

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE BACHARELADO EM AGROECOLOGIA

VENÂNCIO FERREIRA DOS SANTOS

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CAFEICULTURA: o potencial dos Sistemas Agroflorestais na região
Semiárida para o controle microclimático dos ambientes produtivos – um caso de sucesso na
região do Malhador – Seabra – Chapada Diamantina – Estado da Bahia**

**IRECÊ- BA
2025**

VENÂNCIO FERREIRA DOS SANTOS

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CAFEICULTURA: o potencial dos Sistemas
Agroflorestais na região Semiárida para o controle microclimático dos ambientes
produtivos – um caso de sucesso na região do Malhador – Seabra – Chapada
Diamantina – Estado da Bahia**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade do
Estado da Bahia como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Darcy Ribeiro
de Castro

IRECÊ- BA
2025


VENÂNCIO FERREIRA DOS SANTOS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CAFEICULTURA: o potencial dos Sistemas Agroflorestais na região Semiárida para o controle microclimático dos ambientes produtivos – um caso de sucesso na região do Malhador – Seabra – Chapada Diamantina – Estado da Bahia


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade do Estado da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agroecologia.

Aprovado em: **01/12/2025**


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DARCY RIBEIRO DE CASTRO**
Data: 27/01/2026 18:40:14-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Componente da Banca Examinadora – Darcy Ribeiro de Castro, doutor – UNEB Campus XVI.

Documento assinado digitalmente
 **IVANIA BATISTA DE OLIVEIRA FARIAS**
Data: 23/01/2026 14:59:53-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Componente da Banca Examinadora – Ivânia Batista de Oliveira Farias, doutora – UNEB – Campus XVI.

Documento assinado digitalmente
 **ROBERTA MACHADO SANTOS**
Data: 27/01/2026 17:10:10-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Componente da Banca Examinadora – Roberta Machado Santos, doutora – IFBAIANO – Campus Xique-Xique.

DEDICATÓRIA

Dou início a minha dedicatória a Francisco Ferreira dos Santos, meu vô Chiquim (em memória), uma das minhas primeiras referências de plenitude em ser humano. Ele que foi um dos maiores compradores e vendedores de café da cidade, que me conectou com as potencialidades do grão mais precioso de toda região, o café. Ao lado dele, todo sábado, no seu escritório me envolvi com esse grão e com os negócios relacionados a esse produto: o cheiro, a textura, a cor, as conversas, os causos, as negociações, os apertos de mão e o café, preciosidade que emancipava o comprador e os vendedores.

Estendo a gratidão ao meu pai, Natalino Ferreira dos Santos, o meu maior mestre na cafeicultura agroflorestal, que nos anos 2000 decidiu se decolonizar e propor uma produção que se adequasse com a região, que fosse limpa, natural e sustentável ao longo dos anos. Muitos o chamaram de louco, aventureiro por ir contra a produção hegemônica convencional que um dia um Banco e seus agrônomos trouxeram como solução de produtividade e lucro, como a única maneira possível de produzir. Porém ele se manteve firme e convicto: vou começar a deixar árvores crescerem aqui, olha como os pés de café estão mais bonitos aqui embaixo desse Pé de Jaca, e embaixo desse pé São João, e embaixo desse pé de Paratudo, olha como o solo tá protegido, coberto, escuro, úmido...”. Mal sabia ele que anos após, aquele modelo se tornaria a única maneira de perpetuação da cafeicultura naquela e em outras regiões. Imagine aí se ele tivesse se deixado colonizar por aqueles que se diziam os sábios do futuro e que hoje não conseguem mais resolver os problemas que criaram? Os sistemas agroflorestais agora mudam o cenário, o clima, a temperatura, a maneira de produzir por mais tempo!

AGRADECIMENTOS

Dou início aos meus agradecimentos à minha mãe Edelza Francisca dos Santos, que mesmo com medo permitiu que o filho saísse do ninho e das suas asas para buscar os sonhos àquela criança sonhadora, inquieta, ansiosa. A você, minha mãe, que sempre quis minha presença em teu colo e mesmo assim permitiu que eu fosse em busca dos sonhos da minha vida e todos os dias me colocava em suas orações, minha gratidão.

Agradeço também aos meus irmãos Nathalie Ferreira dos Santos e Stenio Erson dos Santos por serem sempre parceiros na vida, na construção mútua de carreiras, o apoio essencial para tornar as correrias mais leves e eficazes.

Aos meus sobrinhos, Anthony Gabriel, Luís Fellipe, Lavínia Vitória e Heny Erson, àqueles que sempre me motiva a buscar avançar, a buscar meus sonhos e projetos, busco sempre ser a inspiração que vocês precisam para sonhar e lutar pelos seus propósitos.

Agradeço também a Cooperativa de Produtores Orgânicos e Biodinâmicos da Chapada Diamantina - COOPERBIO, que em um momento que eu desisti de seguir um caminho oposto aos seus anseios, me acolheu e me colocou em contato com minha ancestralidade, com aquilo que pulsava e voltou a ascender, me vez conectar com o meu propósito: a cafeicultura sustentável como instrumento de emancipação das pessoas e das comunidades rurais.

Aos meus amigos e amigas que toleraram as minhas distâncias e ausências durante o percurso da minha formação e sempre me acolhiam de volta com a mesma intensidade.

Agradeço aos meus mestres e mestras na universidade, em especial a professora Maria Dorath, pelo acolhimento incansável principalmente no início de nosso caminho dentro da UNEB. Dedico um agradecimento mais que especial ao meu pai na ciência, Darcy Ribeiro de Castro, que acolheu meus propósitos, meus ideais e minhas propostas de pesquisa, me guiando pelos caminhos da ciência mais refinada, esse TCC é fruto dessa construção que fizemos.

Por fim, dedico a minha comunidade de Lagoa da Boa Vista. Foi por essa comunidade que ousei voar, em um momento que tive a certeza de que eu não conseguiria ser feliz sozinho, eu precisaria vê a felicidade florescer ao redor de mim, nos meus, na minha comunidade, na juventude desse lugar. E também foi por vocês que eu fui, permaneci e voltei!

EPÍGRAFE

“Nós, caminhando pelos penhascos,
atingimos o equilíbrio das planícies.

Nós, nadando contra as marés,
atingimos a força dos mares.

Nós, edificando nos lamaçais,
atingimos a firmeza dos lajeiros.

Nós, habitando nos rincões,
atingimos a proximidade da redondeza.

Nós somos o começo, o meio e o começo.

Existiremos sempre,
sorrindo nas tristezas
para festejar a vinda das alegrias.

Nossas trajetórias nos movem,

Nossa ancestralidade nos guia.”
Nego Bispo

RESUMO

Estudos atrelando a análise estomática de *Coffea arabica* produzido na região semiárida, em consórcio com vegetais nativos no sistema agroflorestal – SAF – e a funcionalidade desses no controle microclimático e recuperação de ambientes produtivos, corroborado pela influência na plasticidade morfológica e anatômica de estômatos das cultivares são escassos na literatura. A pesquisa envolveu um trabalho quali-quantitativo, descritivo/experimental em campo e laboratório, em que se utilizou como instrumento a observação direta. Como tratamentos, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), onde as coletas foram realizadas em dois ambientes/tratamentos: Área 1 – ambiente agroflorestal de sequeiro e Área 2 – ambiente a sol pleno de sequeiro, ambos na localidade denominada Malhador, município de Seabra, território de identidade da Chapada Diamantina, região semiárida do Brasil, em um ecótono entre Caatinga e Cerrado, estado da Bahia. Para isso, foram realizadas coletas de dados microclimáticos das áreas de estudo por meio dos equipamentos Termo-Higrômetro e termômetro infravermelho. Para as análises foliar e estomática foram coletadas durante os meses de fevereiro a outubro de 2025 a temperatura do tecido epidérmico de *C. arabica* por meio de um termômetro infravermelho, além de impressões adaxial e abaxial da epiderme das folhas do vegetal por meio da utilização de adesivo instantâneo em lâminas de vidro, com vistas a avaliar o comportamento dos estômatos pelos efeitos climáticos das áreas nas cultivares. As análises foram feitas no Laboratório Multidisciplinar da Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Campus XXIV e no Campus Seabra do Instituto Federal da Bahia - IFBA, sob aumento de 400x, em Microscopia Óptica Comum, e as informações registradas em diário de bordo. Os dados foram categorizados, processados, analisados quantitativamente e qualitativamente com auxílio do Microsoft Excel (2010) e do programa Sisvar por meio do teste Tukey que realizou as Análises de Variância (ANAVA) a 5% de significância para compreender as médias entre os tratamentos. Em relação dos dados microclimáticos das duas áreas de estudo, houve diferença significativa entre si, apresentando: Temperatura do Ambiente - TA (Área 1: 25,15°C e Área 2: 29,58°C) e do solo – TS (Área 1: 22,29°C e Área 2: 47,83°C) e Umidade

Relativa do Ar - URA (Área 1: 50% e Área 2: 38,33%). Em relação aos dados foliares e estomáticos, houve diferenças significativas entre si os parâmetros: Temperatura da Folha – TF (Área 1: 22,70°C e Área 2: 26,37°C); Densidade Estomática – DE (Área 1: 22,65 e Área 2: 28,12 estômatos/mm²), Frequência Estomática - FE (Área 1: 57,55% e Área 2: 78,71%) e Índice Estomático - IE (Área 1: 18,38% e Área 2: 21,87%); não apresentou diferença significativa entre si entre os tratamentos referentes a: Tamanho dos Estômatos – TE (Área 1: 19,07µm e Área 2: 19,28µm). Em relação a Estômatos Abertos – EA houve diferença significativa entre si (Área 1: 13,32 e Área 2: 21,79 estômatos abertos), não houve diferença significativa entre si em relação a Estômatos Fechados – EF (Área 1: 54,48 e Área 2: 66,40 estômatos fechados), em 1mm² de folha. Na área 2, ambiente a sol pleno, houve uma maior quantidade de estômatos abertos em relação ao ambiente agroflorestral, o que pode indicar um baixo controle de evapotranspiração da cultivar para ambientes xéricos. A partir dos dados obtidos foi possível indicar que os sistemas agroflorestrais (Área 1) amenizam o stress da espécie *C. arabica* pelo controle das condições microclimáticas do ambiente como temperatura e umidade o que reflete no comportamento estomático. Esses aspectos estão relacionados ao melhor conforto térmico que os SAF garantem às cultivares, o que pode indicar uma qualidade ambiental pelo potencial desses sistemas com espécies nativas para recuperação de ambientes produtivos degradados e aperfeiçoamento da saúde vital e produtiva do cafeeiro.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Convivência com o Semiárido; Análise estomática; SAF; Café.

