs através do uso de indicadores quantitativos e qualitativos é fundamental para avaliarmos a evolução das comunidades em recuperação, incluindo processos ecológicos, econômicos, culturais, que ajudem a entender a complexidade destes sistemas. Este relatório é uma das entregas do projeto “Análise da conservação da vegetação nativa em áreas protegidas e propriedades privadas” do Instituto Tecnológico Vale, que apoia o compromisso da Vale de recuperar e proteger 500 mil hectares e os esforços globais de conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas. Aqui, usamos o Índice de Performance Agroflorestal para avaliar cinco SAFs implantados nos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapbas, Pará, baseado em sete indicadores: diversidade de nichos funcionais, diversidade biológica, taxa de ocupação, desafios encontrados, mortalidade, replicabilidade e qualidade do solo. Buscamos responder às seguintes perguntas: (i) qual é o índice de performance agroflorestal das cinco unidades demonstrativas (UDs) de SAFs implantados nos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas como parte do projeto? (ii) segundo este índice, como se deu o desempenho das UDs entre os anos de 2021 e 2022?

## RESUMO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma forma de produção que combina elementos da agricultura convencional com elementos da floresta. Eles são projetados para fornecer benefícios econômicos, enquanto também promovem a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade ambiental. Os sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser uma opção eficaz para recuperar áreas desmatadas, sendo necessário o monitoramento ao longo do tempo para avaliar o sucesso das atividades implementadas nos SAFs. Nesse sentido o Índice de Performance Agroflorestal (IPA) é uma medida que permite avaliar o desempenho de um sistema agroflorestal (SAF) em relação a vários indicadores de sustentabilidade. Aqui, usamos o IPA para avaliar cinco SAFs implantados nos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapbas, Pará, baseado em sete indicadores: diversidade de nichos funcionais, diversidade biológica, taxa de ocupação, desafios encontrados, mortalidade, replicabilidade e qualidade do solo. Nossos resultados indicam que os SAFs B,D,E apresentaram os maiores IPA (21), seguido de F (20) e C (19); Os índices encontrados refletem a realidade encontrada em campo, pois o SAF B, apresenta melhores condições gerais de diversidade, facilidade de replicação e menor taxa de mortalidade. De maneira geral os cinco SAFs apresentaram bom desenvolvimento das mudas, as quais se encontram saudáveis e com crescimento satisfatório após replantio da espécie principal, quando houve necessidade. Observamos também que fatores climáticos, a sensibilidade das espécies e a facilidade de manejo apresentaram bastante impacto no desenvolvimento dos SAFs. Acreditamos que o IPA pode ser uma boa ferramenta para medir a evolução de cada SAF ao longo do tempo, utilizando indicadores adaptados à realidade e objetivo dos sistemas. Porém, é necessário ter uma metodologia sistematizada de monitoramento e levar em consideração o objetivo do SAF, interesse do agricultor, situação da família, aspectos climáticos e socioeconômicos, entre outros.

**Palavras-chave:** Biodiversidade, Carajás, índice de performance agroflorestal, sistemas agroflorestais.

## ABSTRACT

Agroforestry systems (SAFs) are a form of production that combines elements of conventional agriculture with elements of the forest. They are designed to provide economic benefits, while promoting biodiversity conservation and environmental sustainability. SAFs can be an effective option to recover deforested areas, requiring monitoring over time to assess the success of activities implemented in SAFs. In this sense, the Agroforestry Performance Index (IPA) is a measure that allows evaluating the performance of a SAF in relation to several sustainability indicators. Here, we used IPA to evaluate five SAFs in the Canaã dos Carajás and Parauapebas municipalities, Pará state, based on seven indicators: diversity of functional niches, biological diversity, occupancy rate, challenges, mortality, replicability and soil quality. Our results indicate that SAFs B, D, E had the highest IPA (21), followed by F (20) and C (19); The indices found reflect the reality found in the field, as SAF B presents better general conditions of diversity, ease of replication and lower mortality rate. In general, the five SAFs showed good seedling development, which are healthy and with satisfactory growth after replanting the main species, when necessary. We also observed that climatic factors, the sensitivity of the species and ease of handling had a significant impact on the development of SAFs. We believe that the IPA can be a good tool to measure the evolution of each SAF over time, using indicators adapted to the reality and objective of the systems. However, it is necessary to apply a systematic monitoring methodology and take into account the objective of the SAFs, the farmer's interest, the family situation, climatic and socioeconomic aspects, among others.

**Keywords:** Biodiversity, Carajás, agroforestry performance index, agroforestry systems.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 CONTEXTO .....</b>                            | <b>7</b>  |
| <b>2 METODOLOGIA.....</b>                          | <b>8</b>  |
| 2.1 Área de estudo e unidades demonstrativas ..... | 8         |
| 2.2 Índice de performance agroflorestal .....      | 12        |
| 2.2.1 Diversidade biológica .....                  | 13        |
| 2.2.2 Diversidade de Nichos funcionais.....        | 13        |
| 2.2.3 Taxa de ocupação .....                       | 13        |
| 2.2.4 Desafios encontrados.....                    | 13        |
| 2.2.5 Mortalidade.....                             | 13        |
| 2.2.6 Replicabilidade .....                        | 13        |
| 2.2.7 Índice de qualidade de solos .....           | 14        |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>              | <b>17</b> |
| 3.1 Índice de qualidade do solo.....               | 17        |
| 3.1 Índice de performance agroflorestal .....      | 19        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                            | <b>27</b> |
| <b>ANEXO I.....</b>                                | <b>29</b> |

## 1 CONTEXTO

Por se tratar de um modelo produtivo fundamentado nos processos de sucessão natural, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) se assemelham à estrutura de florestas tropicais, apresentando diversidade de espécies e vários estratos, integrando espécies arbóreas perenes com culturas anuais agrícolas (EMBRAPA, 2022; FRANCO; ALVARES; DA ROSA, 2018) e, inclusive, a introdução de gado como nos sistemas agrossilvopastoris (BALBINO *et al.*, 2011; COSTA, R. B. DA; ARRUDA; OLIVEIRA, 2002). Modelos de produção florestal incluindo plantios mistos de espécies florestais, enriquecimento de floresta antropizada e SAFs, por exemplo, podem ser aplicados na agricultura familiar com possibilidades de gerar produtos a curto, médio e longo prazos; contribuir para dieta alimentar das famílias e trazer renda pela comercialização da produção (BLINN *et al.*, 2013; MAY; TROVATTO, 2008).

De acordo com o último censo agropecuário, os SAFs ocupavam cerca de 14 milhões de hectares no Brasil (IBGE, 2017). No país, estes sistemas são uma alternativa para regularização ambiental de áreas rurais consolidadas, de acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (EMBRAPA, 2022), com vantagens especialmente para os pequenos produtores (LAUDARES *et al.*, 2017). A pesquisa em SAF está aumentando no Brasil, e os SAFs mais simples foram mais numerosos (MARTINELLI, 2020), apesar de os biodiversos oferecerem mais benefícios aos ecossistemas tropicais (SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019).

Quando implantados em áreas degradadas, os sistemas agroflorestais têm o potencial de prover benefícios ambientais, como menor uso da terra pela combinação de produções na mesma área, melhoria da qualidade do solo, aumento do estoque de carbono e aumento da biodiversidade, quando comparadas à agricultura tradicional (SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019; WILSON; LOVELL, 2016). Para os produtores, a adoção de agroflorestas também traz benefícios. A diversificação da produção e otimização do uso da terra auxiliam no aumento da resiliência a perdas por eventos climáticos extremos, pragas e volatilidade do mercado, além de poderem aumentar os meios de subsistência e os rendimentos econômicos (FAHAD *et al.*, 2022).