ABSTRACT

Studies linking stomatal analysis of *Coffea arabica* in semi-arid regions, intercropped with native vegetation, and the functionality of these systems in microclimate regulation and recovery of productive environments—corroborated by their influence on the morphological and anatomical plasticity of stomata in different cultivars—are still scarce in the scientific literature. This research comprised a qualitative and quantitative, descriptive/experimental study conducted in both field and laboratory settings, using direct observation as the main methodological instrument. The experimental design adopted was a Completely Randomized Design (CRD), with data collection carried out in two environments/treatments: Area 1 – rainfed agroforestry system, and Area 2 – rainfed full-sun system. Both areas are located in Malhador, municipality of Seabra, within the Chapada Diamantina identity territory, a semi-arid region of Brazil, situated in an ecotone between the Caatinga and Cerrado biomes, in the state of Bahia. Microclimatic data were collected using a thermo-hygrometer and an infrared thermometer. Leaf and stomatal analyses were conducted between February and October 2025, including measurements of epidermal tissue temperature using an infrared thermometer, as well as adaxial and abaxial epidermal impressions of *C. arabica* leaves obtained through the application of instant adhesive on glass slides, aiming to evaluate stomatal behavior in response to the climatic effects of each environment on the cultivars. Analyses were performed at the Multidisciplinary Laboratory of the Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Campus XXIV, and at the Seabra Campus of the Instituto Federal da Bahia (IFBA), under different magnifications using conventional optical microscopy, with observations recorded in a field logbook. Data were categorized, processed, and analyzed both quantitatively and qualitatively using Microsoft Excel (2010) and the Sisvar software, applying Tukey's test for Analysis of Variance (ANOVA) at a 5% significance level to compare means between treatments. Microclimatic data showed significant differences between the two areas, including ambient temperature – AT (Area 1: 25.15°C; Area 2: 29.58°C), soil temperature – ST (Area 1: 22.29°C; Area 2: 47.83°C), and relative air humidity – RAH (Area 1: 50%; Area 2: 38.33%). Regarding leaf and stomatal parameters, significant differences were

observed for leaf temperature – LT (Area 1: 22.70°C; Area 2: 26.37°C), stomatal density – SD (Area 1: 22.65; Area 2: 28.12 stomata mm⁻²), stomatal frequency – SF (Area 1: 57.55%; Area 2: 78.71%), and stomatal index – SI (Area 1: 18.38%; Area 2: 21.87%). No significant difference was found for stomatal size – SS (Area 1: 19.07 µm; Area 2: 19.28 µm). A significant difference was observed for open stomata – OS (Area 1: 13.32; Area 2: 21.79 open stomata), while no significant difference was found for closed stomata – CS (Area 1: 54.48; Area 2: 66.40 closed stomata) per 1 mm² of leaf area. The full-sun environment (Area 2) presented a higher number of open stomata compared to the agroforestry system, which may indicate reduced evapotranspiration control of the cultivar under xeric conditions. Based on the obtained data, it was possible to indicate that agroforestry systems (Area 1) mitigate stress in *C. arabica* by regulating microclimatic conditions such as temperature and humidity, directly influencing stomatal behavior. These aspects are associated with improved thermal comfort provided by agroforestry systems, suggesting their environmental quality and potential, when combined with native species, for the recovery of degraded productive environments and the enhancement of the physiological health and productivity of coffee crops.

Keywords: Climate change; Coexistence with the semi-arid region; Stomatal analysis; Agroforestry systems; Coffee.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: região semiárida brasileira.....	20
Figura 02: (A) Temperatura média anual do Nordeste e Semiárido brasileiro. (B) Precipitação média anual do Nordeste e Semiárido brasileiro.....	21
Figura 03: Evolução anual da cobertura e uso da terra no bioma Caatinga.....	27
Figura 04: Mapa dos municípios que compõem o Território da Chapada Diamantina...	29
Figura 05: Distribuição das atividades nos setores Agropecuário, indústria e Comércio e Serviços, no Território da Chapada Diamantina.....	29
Figura 06: Mapa de solos da cidade de Seabra-BA.....	32
Figura 07: (A) Mudanças no teor de Nitrogênio (N) na superfície do solo em função da distância árvores. (B) Mudanças no teor de Fósforo (P) na superfície do solo em função da distância árvores.....	38
Figura 08: Espécie <i>S. spectabilis</i> (São João).....	41
Figura 09: Face abaxial, estômatos fechados. Área 1 - Irecê-BA. Bioma Caatinga (aumento de 400x). Escala Fig. 8: 22µm.....	44
Figura 10: Face abaxial, estômatos fechados. Área 2 - Seabra-BA. Ecótono Caatinga e Cerrado (aumento de 400x). Escala Fig. 9: 22µm.....	44
Figura 11: Espécie <i>Coffea arabica</i> em SAF com espécies nativas.....	46
Figura 12: Estômatos na epiderme foliar das cultivares do cafeeiro (A) Araponga, (B) Arara, (C) Catiguá MG2, (D) Catucaí 2SL e (E) IPR107.....	52
Figura 13: Número médio de estômatos por área (objetiva de 40x) observados nas diferentes cultivares do cafeeiro. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.....	53
Figura 14: Zoneamento agroclimático do <i>Coffea arabica</i> para o Brasil.....	56
Figura 15 (ABCD): Zoneamento agroclimático do <i>Coffea arabica</i> para o Brasil nos diferentes cenários de mudanças climática considerando as projeções os anos de 2041 a 2060.....	57

Figura 16: Porcentagem de aptidão do zoneamento agroclimático para a cultura do Café Arábica no sudeste do Brasil. A) Clima presente (1961-1990) e B) cenário futuro para 2071-2100.....	58
Figura 17: (A) Zoneamento atual do café para o Estado de Goiás, (B) Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (C) Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial.....	59
Figura 18: (A) Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais; (B) Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (C) Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (D) Zoneamento considerando aumento de 5,8°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial.....	60
Figura 19: (A) Temperatura média anual na região sudoeste do estado da Bahia. (B) Temperatura média do mês de novembro na região sudoeste do estado da Bahia.....	62
Figura 20: Zoneamento agroclimático da cultura do café na região sudoeste do estado da Bahia.....	63
Figura 21: delimitação da área de estudo, Território Chapada Diamantina, Seabra, estado da Bahia.....	64
Figura 22: Mapa da delimitação da área de estudo. Área 1 – ambiente agroflorestal e Área 2 – ambiente à sol pleno.....	66
Figura 23: Espécie <i>S. spectabilis</i> no SAF e outros vegetais nativos em consórcio com <i>C. arabica</i>	75
Figura 24: TA: SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	77
Figura 25: (A) TA e URA registradas no ambiente Agroflorestal (Área 1). (B) TA e URA registradas no ambiente a sol pleno (Área 2).....	78
Figura 26: TS nos ambientes: SAF (Área 1) e sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	80
Figura 27: (A) TS registrada ambientes Agroflorestal (Área 1). (B) Temperatura do solo registrada no ambiente a sol pleno (Área 2).....	80
Figura 28: URA nos ambientes Agroflorestal (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste	

de Tukey ao nível de 5% de significância.....	83
Figura 29: (A) URA no SAF (Área 1) e (B) URA no sol pleno (Área 2).....	84
Figura 30: TF de <i>Coffea arabica</i> nos ambientes: Agroflorestal (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.).....	86
Figura 31: (A) TF em SAF (Área 1). (B) TF a sol pleno (Área 2).....	87
Figura 32: TE para espécie <i>C. arabica</i> , SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas pela mesma (a,a) letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	90
Figura 33: (A) Estômatos em lâmina com impressão coletada em ambiente Agroflorestal (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos em lâmina com impressão coletada em ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x.....	90
Figura 34: DE por mm ² na face abaxial da folha nos ambientes: Agroflorestal (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	91
Figura 35: (A) Estômatos da espécie <i>C. arabica</i> (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos da espécie <i>C. arabica</i> em ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x.....	92
Figura 36: IE na face abaxial foliar da espécie <i>C. arábica</i> :SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	94
Figura 37: FE na face abaxial foliar da espécie <i>C. arabica</i> (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	95
Figura 38: (A) estômatos anomosíticos da espécie <i>C. arabica</i> . (B) uma das células subsidiárias. Aumento de 400x.....	97
Figura 39: EF no SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas pela mesma letra (a,a) não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	98
Figura 40: EA no SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	99
Figura 41: (A) Estômatos da espécie <i>C. arabica</i> - SAF (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos da espécie <i>C. arábica</i> , ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x....	99

Figura 42: espécie <i>Coffea arabica</i> , ambiente Agroflorestal (Área 1).....	102
Figura 43: espécie <i>Coffea arabica</i> , ambiente a sol pleno (Área 2).....	102
Figura 44: Produtividade de café nos ambientes: SAF (Área 1) e sol pleno (Área 2) ao longo dos anos.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: população no território de Identidade da Chapada Diamantina.....	28
Tabela 2: Serviços socioambientais produzidos por sistemas agroflorestais biodiversos na região Oeste do Brasil.....	36
Tabela 3: análises de solo de duas áreas de sequeiro no Recanto da Seriema – Malhador, município de Seabra, estado da Bahia.....	66
Tabela 4: Coletas foliares para análise estomáticas.....	67
Tabela 5: Coletas de dados microclimáticos.....	68
Tabela 6. Análise de variância para TA; TS; URA; TF; TE; DE; FE; IE; EA e EF nos sistemas de cultivo analisados: SAF (Área 1) e Sol Pleno (Área 2).....	74
Tabela 7. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TA nos sistemas de cultivo analisados.....	77
Tabela 8. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TS nos sistemas de cultivo analisados.....	79
Tabela 9. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro URA nos sistemas de cultivo analisados.....	83
Tabela 10. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TF nos sistemas de cultivo analisados.....	85
Tabela 11. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TE nos sistemas de cultivo analisados.....	89
Tabela 12. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro DE nos sistemas de cultivo analisados.....	91
Tabela 13. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro IE nos sistemas de cultivo analisados.....	93
Tabela 14. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro FE nos sistemas de cultivo analisados.....	95

Tabela 15. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro EF nos sistemas de cultivo analisados.....97

Tabela 16. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro EA nos sistemas de cultivo analisados.....98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAVA	Análise de Variância.
BDMEP	Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
COOPERBIO	Cooperativa de Produtores Orgânicos e Biodinâmicos da Chapada Diamantina.
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento.
CTC	Capacidade de Troca de Cátions.
DCHT	Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias.
DE	Densidade Estomática
DIC	Delineamento Inteiramente casualizado.
EA	Estômatos Abertos
EF	Estômatos Fechados
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FE	Frequência Estomática
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Índice Estomático
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil.
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
LAPIS	Laboratório de Análises e Processamento de Imagens de Satélites.
SAF	Sistema Agroflorestal.
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia.
TA	Temperatura do Ambiente
TE	Tamanho dos Estômatos
TF	Temperatura da Folha
TS	Temperatura do Solo
UEP	Unidade de Execução de Pesquisa.
UNEB	Universidade do Estado da Bahia.
URA	Umidade Relativa do Ar

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	18
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. REGIÃO SEMIÁRIDA.....	19
2.2. BIOMA CAATINGA.....	24
2.3 DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA DA PESQUISA: TERRITÓRIO DE IDENTIDADE CHAPADA DIAMANTINA.....	27
2.4. SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	32
2.5. <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H. S. Irwin & Barneby (SÃO JOÃO)	40
2.6. <i>Coffea arabica</i> – CAFEEIRO.....	45
2.6.1. História de vida e taxonomia.....	45
2.6.2. Morfologia e Anatomia.....	48
2.6.3. Ciclo fenológico.....	50
2.6.4. Estômatos.....	51
2.7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CAFEICULTURA NO BRASIL.....	53
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
3.1. TIPOLOGIA DA PESQUISA.....	64
3.1.1. O trabalho de Campo.....	64
3.1.2. O trabalho de laboratório.....	67
3.1.3 Dados de produtividade.....	69
3.2. ANÁLISE DE DADOS.....	69
3.2.1. Tamanho dos estômatos.....	69
3.2.2. Densidade estomática.....	69
3.2.3 Índice Estomático.....	70
3.2.4. Frequência estomática.....	71
3.2.5. Estômatos Abertos (EA) e Estômatos Fechados (EF).....	71
3.3 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.1. DADOS MICROCLIMÁTICOS.....	73
4.2. ANÁLISE FOLIAR E ANATÔMICA ESTOMÁTICA DO CAFEEIRO.....	83
CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS.....	103
APÊNCIDES.....	114

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro apresenta extremos climáticos e escassez hídrica que até os dias atuais assolam a região provocando prejuízos na produção agropecuária, entre outros agravos, sendo essa a região brasileira mais susceptível às mudanças climáticas. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reconheceu que a região tem sido, recorrentemente, afetada pelos efeitos das mudanças climáticas pela ação antrópica (Marinho, 2021). Neste sentido são necessárias adaptações em sistemas naturais e/ou humanos que mitiguem os riscos climáticos bem como seus danos para garantir preservação, restauração e posterior manutenção das condições que garantam a existência dos sujeitos (Blanda *et al.*, 2024).

Portanto, em contraposição ao que é amplamente disseminado, o Semiárido brasileiro passa a ser ressignificado a partir da construção de possibilidades de viver bem ao conhecer e compreender as especificidades climáticas e ultrapassar as limitações a partir do domínio das técnicas de produção apropriadas para conviver com este clima. Isso se dá por meio de discussões e planejamento territorial que pense uma transição socioprodutiva agroecológica (Blanda *et al.*, 2024).

A partir desse direcionamento, avalia-se a possibilidade de indicação ambiental de vegetais nativos da região para a recuperação de ambientes produtivos degradados a partir do controle microclimático das áreas, que culmine em uma resiliência desses espaços. Essas espécies apresentam características fisiológicas de sobrevivência dentro das condições do semiárido, como resistir aos longos períodos de estiagem. A partir dessas percepções, os Sistemas Agroflorestais (SAF) com espécies nativas indicam a utilização dos mecanismos fisiológicos vegetais como possibilidade de resistência às condições climáticas, para o estabelecimento de um microclima específico e controle da incidência luminosa sobre as cultivares (Padovan *et al.*, 2016; Silva, 2020).

Nesse sentido, a proposta buscou compreender a potencialidade dos SAF com cultivares de *Coffea arabica* L. em consórcio com, dentre outras espécies nativas a espécie *Senna spectabilis* (DC.) H.S.IRWIN & BARNEBY, nativa em regiões semiáridas, tomada como base de análise a partir da interação simbiótica de ambas, por meio da análise microclimática e estomática, incluindo suas implicações para a

indicação ambiental. Essas análises visaram a busca de soluções para a manutenção da produção de café no Território Chapada Diamantina, região semiárida brasileira, em um ecótono entre os biomas Caatinga e Cerrado: Área 1 - um ambiente agroflorestal e Área 2 - um ambiente produtivo a sol pleno, para fins de observação dos aspectos distintos como reflexo às condições edafoclimáticas das áreas.

Desse modo, buscou-se atender as seguintes etapas: 1. Analisar as condições microclimáticas das áreas; 2. Caracterizar os estômatos da espécie *C. arabica* e processos biológicos associados; 3. Discutir sobre os processos biológicos simbióticos da espécie *S. spectabilis* e *C. arabica* nas duas áreas; 4. Avaliar os indicadores ambientais com vistas a recuperação e manutenção de ambientes produtivos degradados.

A funcionalidade desse consórcio proposto é corroborada por observações pelos cafeicultores da região. Esses asseguram que as cultivares em SAF apresentam qualidade vegetativa e produtiva, além de melhoramento das condições estruturais do solo, portanto apontam o potencial de sistemas agroflorestais para aperfeiçoar a saúde vital e produtiva do cafeeiro. Contudo, a comprovação dessa relação se tornou um desafio, uma vez que as informações são esparsas e pouco estudadas na literatura sobre essa questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. REGIÃO SEMIÁRIDA

O Semiárido brasileiro compreende os biomas Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. Representa 11,39% do território nacional e abriga 29% da população do País, compreendido entre 11 estados e 1.477 municípios. Possui uma extensão de 1.335.289 km² representando cerca de 89,5% do território nordestino, abrangendo a maioria de seus Estados, com exceção do Maranhão (Fig. 01). Nesta região, vivem 31 milhões de pessoas, uma densidade demográfica de 23,21hab/km², com destaque para o fato de que 9,08 milhões (44%) pertencem à zona rural, caracterizada por alta vulnerabilidade, já que estão entre os mais pobres da região, com índices de qualidade de vida muito

abaixo da média nacional. Contudo, tomando por base outras regiões Semiáridas no mundo, apresenta-se como uma das mais populosas (IBGE, 2024; INSA, 2024; Gonsalves, 2009).



Figura 01: região semiárida brasileira.

Fonte: IBGE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (2024).

Recentemente o IPCC reconheceu em seu mais recente relatório intitulado “Climate Change 2021: The Physical Science Basis”, que a região Semiárida brasileira tem sido, recorrentemente, afetada por extremos climáticos – secas mais intensas e temperaturas mais altas – advindos dos efeitos das mudanças climáticas precipitadas pela ação humana. Pesquisas realizadas pelo Laboratório de Análises e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) apontam que, somente em 2019, cerca de 13% de toda região semiárida do país encontrava-se em estágio avançado de desertificação (Marinho, 2021).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), no século XX, houve um aumento de 0,65°C na média da temperatura global, sendo este mais pronunciado na década de 90. Quanto à precipitação, o aumento variou de 0,2% a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10° de latitude Norte e 10° de latitude Sul. As causas dessas variações podem ser de ordem natural ou antropogênica, ou uma soma das duas. Por meio de modelos matemáticos baseados em dados registrados dos oceanos, biosfera e atmosfera, está previsto um aumento

entre 1,4°C e 5,8°C na temperatura média global até o final do século XXI (Assad *et al.*, 2004. p. 1).