Assim como para qualquer projeto de restauração florestal, é necessário o monitoramento ao longo do tempo para avaliar o sucesso das atividades implementadas nos SAFs (CANUTO, 2017; GASTAUER; CAVALCANTE; *et al.*, 2020).

E a evolução dos sistemas em restauração pode ser medida por diversos fatores, que podem variar de acordo com o objetivo do SAF, interesse do agricultor, situação da família, aspectos climáticos e socioeconômicos, entre outros (CANUTO, 2017; SIQUEIRA, 2002). Por isso, o monitoramento dos SAFs através do uso de indicadores quantitativos e qualitativos é fundamental para avaliarmos a evolução das comunidades em recuperação, incluindo processos ecológicos, econômicos, culturais, que ajudem a entender a complexidade destes sistemas (GASTAUER; CAVALCANTE; *et al.*, 2020; GASTAUER; SARMENTO; *et al.*, 2020; MORAES, 2005; NUNES *et al.*, 2020; SARANDÓN, 2002).

Este estudo é parte do projeto de “Análise da conservação da vegetação nativa em áreas protegidas e propriedades privadas” desenvolvido pelo ITV DS, que apoia o compromisso da Vale de recuperar e proteger 500 mil hectares e os esforços globais de conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas. Buscamos responder às seguintes perguntas: (i) qual é o índice de performance agroflorestal (IPA) das cinco unidades demonstrativas (UDs) de SAFs implantados nos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas como parte do projeto? (ii) segundo este índice, como se deu o desempenho das UDs entre os anos de 2021 e 2022?

## **2 METODOLOGIA**

### *2.1 Área de estudo e unidades demonstrativas*

Este estudo contempla cinco UDs de SAFs, totalizando 3,52 ha, sendo três localizadas no município de Parauapebas e duas no município de Canaã dos Carajás, no sudeste do estado do Pará (Figuras 1 – 4). Esta é uma atualização do Índice de Performance Agroflorestal (IPA) para o ano de 2022, o IPA foi gerado pela primeira vez em 2021 por (ZIANTONI *et al.*, 2021). A Tabela 1 mostra as características gerais dos SAFs, os quais foram implantados em épocas e arranjos distintos. O SAF “A” foi excluído deste relatório, pois o agricultor saiu do projeto em 2021 após ter perdido o plantio em uma queimada.

O município de Canaã dos Carajás possui 3.146 km<sup>2</sup>, sendo 38% inserido em áreas protegidas, população de 39 mil habitantes e índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,673 (IBGE, 2017). Possui 51% de cobertura florestal, 46% de área ocupada por agropecuária, 2% área não vegetada e 1% são corpos d’água (MAPBIOMAS, 2022). O Censo Agropecuário indica que os estabelecimentos

agropecuários somam 131.212 ha, divididos em 1.148 estabelecimentos, correspondendo a uma média de 114 ha por propriedade. A maioria dos produtores são proprietários das terras (70%), homens (81%), e com mais de 45 anos (66%), e o uso predominante da terra é pastagem (75%). As áreas relatadas como sistemas agroflorestais somam apenas 750 ha.

O município de Parauapebas possui 6.885 km<sup>2</sup>, dos quais 81% são áreas protegidas, possui 9 mil habitantes e IDHM de 0,715 (IBGE, 2017). A cobertura e uso da terra corresponde a 84% de floresta, 14% agropecuária e 2% área não vegetada (MAPBIOMAS, 2022). Há 87.951 ha de estabelecimentos agropecuários, divididos em 1.297 estabelecimentos (média de 68 ha por propriedade). Assim como em Canaã dos Carajás, a maioria dos produtores são proprietários das terras (65%), homens (74%), e com mais de 45 anos (68%), e o uso predominante das terras é pastagens (70%). As áreas relatadas como sistemas agroflorestais somam apenas 391 ha.

**Tabela 1:** Características gerais das unidades demonstrativas (UDs) de sistemas agroflorestais analisadas em 2022

| UD    | Área (ha) | Mês/ano de implantação | Espécie principal | Município         |
|-------|-----------|------------------------|-------------------|-------------------|
| SAF B | 0,94      | Dez/2019               | Cupuaçu e citrus  | Parauapebas       |
| SAF C | 0,54      | Abr/2020               | Açaí              | Canaã dos Carajás |
| SAF D | 0,54      | Mai/2020               | Cacau             | Canaã dos Carajás |
| SAF E | 0,5       | Mar/2021               | Cacau             | Parauapebas       |
| SAF F | 0,5       | Mar/2021               | Graviola          | Parauapebas       |

Fonte: Autores (2022)

**Figura 1.** Localização do sistema agroflorestal B, no município de Parauapebas, Pará



Fonte: (ZIANTONI *et al.*, 2021)

**Figura 2.** Localização dos sistemas agroflorestais C e D, no município de Canaã dos Carajás, Pará



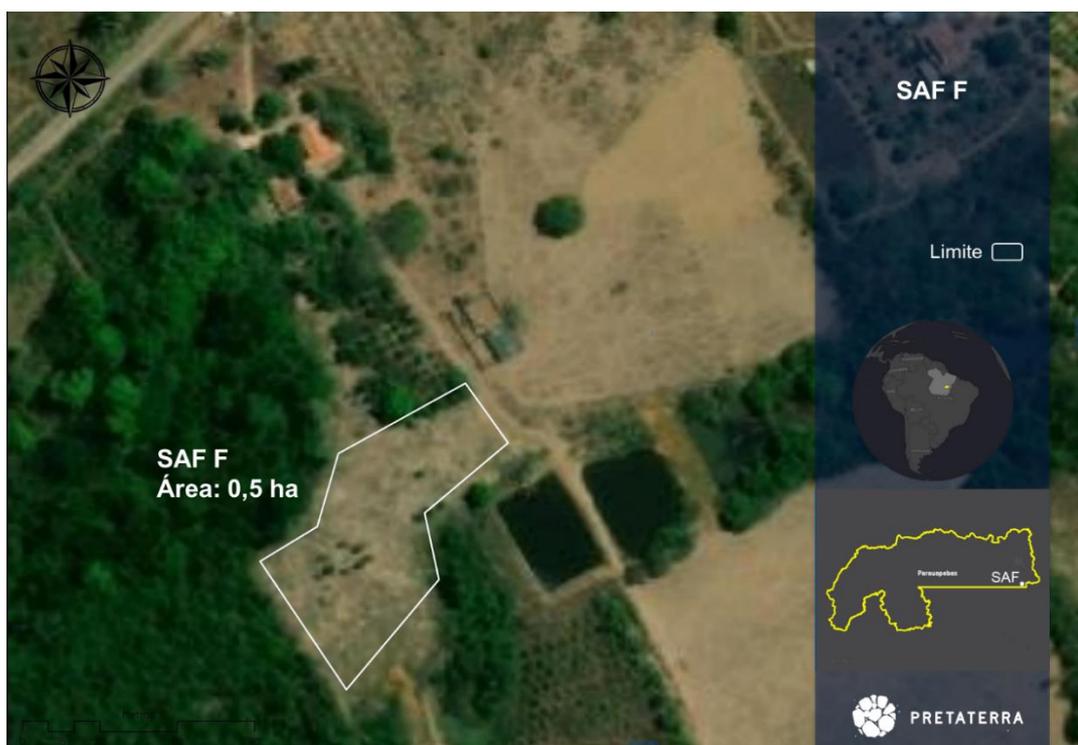
Fonte: (ZIANTONI *et al.*, 2021)