Em relação as questões climáticas e geográficas, o relatório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2015), destaca especialmente as secas, que, desde o século XVI até os dias atuais, assolam o semiárido. Como consequência disso, têm-se desde a dificuldade de acesso à água, perda de lavouras e rebanhos, êxodo rural, fome, desnutrição, até morte. Frente a isso é avaliado que a atuação do Estado, até metade do século XX até então foi pontual, fragmentada, descontextualizada, centrada em mecanismos de combate à condição climática ao invés de convivência e na otimização da exploração dos seus recursos naturais (Marinho, 2021).

Desse modo, a região Semiárida brasileira apresenta altas temperaturas e baixa amplitude térmica, com temperaturas em torno de 27°C, variando de 22 a 28°C, com umidade relativa entre 50 e 70%. A região é caracterizada por uma vocação pré-desértica, condicionada por um equilíbrio ecológico instável que como consequência apresenta uma grande vulnerabilidade climática à ocupação humana (Fig. 02A, B). Observa-se ainda que essa é a região mais susceptível ao processo de desertificação devido aos altos níveis de insolação e fotoperiodismo existentes (Gonsalves, 2009; Pereira, 2023; Blanda *et al.*, 2024).

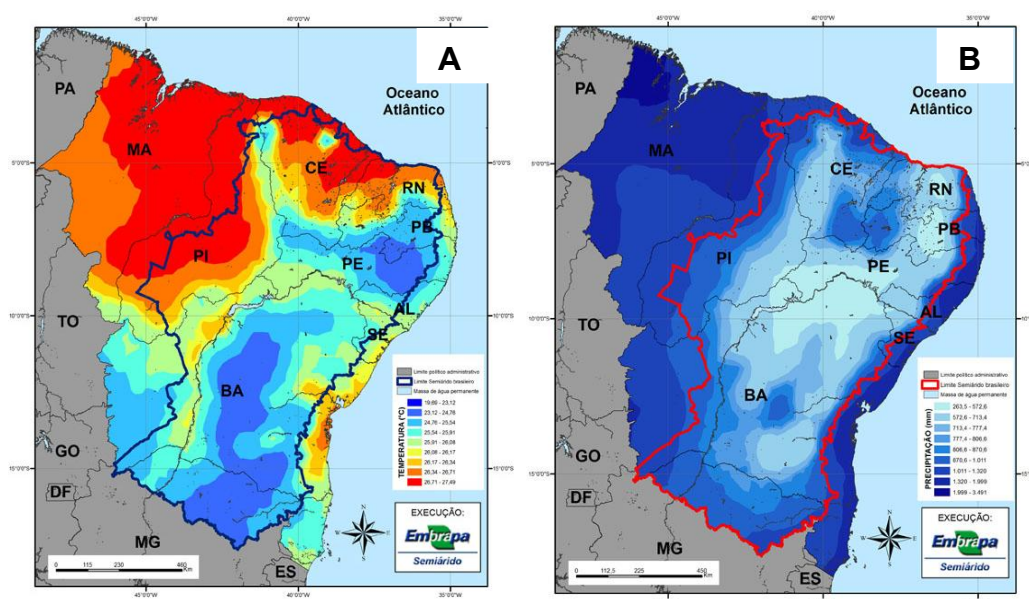


Figura 02: (A) Temperatura média anual do Nordeste e Semiárido brasileiro. (B) Precipitação média anual do Nordeste e Semiárido brasileiro.

Fonte: Moura (2021).

Do ponto de vista hídrico, o Semiárido possui precipitação média anual que varia entre 300 e 800mm, onde parte do volume de chuvas é concentrado em períodos curtos, nos meses de fevereiro e março. Portanto, existe o problema da má distribuição dessa chuva no período e no espaço geográfico, o que gera grandes períodos de estiagem e grande parte do volume de chuvas concentrada em períodos curtos. A alta insolação média anual, podendo atingir 2.800 horas por ano e com taxa de evaporação em torno de 2.000mm por ano, induzem um déficit hídrico alto, sendo sempre negativo (Drumond; Moraes; Ribaski, 2013; Blanda *et al.*, 2024).

A região possui, decorrente dos próprios fatores climáticos associados ao aumento da temperatura e a alteração dos padrões de precipitação, secas frequentes e cada vez mais intensas. Esses danos são acentuados pela ação antrópica que vem alterando a dinâmica dos processos ecológicos, o que afeta diretamente a sobrevivência das espécies vegetais e animais, a produção agrícola e a soberania das pessoas (Oliveira *et al.*, 2023).

Sobre os processos de degradação ambiental impostos ao semiárido ao longo dos anos, Drumond e Morgado (2004) denunciam:

Nos últimos anos, o semiárido do Nordeste brasileiro tem passado por um processo acelerado de degradação ambiental e socioeconômica, especialmente pela escassez de água. Milhares de hectares foram abandonados e excluídos do sistema produtivo, como resultado da degradação. Outra consequência danosa deste processo foi o aumento dramático do desemprego na região, levando boa parte da população a viver em condições de miséria (Drumond; Morgado, 2004. p.2).

Os impactos ambientais do semiárido nordestino estão diretamente ligados ao processo de desertificação, proveniente das práticas agrícolas inadequadas, desmatamentos, infertilidade, compactação do solo, processos erosivos, e até mesmo a salinização de algumas áreas. Percebe-se que a convivência com o semiárido requer uma série de medidas de adaptação necessárias para permitir uma vida digna, principalmente para as milhares de famílias agricultoras que vivem ainda com restrições

ao acesso à terra (Silva, 2020). Pereira (2023) chama atenção para esta questão ao afirmar que:

A produção de alimento também seria seriamente afetada e o aumento na variabilidade das precipitações. Em termos ecológicos, as projeções climáticas para o futuro sugerem uma redução dos já baixos volumes de chuvas e do aumento da temperatura, levando a um aumento da evapotranspiração (p. 32).

Esses aspectos tomam proporções globais para uma revisão de valores de transição de uma cultura predatória que busca máximo lucro por meio da exploração dos recursos naturais, tidos como infinitos e inesgotáveis. Desse modo, ascendem-se alertas em relação às necessárias adaptações nos processos de exploração ambiental, para a proposição de uma cultura ética e de atitudes de coexistência com a natureza, e não de exploração (Amador, 2003).

Contudo, em contraposição ao que é amplamente disseminado, o Semiárido brasileiro possui uma infinidade de recursos naturais e pessoas que compartilham a existência e constroem as possibilidades de viver bem ao conhecer e compreender as especificidades climáticas: as chuvas irregulares, os períodos longos de estiagens; as condições do solo, entre outros fatores para ressignificar e ultrapassar as limitações (Gonsalves, 2009).

São muitas as populações indígenas originárias, quilombolas e tradicionais, de fundo e de fecho de pasto, que se distribuem em mais de 1200 municípios, em sua maioria, de pequeno e de médio portes, sendo 278 só no estado da Bahia. Essas populações rurais desenvolveram um modo de vida e uma cultura adaptada às condições do Semiárido e da Caatinga, ao longo da História (Blanda *et al.*, 2024, p. 19).

Essa convivência se dá principalmente a partir do domínio das técnicas de produção apropriadas para conviver com este clima. Nesse sentido, surgem proposições para contribuir com a ruptura de paradigmas como o de “Combate à seca” para a “Convivência com a realidade climática local” apesar das adversidades e transformá-la em política pública, para a convivência a longo prazo. Os conflitos

socioambientais são mantidos pela ausência de Políticas Públicas que sejam suficientes e eficazes e impactem a realidade local, para isso é preciso uma discussão e planejamento territorial que pense uma transição socioprodutiva inclusiva para superação das mudanças climáticas globais (Gonsalves, 2009; Blanda *et al.*, 2024).

A pequena agricultura é, em grande parte de ciclo curto (milho, feijão, aipim, principalmente), adaptada à variabilidade climática e aos grandes períodos de seca, e, junto do extrativismo vegetal (umbu, carnaúba, licuri, mangaba, buriti, piaçava, entre outros) e da criação de pequenos animais (bode, carneiro e galinhas), compõe a base das agriculturas familiar e de subsistência, também chamada de agricultura de sequeiro (sem irrigação) (Blanda *et al.*, 2024, p. 19).

Nesse contexto, compreender os limites, os desafios e as potencialidades do Semiárido são fundamentais para o desenvolvimento de uma agropecuária familiar agroecológica nesta região, garantido a permanência das populações no campo com territórios tradicionais, contribuindo para a manutenção da vida nessa região. A diversidade biológica, principalmente na flora, as várias formas de manifestações culturais e até mesmo os diferentes microclimas fazem do Semiárido brasileiro uma região extremamente rica e com grande potencial para o desenvolvimento (Gonsalves, 2009).

Nesse aspecto, Drumond, Moraes e Ribaski (2013) apresentam, como uma alternativa de convivência com a região os sistemas integrados de produção, por meio dos cultivos diversificados em sistemas agroflorestais. Contudo, apontam uma necessidade de maior aporte financeiro por meio de políticas públicas que estimulem a implantação de lavouras adaptados às condições climáticas de cada região, a fim de possibilitar a recuperação dos sistemas produtivos e melhora produtiva.

2.2. BIOMA CAATINGA

O Bioma Caatinga ocupa 70% do território da região Nordeste do Brasil e 11% do território nacional, sendo um sistema endêmico do país com uma biodiversidade única. Em virtude de condições climáticas adversas, a flora local possui particularidades

no revestimento vegetativo, nos extratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, nos quais as plantas apresentam adaptações na estrutura vegetativa, como espinhos, folhas pequenas, hastes espinhentas, caules retorcidos e forma de vida xerófila, adaptadas para conter os efeitos de uma evapotranspiração muito intensa devido aos grandes períodos de seca. Atrelado a essas condições, muitas das espécies perdem suas folhas para enfrentar os longos períodos de estiagem, isso faz com que a Caatinga fique grande parte do ano com aspecto acinzentado e esbranquiçado, característica que originou o nome ao bioma: Caatinga, em Tupi-guarani, significa Mata Branca. A vegetação possui uma resiliência importante, onde as folhas crescem rapidamente, após períodos de chuva (Gonsalves, 2009; Fernandes e Queiroz, 2018; Blanda *et al.*, 2024).

Desse modo, a Caatinga dispõe de vegetação específica de regiões semiáridas e suas espécies são fundamentais para o equilíbrio ecossistêmico local. Sabe-se ainda que esse bioma é de extrema importância ambiental por funcionar como sumidouro de carbono, pois sua vegetação arbórea absorve e armazena quantidade importante de Carbono em suas estruturas (Lana, 2017).

Hoje se sabe que a Caatinga é um dos ambientes de semiárido mais biodiversos do mundo. Segundo o Instituto Nacional do Semiárido, a Caatinga abriga mais de 11.000 espécies de plantas, de 2.800 gêneros e 228 famílias, mais de 590 espécies de aves, quase 200 espécies de mamíferos, 220 espécies de abelhas, 260 espécies de répteis e anfíbios e mais de 240 espécies de peixes, sendo um bom número destas endêmico (Blanda *et al.*, 2024, p. 19).

Como principais características da Caatinga, tem-se a precipitação irregular e as secas recorrentes, motivos pelos quais as plantas desse bioma desenvolvam adaptações de sobrevivência. Com isso, fatores ambientais como temperatura, radiação, disponibilidade de água e umidade atmosférica desempenham papel importante na evolução adaptativa das plantas (Barros; Soares, 2013).

O bioma Caatinga é o mais susceptível às mudanças no clima, atrelado a isso, existem os agravos pela ação antrópica que vem ampliando a exploração da região pela agropecuária convencional, como demonstra os infográficos abaixo (Fig. 03),

elaborados a partir de estudos realizados ao longo de 39 anos, entre os anos de 1985 a 2024 pelo Map Biomas. Os estudos demonstram uma análise anual da cobertura e uso do solo que aponta uma regressão nas áreas de floresta frente ao aumento constante das áreas de agricultura e pecuária.

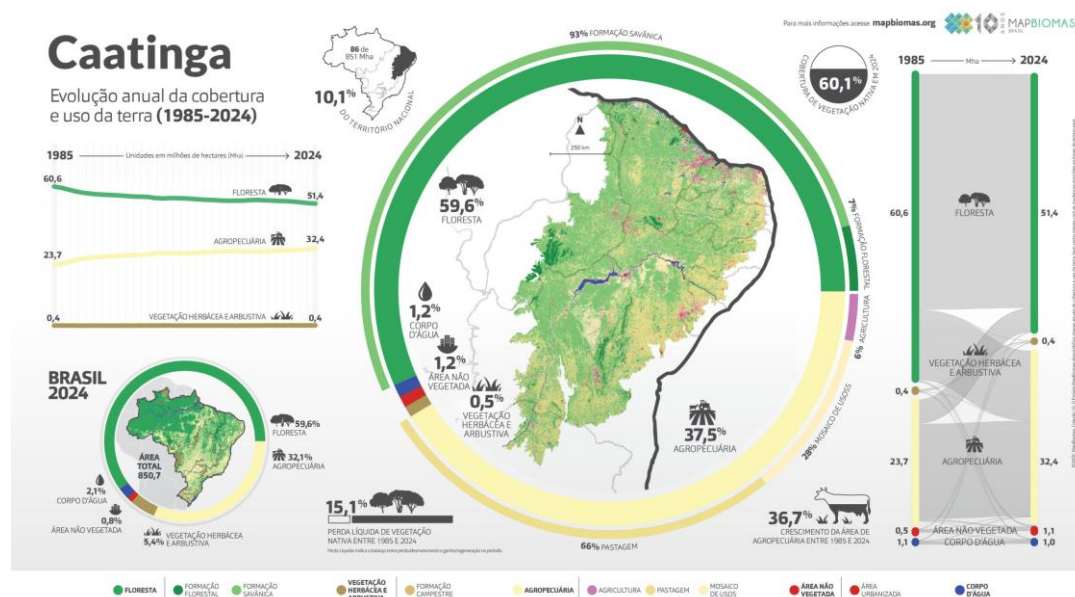


Figura 03: Evolução anual da cobertura e uso da terra no bioma Caatinga.
Fonte: MapBiomas, 2024.

A partir desse estudo, o trabalho de pesquisa se justificou ao identificar um aumento da supressão vegetal nativa do Bioma Caatinga, um passivo ambiental que por hora era considerado um agravante apenas em outros biomas como Amazônia e Mata Atlântica, contudo, se apresenta como problemática crescente em outros como Caatinga e Cerrado. Segundo dados, a Caatinga, em se tratando de pastagem, houve um aumento exponencial, atingindo 106%, correspondente a 11 mil hectares, proporcionalmente, a agricultura foi o uso da terra que mais expandiu, atingindo 1,7 mil hectares, o que corresponde a um aumento de 1636% (Map Biomas, 2024).

2.3 DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA DA PESQUISA: TERRITÓRIO DE IDENTIDADE CHAPADA DIAMANTINA

Território, para Raffestin (1993) em sua abordagem ampla, é construído a partir da apropriação do espaço que é transformado historicamente pelas sociedades, sendo produto dos atores sociais, que atuam partindo da realidade inicial posta; dessa forma, o território é constituído quando se manifestam todas as espécies de relações de poder. Esse espaço se configura ainda por uma população com grupos sociais relativamente distintos que se relacionam interna e externamente por meio de processos interpessoais, a partir desses elementos gera-se a identidade social e/ou cultural que promovem o produto das interações – a sociedade – ocasionando o sentimento de pertencimento (Saquet, 2024).

De acordo com Andrade *et al.* (2016), a ocupação socioeconômica do território da Chapada Diamantina resultou da expansão da pecuária no vale do São Francisco e das descobertas auríferas nas nascentes dos rios de Contas, Paramirim e Itapicuru, no início do século XVIII. Esse processo teve como fator dinamizador o ciclo da mineração, que se estendeu entre os séculos XVIII e XIX.

O relevo territorial da Chapada caracteriza-se por áreas planálticas e serranas, intercaladas pelas depressões periféricas e interplanálticas. A variedade de sua conformação decorre de ter sido fundo do mar e praia, há milhões de anos, desse modo, a água que invadia o continente depositava segmentos na região e a areia foi formando rochas com veios de diamantes (Andrade *et al.*, 2016).

A invasão do território se deu por meio de expedições que tiveram como objetivo a captura de indígenas para o trabalho escravo e a procura por metais preciosos, como ouro, prata e diamante. Essas expedições, deram início ao povoamento colonizador na região, ocorrendo inicialmente pelo Oeste, com as fazendas de gado do megalatifundiário sesmeiro Antônio Guedes de Brito. Tempos depois, ocorreu o declínio da população diamantífera, com o esgotamento do ciclo da mineração que causou um longo período de estagnação econômica, cujos primeiros sinais foram notados em 1871 e 1872, o que provocou lentamente a dispersão dos garimpeiros. Ressalta-se que grande parte dos garimpeiros que não migraram dedicaram-se à plantação de café e de cereais. Isso trouxe como consequência também a migração da população para outras regiões do Estado (Andrade *et al.*, 2016).

De acordo com a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), o Território da Cidadania Chapada Diamantina está localizado na região Nordeste, centro do estado da Bahia, possui uma extensão territorial com uma área total de 32.664km², ocupando 5,7% da extensão territorial da Bahia (SEI, 2023). O referido Território compreende 24 municípios, como descritos abaixo (Tabela 1):

Tabela 1. população dos municípios no território de Identidade da Chapada Diamantina.

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO
Abaira	7.301
Andaraí	13.080
Barra da Estiva	26.026
Boninal	13.622
Bonito	15.844
Ibicoara	20.785
Ibitiara	14.637
Iramaia	10.752
Iraquara	23.879
Itaeté	13.472
Jussiape	7.379
Lençóis	10.774
Marcionílio Souza	9.267
Morro do Chapéu	33.595
Mucugê	12.137
Nova Redenção	7.538
Novo Horizonte	11.162
Palmeiras	10.339
Piatã	20.086
Rio de Contas	13.184
Seabra	46.160
Souto Soares	17.054
Utinga	16.277
Wagner	9.503
POPULAÇÃO TOTAL: 397.325	

Fonte: SEI, 2023.

Esses municípios (Fig. 04), totalizaram uma população de 397.352 habitantes em 2022, desses, 48,4% moram na zona urbana, desse modo, o território possui a maior parte das pessoas – 51,6% - habitando a zona rural (SEI, 2023).