**Figura 3.** Localização do sistema agroflorestal E, no município de Parauapebas, Pará



Fonte: (ZIANTONI *et al.*, 2021)

**Figura 4.** Localização do sistema agroflorestal F, no município de Parauapebas, Pará



Fonte: (ZIANTONI *et al.*, 2021)

## 2.2 Índice de performance agroflorestal

O IPA foi criado pela empresa Preta Terra, especializada em sistemas agroflorestais, para auxiliar na interpretação do desempenho técnico dos sistemas após sua implantação (COSTA, P.; ZIANTONI, 2019). Originalmente, este índice foi medido a partir de nove fases (operações)<sup>1</sup> da implantação de SAFs da região de Juruti, Pará. Porém, foi adaptado em 2021 para os SAFs contemplados neste projeto, de acordo com os dados disponíveis e coletados em campo (ZIANTONI *et al.*, 2021), incluindo seis indicadores (diversidade biológica, diversidade de nichos funcionais, taxa de ocupação da área, desafios encontrados, mortalidade e replicabilidade). No presente trabalho, o IPA foi atualizado com os dados de monitoramento trimestrais e semestrais dos SAFs em 2022, incluindo um indicador adicional de índice de qualidade do solo, totalizando sete indicadores (Tabela 2). O IPA foi ajustado com notas de 1 a 5 e cada indicador foi avaliado de acordo com uma nota segundo seu próprio desempenho. Intervalos de avaliação foram estabelecidos para cada indicador, de forma que quanto maior a nota, melhor é a performance.

**Tabela 2.** Resumo dos indicadores que compõem o índice de performance agroflorestal analisados em 2022 e como foram calculados

| Indicador                   | Unidade                | Descrição   |
|-----------------------------|------------------------|---|
| Diversidade biológica       | %                      | % de espécies em relação ao total de espécies em todos os SAFs  |
| Nichos funcionais           | -                      | Número de atributos ou funções das espécies em cada SAF (ex.: serviço, agrícolas, madeiras)   |
| Taxa de ocupação            | Plantas/m <sup>2</sup> | Número de plantas por m <sup>2</sup>  |
| Desafios encontrados        | -                      | Ocorrência de pragas, doenças, eventos climáticos extremos  |
| Mortalidade                 | (%)                    | Média do percentual de mortalidade de espécies  |
| Replicabilidade             | -                      | Facilidade de replicar o SAF (distribuição lógica, facilidade de manejo, acesso à mudas, exigência das espécies e substituição de função ecológica) |
| Índice de qualidade de solo | (%)                    | Integração de diferentes atributos de fertilidade visando avaliação qualitativa relacionada à disponibilidade de nutrientes no solo.                |

Fonte: Autores (2022)

<sup>1</sup> Coveamento completo, matriz arbórea, matriz frutífera, linha de serviço com sementes, linhas de bananas, composto distribuído, cobertura de solo distribuída, leiras formadas e cultura agrícola implantada.

### *2.2.1 Diversidade biológica*

É o número de espécies de um SAF em relação ao total de espécies encontradas em todos os SAFs, expressa em percentual, para comparar a diversidade de espécies entre os SAFs.

### *2.2.2 Diversidade de Nichos funcionais*

É o número de atributos ou funções de cada espécie nos SAFs, para entender a contribuição destas espécies no sistema, como: espécies de serviço, agrícolas, palmeiras, arbustivas, madeiras e não madeiras.

### *2.2.3 Taxa de ocupação*

Se refere à densidade das plantas, ou seja, o número de plantas por m<sup>2</sup>, para avaliarmos a cobertura da área.

### *2.2.4 Desafios encontrados*

Se refere às dificuldades encontradas pelos agricultores, como ataque de pragas e doenças, eventos climáticos extremos (secas severas, inundações, queimadas), baixo sombreamento e manejo incorreto ou insuficiente.

### *2.2.5 Mortalidade*

É a média dos percentuais de mortalidade de cada espécie dentro de cada SAF observada em 2022. Neste caso, quanto menor a mortalidade, maior é a nota de desempenho.

### *2.2.6 Replicabilidade*

Se refere à facilidade de se replicar o SAF, considerando: a distribuição das espécies organizadas de maneira lógica, existência de espécies que possam substituir outras sem comprometer sua função estratégica, facilidade de manejo do sistema, disponibilidade de sementes e mudas daquelas espécies na região, existência de espécies muito exigentes de solo, água, sombra, por exemplo.

### *2.2.7 Índice de qualidade de solos*

Neste relatório, apresentaremos um índice parcial de qualidade de solos, por considerar apenas os atributos de fertilidade e não integrar atributos físicos e biológicos.

#### *Coleta das amostras de solo*

Em cada SAF estudado foram coletadas de 7-12 amostras simples de solo na camada de 0-20 cm. Nessas áreas, as amostragens ocorreram em formato de zigue-zague de forma a abranger toda a área e obter amostras representativas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas a laboratório especializado para a realização das análises de fertilidade.

#### *Caracterização das amostras de solo*

Previamente às determinações, as amostras foram secas ao ar e crivadas em peneira de 2 mm. Foram avaliados o pH (em água – 1:2,5), matéria orgânica (MO; oxidação com dicromato), cálcio (Ca; extrator KCl 1 mol/L), magnésio (Mg; extrator KCl 1 mol/L), potássio (K; solução Mehlich-I), alumínio trocável (Al; extrator KCl 1 mol/L), enxofre (S; extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ ), fósforo (P; solução Mehlich-I), boro (B; extração com água quente), cobre (Cu; solução DTPA), ferro (Fe; solução DTPA), manganês (Mn; solução DTPA), zinco (Zn; solução DTPA) e textura do solo (areia, silte e argila). Adicionalmente, foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). As metodologias utilizadas foram baseadas em (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

#### *Proposição do índice de qualidade do solo*

Diferentes atributos de fertilidade do solo foram utilizados para compor um índice de qualidade do solo (IQS). Esse índice foi proposto como uma forma de expressar a qualidade do solo em termos quantitativos da disponibilidade de nutrientes no solo. O índice foi baseado na abordagem de (AMACHER; O'NEIL; PERRY, 2007), após adaptações para as condições locais e aos atributos do solo disponíveis. Em síntese, os atributos de fertilidade selecionados foram convertidos de suas unidades originais para escores variando de 0 a 2 (Tabela 3). Em seguida, o IQS foi calculado dividindo-se o somatório dos escores de todos os atributos do solo pelo somatório de seus máximos escores.

Os escores foram atribuídos considerando as diferentes faixas de classificações agronômicas quanto à interpretação de atributos da fertilidade do solo segundo o manual de recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará (BRASIL; CRAVO; VIEGAS, 2020), Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (CANTARELLA *et al.*, 2022) e Manual de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação (ALVAREZ *et al.*, 1999).