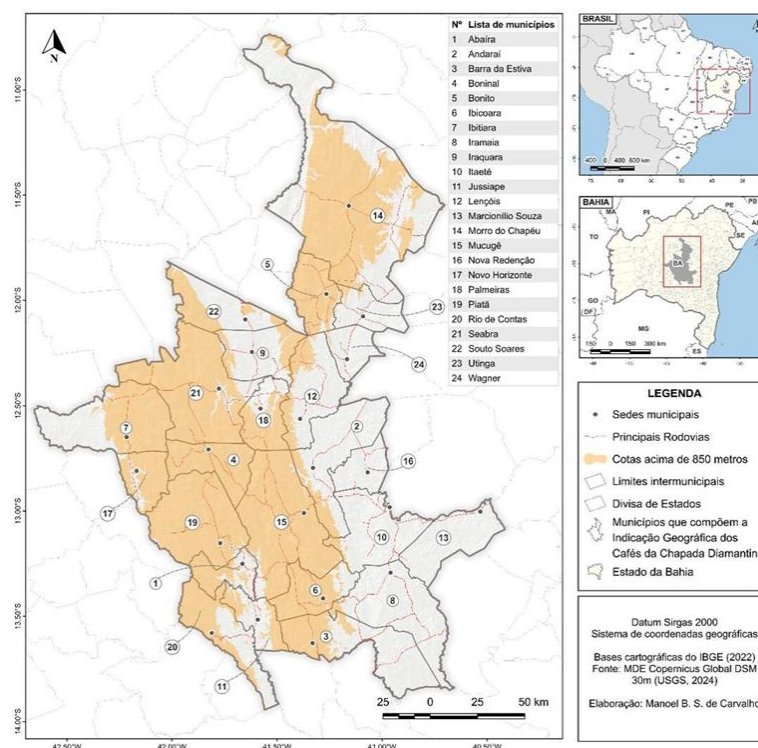


Figura 04: Mapa dos municípios que compõem o Território da Chapada Diamantina.
Fonte: Carvalho, 2024.

Esses municípios possuem potenciais sociais, culturais e turísticos, em nível nacional e internacional; entre as riquezas naturais e culturais atrativas, podemos destacar cachoeiras, montanhas, rios, monumentos históricos e culturais, inclusive inscrições rupestres. Acrescentam-se as práticas agroecológicas em comunidades tradicionais e áreas de assentamentos de reforma agrária o que vem despertando a atenção e a curiosidade de muitas pessoas que visitam a Chapada, e abre espaço para o turismo rural (Andrade *et al.*, 2016).

Contudo, uma base econômica importante são as atividades agrícolas. Assim, a Chapada Diamantina, em 2020, era constituída economicamente em relação a distribuição das atividades nos setores (Fig. 05) Agropecuário, 24,9%; indústria, 12,0% e Comércio e Serviços, 63,1% (SEI, 2023).

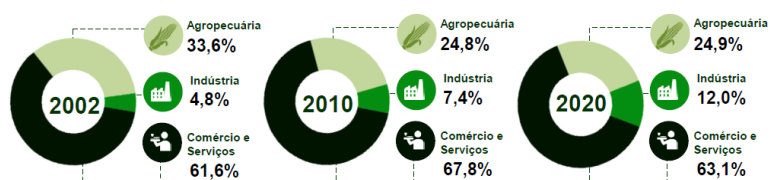


Figura 05: Distribuição das atividades nos setores Agropecuário, indústria e Comércio e Serviços, no Território da Chapada Diamantina.

Fonte: SEI, 2023.

A produção agrícola no território é bastante diversificada, predominando quatro ramos principais: fruticultura, cafeicultura, hortaliças e alimentos básicos. Em toda a extensão territorial da Chapada Diamantina, os principais produtos comercializados são café, mandioca, cana-de-açúcar, milho, feijão e o gado de corte. Além dos produtos agrícolas acima citados, são comercializados no território produtos processados derivados da cana, do leite, do milho, da mandioca e de frutas, em geral, feitos nas próprias comunidades rurais (Andrade *et al.*, 2016).

O café expandiu-se no território em decorrência de incentivos do Governo Federal para impulsionar a produção para além das principais regiões produtoras, devido à incidência de pragas, geadas e baixas produtividades dos cafezais do sul do país, o que se agravou no final da década de 70. O Território se apresenta como uma região propícia para a produção de cafés especiais da espécie Arábica pelo Terroir específico, por suas características tropicais de vegetação, clima, hidrografia, bioma, específicos em todo território em função da altitude, relevo, precipitações e temperaturas amenas, fazendo que esta região seja a maior produtora do estado, sendo um produto reconhecido nacionalmente e internacionalmente, isso proporciona a produção de cafés com características sensoriais organolépticas que se classificam entre os melhores do Brasil, e do mundo, desse modo, vários produtores já ganharam prêmios de qualidade e sabor (Andrade *et al.*, 2016).

As altitudes variam entre 500 a 1.300 metros, exceção para o Pico do Barbado com 2.033 metros (município Abaíra), ponto mais alto do Estado que forma um divisor natural de águas que por um lado, deságuam na bacia do São Francisco e por outro, os rios de Contas e o Paraguaçu. As precipitações pluviométricas apresentam variações de 700 a 1000mm anuais, com temperaturas amenas, alcançando no mês de julho, em alguns municípios, a mínima de 16,4°C, como é o caso do município de Piatã. As encostas e os piemontes circundados por vegetação exuberante favorecem a grande disponibilidade de córregos e riachos, tornando um atrativo a mais para a exploração turística (Andrade *et al.*, 2016).

Assim, o Território se configura formado pela integração social com os recursos naturais e também de recursos antropizados. Nesse sentido, ocorre uma superação da dicotomia geografia física versus geografia humana, reconhecendo componentes naturais e sociais do território que o constroem e reconstrói constantemente pela heterogeneidade e os traços identitários sociais. Assim, o território se caracteriza, por estratégias sociais que envolvem as relações de poder, materiais e imateriais, historicamente constituídas. Desse modo, os homens têm centralidade na formação de cada território: cristalizando relações de influência, afetivas, simbólicas, conflitos, identidades etc. (Saquet, 2024).

No Território de Identidade Chapada Diamantina, a pesquisa foi realizada na cidade de Seabra, estado da Bahia. Sobre as suas características históricas, geográficas e naturais da cidade de Seabra, o portal da transparência do município descreve:

Está situada a aproximadamente 930 metros de altitude acima do nível do mar, possuindo um clima úmido a subúmido, destacando-se, portanto, a Serra da Cotréia, um dos pontos culminantes do município, já que, está a 1.125 metros acima do nível do mar. Possui temperatura média de 23°C, nos meses mais frios chega a 10°C, considerada uma das mais baixas da região (a máxima já registrada chegou a 33°C), sendo novembro e janeiro os meses mais chuvosos e os meses de junho e julho os mais frios do ano. A vegetação característica constitui em mata de transição entre a Mata Atlântica, presente na região de Lençóis, e a Caatinga. O município apresenta, ainda, vegetação endêmica por estar localizado em um dos solos de formação mais antiga da Bahia. Seabra está inserida no conjunto da sub-região denominada de "Lavras Diamantinas" com Andaraí, Mucugê, Lençóis e Palmeiras, e apresenta, no seu solo, a formação e a riqueza diamantífera das outras municipalidades, além de quartzitos e metais como ferro, magnésio e barita. Destaca-se por ser considerada a Capital da Chapada Diamantina, já que seu comércio é tido como um dos mais expressivos da região. Seabra possui 115 povoados, dos quais podemos destacar: Lagoa da Boa Vista, Velame, Jatobá, Campestre, Alagadiço, Cochó do Malheiro e Vale do Paraíso. Em relação à hidrografia, os rios principais são o rio Cochó, rio Tejuco, rio da Prata e o rio Dois Riachos e o rio Campestre. Seabra, chamada pelos seus habitantes de "Cidade das Rosas", está situada no centro geográfico da Bahia (Seabra – Prefeitura Municipal – acesso à informação, 2018).

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) são práticas agrícolas antigas culturalmente adaptadas, socialmente justas, ecologicamente adequadas e economicamente viáveis, desenvolvidas em grande parte por comunidades tradicionais. Para estes sistemas, os conceitos e princípios ecológicos são aplicados, contribuindo para o redesenho de sistemas agrícolas sustentáveis complexos, onde os processos simbióticos e sinérgicos entre seus componentes possibilitam uma autossuficiência na fertilidade do solo, nutrição vegetal, sanidade das lavouras e conseqüentemente produtividade contínua. Esses sistemas se baseiam em manejos alternativos aos monocultivos propostos por uma agricultura antropizada artificializada, em que os processos naturais dos ecossistemas são ignorados e progressivamente simplificados. A preocupação com os sistemas convencionais se amplia porque nesse modelo produtivo as plantas são deslocadas, separadas e redistribuídas segundo princípios inteiramente novos, sendo a monocultura a expressão máxima desse processo pela uniformidade genética proposta (Amador, 2003; Altieri, 2012).

Em detrimento dos sistemas convencionais, Altieri (2012) defende o uso dos SAF com os seguintes princípios:

- Aumentar a ciclagem de biomassa e otimizar a disponibilidade e fluxo equilibrado de nutrientes.
- Assegurar solo com condições favoráveis para o crescimento das plantas, particularmente por meio do manejo da matéria orgânica e do incremento de sua atividade biológica.
- Minimizar as perdas decorrentes dos fluxos de radiação solar, ar e água por meio do manejo do microclima, da captação de água e da cobertura do solo.
- Promover a diversificação inter e intraespécies no agroecossistema, no tempo e no espaço.
- Aumentar as interações biológicas e os sinergismos entre os componentes da biodiversidade promovendo processos e serviços ecológicos chaves.
- Melhorar a estrutura física do solo pelo aumento no teor de matéria orgânica e descompactação pelas raízes o que auxilia a formação dos agregados de solo (p. 106).