**Tabela 3.** Critérios utilizados na padronização dos atributos de solo utilizados na composição do índice de qualidade do solo.

| Atributo                                       | Metodologia para determinação  | Condição        | Interpretação baseada na classe agronômica | Escore | Referência             |
|--|--|-----------------|--|--------|------------------------|
| pH   | Em água – 1:2,5  | pH ≤ 4,5        | Muito baixo                                | 0      | (Alvarez et al., 1999) |
|  |  | 4,5 < pH < 5,5  | Baixo                                      | 1      |                        |
|  |  | 5,5 ≤ pH < 6,0  | Bom  | 2      |                        |
|  |  | 6,0 ≤ pH < 7,0  | Alto                                       | 2      |                        |
|  |  | pH ≥ 7,0        | Muito alto                                 | 1      |                        |
| MO<br>(dag/kg)                                 | Oxidação com dicromato   | MO ≤ 0,7        | Muito baixo                                | 0      | (Alvarez et al., 1999) |
|  |  | 0,7 < MO ≤ 2,0  | Baixo                                      | 0      |                        |
|  |  | 2,0 < MO ≤ 4,0  | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | 4,0 < MO ≤ 7,0  | Bom  | 2      |                        |
|  |  | MO > 7,0        | Muito bom                                  | 2      |                        |
| Ca+Mg<br>(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) | Extrator KCl 1 mol/L   | Ca+Mg ≤ 2       | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 2 < Ca+Mg ≤ 5   | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | Ca+Mg > 5       | Alto                                       | 2      |                        |
| Mg<br>(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )    | Extrator KCl 1 mol/L   | Mg ≤ 0,5        | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 0,5 < Mg ≤ 1,5  | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | Mg > 1,5        | Alto                                       | 2      |                        |
| K<br>(mg/dm <sup>3</sup> )                     | Solução Mehlich-I  | K ≤ 40          | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 40 < K ≤ 60     | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | 60 < K ≤ 90     | Alto                                       | 2      |                        |
|  |  | K > 90          | Muito alto                                 | 2      |                        |
| Al<br>(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )    | Extrator KCl 1 mol/L   | Al ≤ 0,3        | Baixo                                      | 2      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 0,3 < Al ≤ 1    | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | Al > 1          | Alto                                       | 0      |                        |
| S<br>(mg/dm <sup>3</sup> )                     | Extrator Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) em ácido acético 2,0 N. | S ≤ 4           | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 4 < S ≤ 10      | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | S > 10          | Alto                                       | 2      |                        |
| P<br>(mg/dm <sup>3</sup> )<br>(>35% argila)    | Solução Mehlich-I  | P ≤ 5           | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 5 < P ≤ 10      | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | 10 < P ≤ 15     | Alto                                       | 2      |                        |
|  |  | P > 15          | Muito alto                                 | 2      |                        |
| P<br>(mg/dm <sup>3</sup> )<br>(15-35% argila)  | Solução Mehlich-I  | P ≤ 8           | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 8 < P ≤ 15      | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | 15 < P ≤ 20     | Alto                                       | 2      |                        |
|  |  | P > 20          | Muito alto                                 | 2      |                        |
| P<br>(mg/dm <sup>3</sup> )<br>(<15% argila)    | Solução Mehlich-I  | P ≤ 10          | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 10 < P ≤ 18     | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | 18 < P ≤ 25     | Alto                                       | 2      |                        |
|  |  | P > 25          | Muito alto                                 | 2      |                        |
| B<br>(mg/dm <sup>3</sup> )                     | Extração com água quente   | B ≤ 0,35        | Baixo                                      | 0      | (Brasil et al., 2020)  |
|  |  | 0,35 < B ≤ 0,90 | Médio                                      | 1      |                        |
|  |  | B > 0,90        | Alto                                       | 2      |                        |

| Atributo                                     | Metodologia para determinação    | Condição        | Interpretação baseada na classe agrônômica | Escore | Referência                |
|--|----------------------------------|-----------------|--|--------|---------------------------|
| Cu <sup>a</sup><br>(mg/dm <sup>3</sup> )     | Solução DTPA                     | Cu ≤ 2          | Baixo                                      | 0      | (Cantarella et al., 2022) |
|  |                                  | 2 < Cu ≤ 5      | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | Cu > 5          | Alto                                       | 2      |                           |
| Fe <sup>a</sup><br>(mg/dm <sup>3</sup> )     | Solução DTPA                     | Fe ≤ 5          | Baixo                                      | 0      | (Cantarella et al., 2022) |
|  |                                  | 5 < Fe ≤ 12     | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | Fe > 12         | Alto                                       | 2      |                           |
| Mn <sup>a</sup><br>(mg/dm <sup>3</sup> )     | Solução DTPA                     | Mn ≤ 5          | Baixo                                      | 0      | (Cantarella et al., 2022) |
|  |                                  | 5 < Mn ≤ 10     | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | Mn > 10         | Alto                                       | 2      |                           |
| Zn <sup>a</sup><br>(mg/dm <sup>3</sup> )     | Solução DTPA                     | Zn ≤ 5          | Baixo                                      | 0      | (Cantarella et al., 2022) |
|  |                                  | 5 < Zn ≤ 10     | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | Zn > 10         | Alto                                       | 2      |                           |
| V<br>(%)                                     | Soma de bases/CTC potencial      | V ≤ 20          | Muito baixo                                | 0      | (Alvarez et al., 1999)    |
|  |                                  | 20 < V ≤ 40     | Baixo                                      | 0      |                           |
|  |                                  | 40 < V ≤ 60     | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | 60 < V ≤ 80     | Bom  | 2      |                           |
|  |                                  | V > 80          | Muito bom                                  | 2      |                           |
| m<br>(%)                                     | Alumínio/CTC efetiva             | m ≤ 15          | Muito baixo                                | 2      | (Alvarez et al., 1999)    |
|  |                                  | 15 < m ≤ 30     | Baixo                                      | 1      |                           |
|  |                                  | 30 < m ≤ 50     | Médio                                      | 0      |                           |
|  |                                  | 50 < m ≤ 75     | Alto                                       | 0      |                           |
|  |                                  | m > 75          | Muito alto                                 | 0      |                           |
| CTC<br>(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) | Soma de bases + acidez potencial | CTC ≤ 1,6       | Muito baixo                                | 0      | (Alvarez et al., 1999)    |
|  |                                  | 1,6 < CTC ≤ 4,3 | Baixo                                      | 1      |                           |
|  |                                  | 4,3 < CTC ≤ 8,6 | Médio                                      | 1      |                           |
|  |                                  | 8,6 < CTC ≤ 15  | Bom  | 2      |                           |
|  |                                  | CTC > 15        | Muito bom                                  | 2      |                           |

<sup>a</sup> Recomendações para culturas perenes

### Ranqueamento

De forma a compor o IPA, os valores de IQS foram ranqueados arbitrariamente respeitando-se as seguintes faixas apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Faixas de IQS utilizadas para o ranqueamento dos SAFs.

| Ranking | Faixas          |
|---------|-----------------|
| 5       | IQS ≥ 0,8       |
| 4       | 0,6 ≤ IQS < 0,8 |
| 3       | 0,4 ≤ IQS < 0,6 |
| 2       | 0,2 ≤ IQS < 0,4 |
| 1       | IQS < 0,2       |

Fonte: Autores (2022)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Índice de qualidade do solo

A Tabela 5 apresenta os resultados quanto à caracterização dos atributos de fertilidade dos diferentes SAFs estudados. Os resultados para o IQS serão apresentados mais abaixo, pois se trata de um índice que por si só necessita de uma avaliação mais detalhada.

**Tabela 5.** Atributos de fertilidade dos solos para diferentes áreas de SAFs estudadas. Médias seguidas pelo desvio padrão.

| Atributo                    | SAF B (n=12) <sup>a</sup> | SAF C (n=8) | SAF D (n=8) | SAF E (n=7) | SAF F (n=7) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| pH                          | 5,15±0,20                 | 5,79±0,33   | 6,23±0,17   | 5,36±0,40   | 5,19±0,33   |
| P (mg/kg)                   | 3,81±0,73                 | 2,78±1,33   | 5,61±3,36   | 1,89±0,77   | 3,25±1,20   |
| S (mg/kg)                   | 2,27±0,96                 | 2,83±1,11   | 3,01±0,99   | 5,14±2,36   | 3,55±1,05   |
| K (mg/kg)                   | 39±6,88                   | 78±18       | 126±48      | 88±37       | 52,4±10,0   |
| Ca (cmol <sub>c</sub> /kg)  | 1,91±0,89                 | 3,06±1,13   | 3,93±0,89   | 1,91±1,44   | 2,07±0,68   |
| Mg (cmol <sub>c</sub> /kg)  | 0,47±0,22                 | 0,53±0,19   | 0,93±0,23   | 0,90±0,46   | 0,55±0,21   |
| Al (cmol <sub>c</sub> /kg)  | 0,17±0,06                 | 0,04±0,07   | 0,00±0,00   | 0,13±0,12   | 0,16±0,03   |
| MO (%)                      | 2,31±0,54                 | 2,20±0,44   | 3,20±1,34   | 2,53±1,05   | 2,42±0,25   |
| B (mg/kg)                   | 0,10±0,02                 | 0,22±0,11   | 0,28±0,10   | 0,17±0,05   | 0,09±0,03   |
| Cu (DTPA; mg/kg)            | 0,85±0,14                 | 2,35±0,72   | 1,50±0,51   | 2,97±0,74   | 4,23±2,12   |
| Fe (DTPA; mg/kg)            | 86±28                     | 84±14       | 80±8,14     | 69±20       | 162±44      |
| Mn (DTPA; mg/kg)            | 7,84±3,38                 | 88±17       | 72±10       | 122±47      | 33±10       |
| Zn (DTPA; mg/kg)            | 1,08±1,50                 | 2,96±0,81   | 3,39±1,58   | 0,67±0,37   | 1,31±0,31   |
| CTC (cmol <sub>c</sub> /kg) | 6,14±1,48                 | 5,76±1,09   | 7,06±1,17   | 6,03±1,84   | 6,26±0,53   |
| V (%)                       | 39±10                     | 64±11       | 72±5,46     | 47±16       | 44±12       |
| m (%)                       | 8,10±5,26                 | 1,64±3,07   | 0,00±0,00   | 6,59±7,49   | 6,09±2,40   |
| Argila (g/kg)               | 247±24                    | 241±33      | 266±55      | 423±33      | 230±31      |

<sup>a</sup> – Representa o número de réplicas por área; MO – Matéria orgânica do solo; CTC – Capacidade de troca de cátions; V – Saturação por bases; m – Saturação por alumínio.

Fonte: Autores (2022)

De maneira geral, verificou-se que os nutrientes fósforo, boro e zinco, seguidos por enxofre, foram os que mais frequentemente encontraram-se em baixos teores no solo. Em relação ao pH, verificou-se valores variando entre 4,9 a 6,4, sendo que 47% das amostras apresentaram valores  $\geq 5,5$ , os quais favorecem o crescimento das plantas. Dos SAFs avaliados, C e D foram os que apresentaram os valores de pH nas faixas mais adequadas de pH do solo. Também, esses dois SAFs apresentaram os níveis mais adequados para saturação por bases.

Considerando os teores de matéria orgânica do solo, observou-se 62% das amostras com teores classificados como médios e 28% classificados como baixos, o

que pode ser resultado do pouco tempo de implementação dos SAFs. Por outro lado, os micronutrientes Fe e Mn estão em níveis médios a altos (ALVAREZ *et al.*, 1999; BRASIL; CRAVO; VIEGAS, 2020; CANTARELLA *et al.*, 2022).

Os valores de IQS variaram entre 0,362 a 0,602 (Tabela 6). Considerando os valores ranqueados, o SAF D recebeu nota 4, os SAFs C, F e E receberam nota 3 e apenas o SAF B recebeu nota 2. Baseando-se nesses valores, é possível afirmar que, no presente momento, o SAF D apresentou as melhores condições de fertilidade. Os melhores resultados observados no SAF D podem também estar associados a presença de irrigação, a qual pode favorecer a mineralização da matéria orgânica do solo e a ciclagem de nutrientes nessa área. Vale ressaltar que durante os trabalhos de campo, verificou-se que o SAF B apresentava bom especto quanto ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Ou seja, apesar de o SAF B ter recebido o menor IQS devido aos atributos gerais de fertilidade, o bom desenvolvimento das plantas nessa área pode estar associado as demandas intrínsecas das espécies cultivadas. Em outras palavras, os baixos teores de nutrientes observados ainda não estão limitando o crescimento das plantas no SAF B.

**Tabela 6.** Valores médios de IQS e Ranking para diferentes áreas de SAFs estudados.

| SAF | IQS   | Ranking |
|-----|-------|---------|
| D   | 0,602 | 4       |
| C   | 0,547 | 3       |
| F   | 0,473 | 3       |
| E   | 0,469 | 3       |
| B   | 0,362 | 2       |

Fonte: Autores (2022)

Desta forma, verifica-se que a elevação da saturação por bases para os SAFs B, E e F bem como a adequação dos níveis de P, B, Zn e S para todos os SAFs, poderá resultar em melhorias nos sistemas. As quais, conseqüentemente, poderão resultar em uma maior produção de material vegetal nas áreas. Esse possível incremento na produção de biomassa poderá resultar em aumento dos teores de MO do solo, caso os sistemas sejam bem manejados. Apesar de o SAF D ser colocado dentro da posição 4 do ranking, destaca-se que ainda podem ser obtidos inúmeros benefícios com as correções dos aspectos acima mencionados, visto que o valor máximo para o IQS proposto é 1 (atingido quando todos os parâmetros estão em níveis adequados).

### *3.1 Índice de performance agroflorestal*

A classificação dos SAFs foi realizada após a definição dos intervalos de avaliação para cada indicador (Figura 10; Tabela 7). Estes intervalos diferem entre si pois cada um apresenta uma escala diferente. A avaliação de cada indicador, com os cálculos originais que deram origem à classificação encontram-se no Anexo I. Para 2022, o SAF de maior IPA parcial (sem o IQS) foi o B, seguido do E, D/F e C (Tabela 7a). Adicionando os valores do IQS (IPA final), temos um resultado semelhante, com os SAFs B, D e E empatados na primeira posição, seguidos de F e C.

Isto reflete a realidade encontrada em campo, pois o SAF B, apresenta melhores condições gerais de solos, diversidade, facilidade de replicação e menor taxa de mortalidade (Figura 5). O agricultor seguiu melhor as recomendações da equipe de monitoramento e realizou melhor controle dos desafios encontrados. A vegetação encontra-se mais estabilizada, resistente, com espécies frutíferas iniciando sua fase reprodutiva e as madeiras em bom estado de crescimento. O SAF E apresentou o segundo maior IPA parcial (Tabela 7 e figura 11), também com boas condições de solos e vegetação, embora tenha apresentado mais desafios e maior taxa de mortalidade durante 2022 que o SAF B, devido as secas e falta de irrigação. A maior parte dos indivíduos da cultura principal (cacau) encontra-se em replantio devido a mortalidade. Demais espécies encontram-se em bom estado de crescimento e manejo fitossanitário adequado.

**Figura 5.** Desenvolvimento das mudas citros, cupuaçu e taperebá no SAF B durante a visita técnica realizada em agosto de 2022.