Esse tipo de manejo evita a degradação e esgotamento produtivo do solo devido ao uso intensivo por parte da estrutura produtiva moderna, a exemplo da eliminação da

matéria orgânica, da microbiota e dos demais microrganismos ali existentes, pelo uso intensivo de inseticidas, fungicidas. Assinala-se que é preciso se compreender melhor sobre os prejuízos dos sistemas convencionais para o meio ambiente para que se possa enxergar a necessidade de implantação de sistemas sustentáveis como os SAF, como exposto, a seguir. Os sistemas convencionais são espaços cada vez mais instáveis e sujeitos a situações de risco, como recorrentes infestações de pragas, prejuízos econômicos, diminuição da biodiversidade e muitas vezes, perda da estabilidade, da resiliência e conseqüentemente, da regeneração natural (Amador, 2003; Altieri, 2012; Mores, 2017).

Altieri (2012) esclarece como os ambientes produtivos convencionais limita a biodiversidade:

Esse processo de simplificação dos ambientes promovido pela agricultura industrial pode afetar a biodiversidade de várias maneiras:

- Expansão de áreas agrícolas com perda de habitats naturais;
- Conversão de vastas áreas em paisagens agrícolas homogêneas com reduzido valor de habitat para a vida silvestre;
- Perda de espécies silvestres benéficas e de agrobiodiversidade como consequência direta do uso de agroquímicos e outras práticas;
- Erosão de recursos genéticos valiosos por meio do uso crescente de cultivares uniformes de alto rendimento (p.24).

Em oposição aos métodos de produção convencionais, Altieri (2012) e Neto (2022) argumentam que nos SAF o manejo e uso da terra têm como base os princípios de sustentabilidade ecológica e produtiva, por meio de metodologias holísticas de estudo, projeção e manejo que busca aumentar a produção total continuamente, combinando culturas agrícolas com árvores da floresta e/ou animais, simultânea ou sequencialmente.

Essa é uma biodiversidade funcional que atua como serviços ecológicos fundamentais para a proteção das culturas por meio do controle biológico integrado de pragas a partir de inimigos naturais, a exemplo do fungo *Beauveria bassiana* que combate a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) – Broca do Café. Ainda pode ser indicado para combate ao *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) – Bicho Mineiro – o uso de vespas, ordem das *Hymenoptera*; formigas e parasitoides; o *Chrysoperla externa*

(conhecido como Bicho lixeiro) e entomopatógenos, um tipo de fungo que parasita insetos, matando-os. Nesse sentido, é indicado que se crie um ambiente favorável aos inimigos naturais, por meio de práticas conservacionistas como: preservação da vegetação nativa próxima aos cultivos, arborização, manejo do mato nas entrelinhas e uso de coberturas verdes, O que vai possibilitar os agroecossistemas reproduzir a estrutura e funcionamento próximo aos ecossistemas naturais (Caixeta *et al.*, 2024).

Altieri (2012) aponta que em escala mundial, 91% dos 1,5 bilhão de hectares de terras cultiváveis são compostas predominantemente pelos monocultivos de commodities de trigo, soja, milho, arroz e algodão. O autor corrobora com a discussão ao atrelar a grande maioria dos problemas com as pragas ao sistema de monocultivo, em detrimento da simplificação da diversidade genética, o que ocasiona um aumento de recursos vegetais específicos que atraem imigração e concentração de herbívoros especializados em determinadas culturas.

Essa homogeneização dos sistemas agrícolas provocou um constante aumento da vulnerabilidade às pragas e doenças cada vez mais resistentes, pela diminuição da eficiência dos agrotóxicos ao longo do tempo, o que tem provocado o constante aumento indiscriminado do uso de agrotóxicos mais eficazes, afetando a capacidade de sustentação destes sistemas a um limite insustentável e irresolúvel, que suscitam a busca de soluções alternativas baseada em princípios ecológicos ao lançar mão dos benefícios da biodiversidade ecossistêmica (Altieri, 2012).

Altieri (2012) defende a melhoria nos sistemas convencionais a partir de soluções desenvolvidas nos sistemas alternativos de produção, a exemplo da substituição da utilização de agroquímicos por fontes orgânicas de nutrientes e de manejo integrado de pragas. Para o autor, os problemas sistêmicos como os envolvidos nos sistemas convencionais anteriormente apresentados, são resolvidos com soluções sistêmicas, tomando como pressuposto, por exemplo, de que pragas só limitam a produtividade em sistemas em desequilíbrio.

Nesse aspecto, sistemas alternativos como os SAF decorrem das interações ambientais que reverberaram os costumes de povos antigos, quando eram praticados evidentemente de maneira empírica, sem técnicas específicas, aplicando-se práticas de

gestão compatíveis com os padrões culturais da população local (Neto, 2022). Pode se ampliar este ponto de vista ao compreender que:

Esses sistemas possuem grande potencial para a garantia da segurança alimentar e nutricional das famílias envolvidas, além de possibilitar o resgate e a valorização cultural, fortalecendo saberes e conhecimentos que passam de geração a geração, representando alternativa de elevado valor (Padovan *et al.*, 2016, p. 2).

Nesses aspectos os SAF, são culturas tradicionais consorciadas a componentes arbóreos e/ou animais, havendo um melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço. Sequencialmente, assegura-se a manutenção de culturas de ciclo anual, perenes ou semiperenes com plantas de floresta e com a criação de animais, aplicando práticas de manejo que são compatíveis com os padrões culturais da população local (Silva, 2020).

Estudos desenvolvidos por Padovan *et al.* (2016) mostraram avanços nos ambientes produtivos a partir do manejo agroflorestal (Tabela 02) por parte de agricultores(as) familiares.

Tabela 2. Serviços socioambientais produzidos por sistemas agroflorestais biodiversos na região Oeste do Brasil.

Serviços socioambientais	%
Aumento da diversidade vegetal.....	83,9
Aumento da diversidade de inimigos naturais.....	77,4
Aumento de polinizadores.....	77,4
Aumento da biota do solo.....	77,4
Retorno da fauna silvestre ao sistema.....	83,9
Eficiente processo de ciclagem de nutrientes.....	80,6
Produção local de materiais orgânicos para o solo.....	83,9
Aumento da matéria orgânica do solo.....	67,7
Recuperação da fertilidade do solo (química e física).....	77,4
Supressão do uso de adubos químicos sintéticos.....	90,3
Melhoramento na infiltração de água no solo.....	87,1
Melhoria do microclima local.....	87,1
Produção de alimentos diversificados, sem resíduos químicos.....	96,8
Manutenção da família no campo, com qualidade de vida.....	90,3

Fonte: Padovan *et al.* (2016).

A concepção de um SAF como ecossistema domesticado pelas inter-relações historicamente construídas e reorganizadas por meio da coevolução social e ecológica

com propósitos agrícolas é fundamental para um manejo produtivo que seja compatível com os padrões culturais da população local. Nesse sentido, propõe-se uma reestruturação dos processos dinâmicos no espaço, onde todos os elementos, desde o uso da terra, as relações sociais e ambientais promovem a criação de uma rede entre humanos, insetos, plantas e outros seres possibilitando uma relação entre os seres em um ecossistema, ou seja, os processos simbióticos de fluxo de alimento e energia entre os organismos vivos. Para os autores, os SAF são uma versão proposta a partir de algum sistema natural original, onde todos os atores envolvidos na dinâmica são importantes, esses geram interações e processos para garantir a produção de alimentos (Worster 2003; Altieri, 2012; Mores 2017).

Nesse sentido, Amador (2003) contribui em relação ao manejo do SAF contextualizado com a realidade:

Para o manejo agroflorestal, o primeiro princípio a ser incorporado é a observação e compreensão dos mecanismos naturais: as funções das espécies espontâneas e dos animais para o sistema, as estratégias por eles exercidas e a dinâmica da água, sol e vento. Na floresta tropical, duas ou mais espécies podem dividir espaços muito próximos desde que desempenhem diferentes funções e ocupem diferentes nichos e estratos no consórcio (p. 4).

Assim, os SAF apresentam inúmeras vantagens que contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis e que podem amenizar as adversidades encontradas nas regiões semiáridas. Esses sistemas diversificam a produção e melhoram a fertilidade do solo pelo reestabelecimento da cobertura vegetal passando pelos vários estágios sucessionais e devolve ao solo o potencial produtivo, diminuindo a degradação ambiental (Silva, 2020; Amador, 2003). Silva, Drumond e Bakke (2014) e Pereira (2023) acrescentam que esses processos aumentam a produtividade primária e os estoques de carbono e nutrientes no solo.

Altieri (2012), em seu livro “Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável” traz um estudo desenvolvido por Farrell (1984), que trata de uma avaliação do potencial das árvores *Prunus capuli* (Capulin) e *Juniperus deppeana* (Sabino) na fertilidade do solo em sistemas tradicionais de produção (Fig. 07A, B). A partir dessas

análises foi possível observar o teor nutricional de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) no solo próximo das árvores e em distâncias crescentes em torno das mesmas.

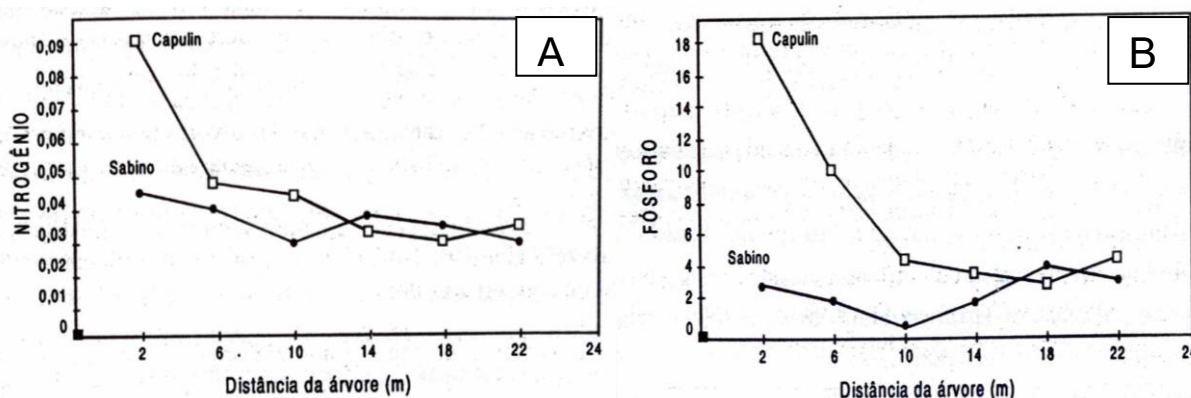


Figura 07: (A) Mudanças no teor de Nitrogênio (N) na superfície do solo em função da distância árvores. (B) Mudanças no teor de Fósforo (P) na superfície do solo em função da distância árvores.