Fonte: Autores (2022)

**Figura 6.** Desenvolvimento das mudas de banana e cacau no SAF E durante a visita técnica realizada em outubro de 2022.



Fonte: Autores (2022)

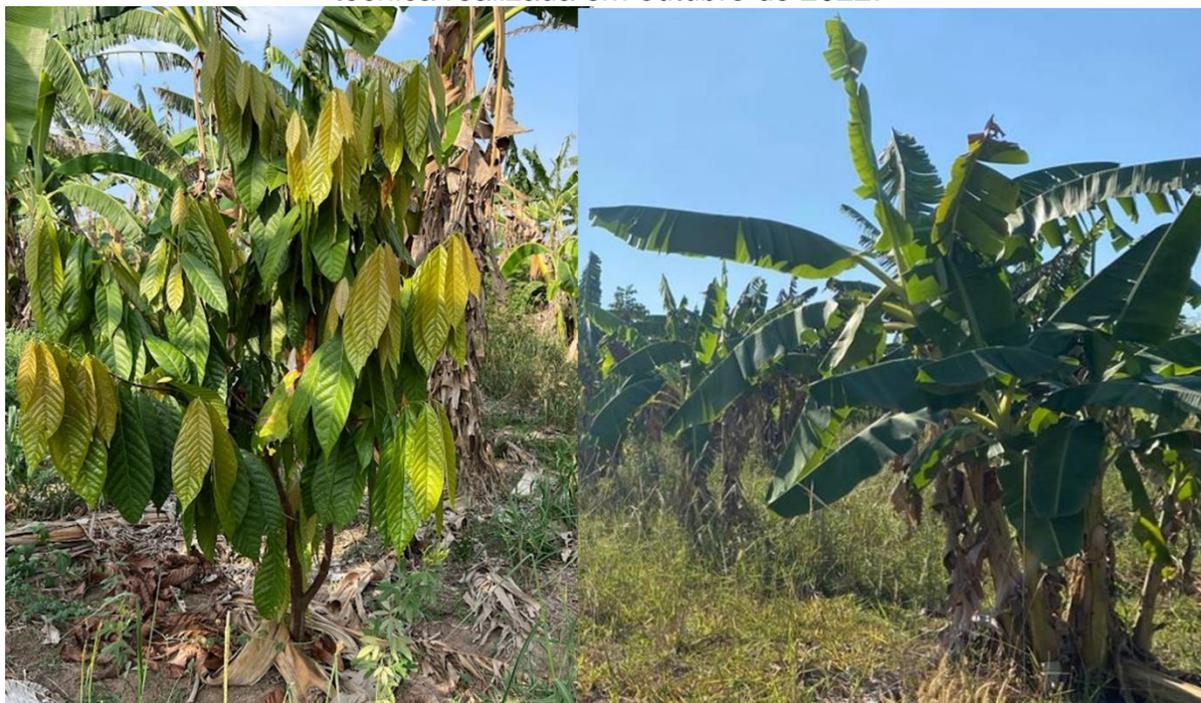
Por outro lado, o SAF C, de menor IPA (Tabela 7a), além da mortalidade relevante devido às secas, sua cultura principal (açai) é bastante exigente de água e sombreamento estabilizado, dificultando o quesito de replicabilidade (Figura 7). A vegetação está em fase inicial de crescimento em virtude do replantio realizado. Plantas encontram-se saudáveis sem presença de doenças e pragas e as espécies madeireiras possuem crescimento satisfatório. Os SAFs D e F apresentaram menor ocupação da área e mortalidade devido a ocorrência de secas extremas, embora sejam mais estruturados facilitando a replicabilidade. O SAF D apresenta vegetação com crescimento satisfatório após replantio da espécie principal (cacau) em fevereiro de 2022 (Figura 8). Plantas saudáveis requerendo apenas poda de formação para o cacau. Espécies madeireiras em bom estado de crescimento. O SAF F possui vegetação em fase inicial de crescimento em virtude do replantio realizado em fevereiro de 2022. Plantas saudáveis sem presença de doenças e pragas e espécies madeireiras com crescimento satisfatório (Figura 9).

**Figura 7.** Desenvolvimento de mudas de açai, banana e mogno no SAF C durante a visita técnica realizada em agosto de 2022.



Fonte: Autores (2022)

**Figura 8.** Desenvolvimento de mudas de cacau e banana no SAF D durante a visita técnica realizada em outubro de 2022.



Fonte: Autores (2022)

**Figura 9.** Desenvolvimento de mudas de graviola e citros no SAF F durante a visita técnica realizada em outubro de 2022.



Fonte: Autores (2022)

Em uma comparação destes resultados com os dados calculados em 2021 (ZIANTONI *et al.*, 2021) (Tabela 7b, Figura 11), excluindo o índice de qualidade de

solos, encontramos que houve uma estabilidade geral do IPA entre os anos, com uma ligeira melhora para os SAFs B e F, uma redução de um ponto para o SAF D e o mesmo desempenho para C e E. Houve uma manutenção dos resultados gerais para o IPA, mas com diferenças para alguns indicadores, principalmente mortalidade e replicabilidade (Tabela 7).

Dos sete indicadores avaliados, dois (replicabilidade e desafios encontrados) possuem mais chances de subjetividade, podendo apresentar um viés entre os diferentes avaliadores nos dois anos diferentes. O restante é calculado de maneira objetiva, reduzindo a subjetividade. Mantendo a consistência de monitoramento e indicadores de avaliação, acreditamos que o IPA pode ser uma boa ferramenta para medir principalmente a evolução de cada SAF ao longo do tempo, utilizando indicadores adaptados à realidade e objetivo dos sistemas. A comparação de SAFs entre diferentes regiões, deve ser avaliada com cautela, pois cada região possui particularidades de solos, tipo de vegetação, clima, entre outros, que podem afetar diretamente o desempenho dos SAFs, dificultando comparações.

Outro fator importante, é que o IPA é composto por diversos indicadores. Enquanto um pode ser muito bem avaliado, o outro não, podendo apresentar o mesmo índice de outro SAF com características bem distintas. Isso demonstra a complexidade de monitoramento dos sistemas e uma avaliação mais completa precisa levar em consideração as diversas dimensões, objetivos, realidade do agricultor, recursos disponíveis, condições locais, entre outros aspectos.

**Figura 10.** Classificação dos sistemas agroflorestais por indicador, de acordo com as notas de desempenho (ranking) nos intervalos de avaliação estabelecidos para cada indicador

| Diversidade biológica |         |               | Nichosfuncionais |         |               | Taxa de ocupação (nºplanta/m²) |         |               |
|-----------------------|---------|---------------|------------------|---------|---------------|--------------------------------|---------|---------------|
| Intervalo             | Ranking | Classificação | Intervalo        | Ranking | Classificação | Intervalo                      | Ranking | Classificação |
| 0-20                  | 1       | -             | 0-1              | 1       | -             | 0-1                            | 1       | BCDF          |
| 20-10                 | 2       | -             | 2-3              | 2       | -             | 1-2                            | 2       | E             |
| 30-40                 | 3       | CDEF          | 4-5              | 3       | BCDEF         | 2-3                            | 3       | -             |
| 40-50                 | 4       | B             | 6-7              | 4       | -             |                                |         |               |
| 50+                   | 5       | -             | 8+               | 5       | -             |                                |         |               |

| Desafios encontrados |         |               | Mortalidade (%) |         |               | Replicabilidade |         |               |
|----------------------|---------|---------------|-----------------|---------|---------------|-----------------|---------|---------------|
| Intervalo            | Ranking | Classificação | Intervalo       | Ranking | Classificação | Intervalo       | Ranking | Classificação |
| 0                    | 5       | -             | <10%            | 5       | B             | 1               | 1       | -             |
| 1-2                  | 4       | EF            | <20%            | 4       | -             | 2               | 2       | -             |
| 3-4                  | 3       | CD            | 20-50%          | 3       | CDE           | 3               | 3       | CE            |
| 5-6                  | 2       | B             | 50-70%          | 2       | F             | 4               | 4       | BDF           |
| 7+                   | 1       | -             | >70%            | 1       | -             | 5               | 5       | -             |

| Índice de qualidade de solos |         |               |
|------------------------------|---------|---------------|
| Intervalo                    | Ranking | Classificação |
| ≥ 0,8                        | 5       | -             |
| 0,6 - 0,8                    | 4       | D             |
| 0,4 - 0,6                    | 3       | CFE           |
| 0,2 - 0,4                    | 2       | B             |
| < 0,2                        | 1       | -             |

Fonte: Autores (2022)

**Tabela 7.** Notas de desempenho dos sistemas agroflorestais (SAF) por indicador e por ano de análise (a - 2022, b - 2021) e índice de performance agroflorestal por SAF e por ano

| (a) Indicador 2022               | SAF B     | SAF C     | SAF D     | SAF E     | SAF F     |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Diversidade biológica            | 4         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| Diversidade de nichos funcionais | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| Ocupação da área                 | 1         | 1         | 1         | 2         | 1         |
| Desafios encontrados             | 2         | 3         | 3         | 4         | 4         |
| Mortalidade                      | 5         | 3         | 3         | 3         | 2         |
| Replicabilidade                  | 4         | 3         | 4         | 3         | 4         |
| <b>*IPA parcial 2022</b>         | <b>19</b> | <b>16</b> | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>17</b> |
| Índice de qualidade do solo      | 2         | 3         | 4         | 3         | 3         |
| <b>**IPA final 2022</b>          | <b>21</b> | <b>19</b> | <b>21</b> | <b>21</b> | <b>20</b> |

| (b) Indicador 2021               | SAF B | SAF C | SAF D | SAF E | SAF F |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diversidade biológica            | 5     | 3     | 3     | 3     | 4     |
| Diversidade de nichos funcionais | 2     | 3     | 3     | 3     | 2     |
| Ocupação da área                 | 1     | 1     | 2     | 3     | 1     |
| Desafios encontrados             | 4     | 3     | 3     | 3     | 4     |

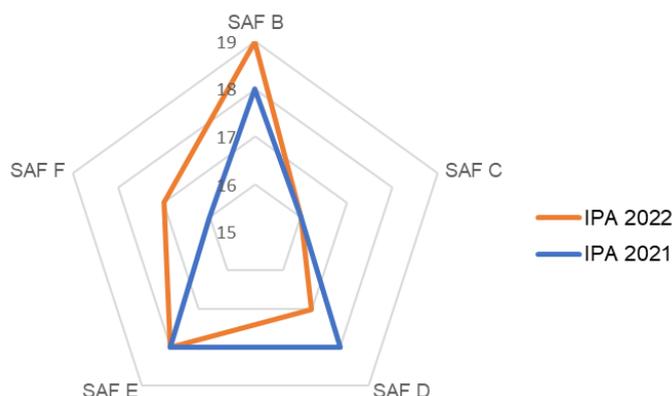
|                             |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mortalidade                 | 3         | 1         | 2         | 1         | 3         |
| Replicabilidade             | 3         | 5         | 5         | 5         | 2         |
| Índice de qualidade do solo | -         | -         | -         | -         | -         |
| <b>IPA 2021</b>             | <b>18</b> | <b>16</b> | <b>18</b> | <b>18</b> | <b>16</b> |

\* Sem o índice de qualidade de solos

\*\* Com o índice de qualidade de solos

Fonte: (a) Autores (2022); (b) ZIANTONI et al. (2021)

**Figura 11.** Comparação do Índice de performance agroflorestal (IPA)\* dos sistemas agroflorestais (SAF) entre os anos de análise



Fonte: Autores (2022)

\*Esta comparação exclui o indicador “índice de qualidade de solo” por não estar presente na análise realizada em 2021.

## 5 CONCLUSÃO

Abaixo destacamos os principais resultados, implicações e recomendações deste estudo:

- Os SAFs B,D,E apresentaram os maiores IPA, seguido de F e C;
- Os resultados encontrados corroboram com a realidade encontrada em campo em relação às condições de desenvolvimento da vegetação nos SAFs;
- A inclusão de um indicador de qualidade dos solos é fundamental para avaliação da performance dos SAFs. Nesse sentido, menor valor de IQS foi atribuído ao SAF B em função dos menores teores de S, P, B, Cu e Zn, bem como valores mediados de pH e saturação por bases. Diferentemente do SAF D, para o qual foi atribuído o maior valor de IQS e melhor posição do ranking. Nesse SAF, os atributos pH, Ca, Mg, K, saturação por bases (valores médios a altos) e Al e saturação por alumínio (valores baixos) contribuíram para positivamente para com a melhor qualidade em termos de fertilidade;

- Apesar de o SAF B ter recebido o menor valor de IQS, durante as visitas de campo, observou-se bom especto quanto ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Ou seja, os baixos teores de nutrientes observados ainda não estão limitando o crescimento das plantas no SAF B. De modo geral, essa observação de campo corrobora com os resultados obtidos para IPA;
- É necessário manter a consistência entre os indicadores, torná-los os mais objetivos possível e manter uma metodologia sistematizada de monitoramento para reduzir a subjetividade e o viés na definição do IPA ao longo do tempo;
- O IPA pode ser uma boa ferramenta para avaliar o desempenho de um SAF ao longo do tempo. Mas é necessária cautela para comparação entre diferentes SAFs de diferentes regiões, pois cada região possui particularidades de solos, tipo de vegetação, clima, que podem afetar o desempenho e dificultar comparações;
- Por se tratar de um índice composto por diversos indicadores, uma avaliação mais completa deve considerar suas diferentes dimensões, levando em consideração objetivos, realidade do agricultor, recursos disponíveis, condições locais e a avaliação dos indicadores separadamente;
- Com a continuidade do monitoramento destas UDs, espera-se uma melhora do IPA, com o amadurecimento da vegetação, com maior resistência ao ataque de pragas, doenças e secas, se o agricultor implementar o manejo correto e mantiver ou melhorar a estrutura dos sistemas.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. *et al.* Interpretação dos resultados das análises de solos. *Recomendações Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes Em Minas Gerais - 5º Aproximação*. 1. ed. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 360.
- AMACHER, M. C.; O'NEIL, K. P.; PERRY, C. H. Soil vital signs: A new Soil Quality Index (SQI) for assessing forest soil health. *Res. Pap. RMRS-RP-65. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station*. 12 p., v. 65, 2007. Disponível em: <<https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/27300>>. Acesso em: 21 dez. 2022.
- BALBINO, L. C. *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, out. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/pab/a/XkWF68LZPNkFRr7zsK7J7mP/?lang=pt>>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- BLINN, C. E. *et al.* Rebuilding the Brazilian rainforest: Agroforestry strategies for secondary forest succession. *Applied Geography*, v. 43, p. 171–181, set. 2013.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. DA S.; VIEGAS, I. DE J. M. *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- CANTARELLA, H. *et al.* *Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 3. ed. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2022.
- CANUTO, J. C. *Sistemas Agroflorestais : experiências e reflexões*. 1. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2017.
- COSTA, R. B. DA; ARRUDA, E. J. DE; OLIVEIRA, L. C. S. DE. Sistemas agrossilvipastoris como alternativa sustentável para a agricultura familiar. *Interações (Campo Grande)*, 2002. Disponível em: <<https://interacoesucdb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/567>>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- COSTA, P.; ZIANTONI, V. *Relatório de monitoramento e avaliação das Unidades Demonstrativas de Sistemas Agroflorestais Instaladas em Juruti, PA*. . Juruti, Pará: Preta Terra, 2019. Disponível em: <Não publicado>.
- EMBRAPA. *Estratégia de recuperação: Sistemas Agroflorestais*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/sistemas-agroflorestais-safs>>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- FAHAD, S. *et al.* Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 14877, jan. 2022.
- FRANCO, F.; ALVARES, S.; DA ROSA, S. *Sistemas agroflorestais com juçara*. São Paulo, SP: Fernando Silveira Franco, 2018. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cbrn/publicacoes>>.

GASTAUER, M.; CAVALCANTE, R. B. L.; *et al.* Structural Hurdles to Large-Scale Forest Restoration in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 8, 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2020.593557>>. Acesso em: 26 maio 2022.

GASTAUER, M.; SARMENTO, P. S. M.; *et al.* Vegetative functional traits guide plant species selection for initial mineland rehabilitation. 2020.

IBGE. *Censo agropecuário 2017*. . Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html)>.

LAUDARES, S. S. DE A. *et al.* AGROFORESTRY AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR ENVIRONMENTAL REGULARIZATION OF RURAL CONSOLIDATED OCCUPATIONS. *CERNE*, v. 23, p. 161–174, jun. 2017.

MAPBIOMAS. *Relatório anual do desmatamento no Brasil*. . São Paulo, SP: [s.n.], 2022. Disponível em: <<http://alerta.mapbiomas.org/>>.

MARTINELLI, J. V. *Os Sistemas Agroflorestais no Brasil - Abordagem conceitual, ecológica e socioeconômica*. 2020. 102 f. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2020. Disponível em: <[https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5085/2/Joao\\_Martinelli\\_2020.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5085/2/Joao_Martinelli_2020.pdf)>.

MAY, P.; TROVATTO, C. *Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica*. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008. Disponível em: <[https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1935292/mod\\_resource/content/1/Manual\\_Agroflorestal%20para%20a%20Mata%20Atl%C3%A2ntica.pdf](https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1935292/mod_resource/content/1/Manual_Agroflorestal%20para%20a%20Mata%20Atl%C3%A2ntica.pdf)>.

MORAES, L. F. D. *Indicadores de restauração de áreas degradadas na reserva biológica Poço das Antas, RJ*. 2005. 111 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NUNES, S. *et al.* Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species. *Forest Ecology and Management*, v. 466, p. 118120, 15 jun. 2020.

SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, v. 433, p. 140–145, 15 fev. 2019.

SARANDÓN, S. J. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. [S.l.]: E.C.A. Ed. Científicas Americanas, 2002.

SIQUEIRA, L. P. *Monitoramento de áreas restauradas no interior do Estado de São Paulo, Brasil*. 2002. 116 f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2002. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-06112002-132835/pt-br.php>>.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

WILSON, M. H.; LOVELL, S. T. Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability*, v. 8, n. 6, p. 574, jun. 2016.

ZIANTONI, V. *et al.* *Relatório Técnico Final: Projeto Biodiversidade e geração de renda. Eixo Silvicultura produtiva e SAFs para agricultura familiar*. . SP: Preta Terra, 2021. Disponível em: <Não publicado>.

## ANEXO I

Abaixo especificamos os cálculos e avaliações de cada indicador analisado em 2022, os quais levaram à atribuição das notas de desempenho do índice de performance agroflorestal:

### Diversidade biológica

|      | UDs                    | Espécies | Famílias | Diversidade (%) |
|------|------------------------|----------|----------|-----------------|
| 2022 | SAF B                  | 13       | 11       | 50,00           |
|      | SAF C                  | 8        | 7        | 30,77           |
|      | SAF D                  | 7        | 7        | 26,92           |
|      | SAF E                  | 8        | 7        | 30,77           |
|      | SAF F                  | 10       | 7        | 38,46           |
|      | <b>Total acumulado</b> | 26       |          | 100             |

### Diversidade de nichos funcionais

| NICHOS FUNCIONAIS |                      | SAF B (%)      | SAF C (%) | SAF D (%) | SAF E (%) | SAF F (%) |       |
|-------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 2022              | Serviço              | 37,22          | 48,89     | 79,44     | 85,11     | -         |       |
|                   | Agrícola             | -              | 8,33      | -         | -         | -         |       |
|                   | Palmeira             | -              | 34,44     | -         | 0,53      | 10,42     |       |
|                   | Arbustiva            | -              | -         | -         | -         | -         |       |
|                   | Florestal            | Madeireira     | 1,01      | 3,33      | 0,80      | -         | 7,29  |
|                   |                      | Não madeireira | 60,36     | 0         | 19,16     | 12,65     | 80,21 |
|                   |                      | Ambos          | 1,21      | 5,00      | 0,60      | 1,71      | 2,08  |
|                   | <b>Total plantas</b> |                | 497       | 360       | 501       | 759       | 96    |
| <b>Área (ha)</b>  |                      | 0,94           | 0,54      | 0,54      | 0,5       | 0,5       |       |

## Ocupação da área

| UD         | Área (ha) | Total de plantas | plantas/m <sup>2</sup> |
|------------|-----------|------------------|------------------------|
| 2022 SAF B | 0.94      | 497              | 0,529                  |
| SAF C      | 0.54      | 360              | 0,667                  |
| SAF D      | 0.54      | 501              | 0,928                  |
| SAF E      | 0.5       | 759              | 1,518                  |
| SAF F      | 0.5       | 96               | 0,192                  |

## Desafios encontrados

| TIPO                          | SAFs  | ESPÉCIE AMEAÇADA |
|-------------------------------|-------|------------------|
| formiga de fogo               | BCD   | todas            |
| fungo (fumagina)              | B     | Citrus           |
| cochonilha                    | B     | Citrus           |
| abelhas irapuás               | B     | Citrus           |
| Eventos climático extremos    | DE    | Todas            |
| Pouco sombreamento            | CD    | Açaí e cacau     |
| Manejo incorreto/insuficiente | BCDEF | Todas            |

## Taxa de mortalidade

| UD         | Mortalidade (%) |
|------------|-----------------|
| 2021 SAF B | 9,7             |
| SAF C      | 41,7            |
| SAF D      | 40,6            |
| SAF E      | 44,4            |
| SAF F      | 65,8            |

## Replicabilidade

|                  | Métricas   | SAF B | SAF C | SAF D | SAF E | SAF F |
|------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | distribuição das espécies organizadas de maneira lógica                                      | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 2<br>0<br>2<br>2 | conhecimento de espécies que possam substituir outras sem comprometer sua função estratégica | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  | facilidade de manejo do sistema  | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     |
|                  | mudas/sementes disponíveis   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  | espécies muito exigentes (solo, água, sombra, etc)   | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |
|                  | Total  | 4     | 3     | 4     | 3     | 4     |

## Índice de qualidade de solos

| SAF | IQS   | Ranking |
|-----|-------|---------|
| D   | 0,602 | 4       |
| C   | 0,547 | 3       |
| F   | 0,473 | 3       |
| E   | 0,469 | 3       |
| B   | 0,362 | 2       |