Fonte: Altieri (2012).

A partir das análises, foi possível observar os teores de N e P nas proximidades de 2 e 22 metros das espécies *Prunus capuli*, e *Juniperus deppeana*. Assim, os maiores valores foram encontrados nas proximidades da espécie *Prunus capuli*, uma planta indicada para melhoria da fertilidade do solo, houve um aumento em P de 4 a 7 vezes próximo às árvores. Atrelado a isso, o autor indica outras melhorias nas condições químicas do solo como um aumento de 2 a 3 vezes em Carbono total e Potássio, um aumento de uma e meia a duas vezes em Nitrogênio, Cálcio e Magnésio, a Capacidade de Tróca de Cátion (CTC) em até 2 vezes mais; foi observado também um aumento do pH sob as árvores. Essas distribuições são atreladas à disposição de folhas das árvores e acúmulo de matéria orgânica proveniente das mesmas (Altieri, 2012).

Padovan *et al.* (2016) ampliam essas observações, como expresso abaixo:

Constatou-se significativa melhoria da qualidade química do solo, em decorrência da eficiente ciclagem de nutrientes pelas espécies vegetais que compõem os SAF, decorrente do aumento dos teores de nutrientes e do pH do solo, além de redução dos teores de Al^{3+} e $H^+ + Al^{3+}$ (Padovan *et al.*, 2016. p, 6).

Nesse contexto, especialmente no que tange às melhorias dos sistemas produtivos por meio de manejo agroflorestal, a Resolução Nº 429, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 28 de fevereiro de 2011, dispõe sobre uma metodologia:

Sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, e forrageiras, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com diversidade de espécies nativas e interações entre estes componentes (Brasil, 2011. p. 1).

Em acordo, Altieri (2012) destaca a possibilidade de aumentar a eficiência de todos os componentes do sistema, tanto bióticos quanto abióticos por meio do fluxo contínuo de energia e matéria para uma autoregulação que aumente a capacidade produtiva ao longo do tempo. Baseado nisso, propõe reproduzir um ecossistema natural biodiverso pela manutenção e conservação dos fatores edáficos para que o sistema estabilize seu funcionamento. Arelado a isso, é fundamental pensar o ser humano dentro do sistema, como parte que gerencia e auxilia nas interações biológicas ao lançar mão do conhecimento tradicional e empírico construído pelas gerações atuais e ao longo do tempo pela ancestralidade que resistiu e proveu a própria existência e a existência de seus descendentes em atendimento às diferentes condições socioeconômicas e biofísica dos espaços.

Em relação a este contexto, Silva (2022) destaca:

Estas variações podem proporcionar diversos tipos/modelos de sistemas agroflorestais, variando entre os mais simplificados, com poucas espécies e baixa intensidade de manejo, até sistemas mais complexos, com alta biodiversidade e intensidade de manejo, assim como sistemas intermediários. A estas variações estarão associados os potenciais benefícios ambientais e socioeconômicos das propostas agroflorestais (Silva, 2022, p. 7).

Em um estudo conduzido pela EMBRAPA Semiárido sobre a seleção de espécies de uso múltiplo em áreas de elevado déficit hídrico, foi demonstrado o potencial dos SAF para a região visando solucionar problemas ambientais e socioeconômicos. A EMBRAPA aplicou práticas de manejo compatíveis com os

padrões culturais da população local (associações de culturas perenes, anuais espécies nativas nos sistemas agroflorestais). Estas técnicas favorecem o desenvolvimento de uma agricultura apropriada às condições edafoclimáticas existentes (Drumond; Morgado, 2004).

Nesse sentido, o presente trabalho busca compreender a aplicabilidade de vegetais nativos da região semiárida para a recuperação de áreas produtivas. Desse modo, foi escolhida para análise a espécie *S. spectabilis*, uma fabacea já utilizada em consórcios agroflorestais, que tem apresentado resultados importantes em avaliações feitas por agricultores. É um vegetal secundário na sucessão, observado em áreas em recuperação nos biomas Caatinga e Cerrado.

2.5. *Senna spectabilis* (DC.) H. S. Irwin & Barneby (São João)

A espécie *S. spectabilis*, popularmente conhecida como São João (Fig. 08) é uma planta espontânea secundária na sucessão vegetal nos biomas analisados, apresentando resistência no desenvolvimento fisiológico, isso promove uma resiliência dos ambientes para estabilização da cadeia no ecossistema. É uma planta decídua, heliófita, xerófita seletiva e nativa das Américas Central e do Sul, sendo encontrada principalmente nos Cerrados e Caatinga do Nordeste do Brasil. Portanto, é um vegetal nativo dessa região, sendo assim adaptada às suas condições climáticas e hídricas, o que aponta a espécie como potencial na recuperação de áreas degradadas, bem como em ambientes produtivos nos Biomas Caatinga e Cerrado. A espécie é classificada no reino Plantae, classe Dicotiledônea, ordem Fabales e família Fabaceae (leguminoseae), gênero *Senna* e espécie *S. spectabilis*. No Brasil, sua ocorrência abrange a os biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Santos, Castro, 2024; Sado, 2009).



Figura 08: Espécie *S. spectabilis* (São João).
Fonte: Arquivo pessoal, 2023.

De acordo com Viegas *et al.* (2004), a medicina popular se beneficia das atividades citotóxicas e tóxicas da planta. Os autores listaram os bioensaios realizados com extratos vegetais e revelaram atividade analgésica e antiinflamatória. O autor demonstra a capacidade citotóxica de extratos metanólicos da espécie em células de *Candidaalbicans* (Berkhout), fungo conhecido por atacar indivíduos imunodeficientes, provocando infecções nas mucosas (Sado, 2009).

Estudos etnobotânicos indicaram que diversas espécies do gênero são importantes fontes de recursos na medicina tradicional. Estudos químicos com espécies do gênero constataram presença de naftopironas, flavonóides, antraquinonas, terpenóides, acetofenona, antracenona, xantonas, alcalóides, esteróides, lactonas, quinonas, naftaleno e polissacarídeos e apontam atividades anti-alérgica, antimicrobiana, antibactericida, analgésica e antifúngica (Silva; Leite; Saba, 2013).

A espécie atinge de 6 a 9 metros de altura, suas folhas são compostas pinadas – lembram a estrutura de uma pena – e suas flores amarelas, dispostas em inflorescências terminais, no ápice dos ramos. Floresce amplamente durante todo o verão (dezembro-abril) e produz flores de cor amarela, conferindo à árvore aparência exuberante. Já o seu fruto é do tipo legume cilíndrico indeiscente e amadurecem nos meses de agosto até setembro (Costa, 2011).

Apresenta folhas com 10 a 20 pares de folíolos de 2 a 4 cm de comprimento, de formato oblongo – maior comprimento que largura – e simetria alternada. Sua madeira é considerada moderadamente pesada, mole e pouco compacta, com durabilidade média se protegida da umidade. A utilização comercial da espécie é indicada na confecção de caixotes de madeira, produção de carvão e brinquedos (Sado, 2009).

A frutificação ocorre de agosto a setembro, sendo do tipo vagem com 10 a 20 cm de comprimento e contém numerosas sementes. As vagens são estreitas e levemente moles quando verdes, tornando-se mais rígidas à medida que vão amadurecendo (Sado, 2009). As sementes são ovóides e medem cerca de 6 mm de comprimento por 4,2 mm de largura e 5,56 mm de espessura. Apresentam superfície lisa lustrosa e coloração castanho-clara-esverdeada, com mancha mais clara na área central. A casca do tronco do São João mede até 5mm de espessura. Nos indivíduos adultos, a casca externa ou ritidoma é cinza-escura, desprendendo-se em lâminas. Nos indivíduos de menor porte, de locais mais secos, a casca é lisa e de coloração cinza-clara (Carvalho, P., 2016).

Os órgãos aéreos (ramos, folhas, flores etc.) da *S. spectabilis* possuem feixes vasculares do tipo colateral com fibras associadas, além de cutícula espessa e epiderme unisseriada nesses órgãos. As paredes observadas nos órgãos aéreos possuem como características o espessamento e sinuosidade, além de atuar na proteção contra patógenos. O mesófilo – tecido localizado entre as epidermes superior e inferior – é dorsiventral. A nervura principal apresenta face adaxial ondulada e abaxial convexa. Esses são mecanismos anatômicos importantes que podem atuar para resiliência climática, são, portanto, estratégias adaptativas ambientes xéricos. A região cortical do caule e da raiz é formada por cinco a seis camadas de células parenquimáticas, na raiz a camada cortical mais interna é composta pela endoderme com estrias de Caspary e internamente observa-se o cilindro vascular, com periciclo com duas a três camadas de células e xilema poliarco. A ocorrência de tricomas tectores possui função de diminuir a perda de água e proteção contra a herbivoria. Foram ainda observados cristais de oxalato de cálcio nos órgãos aéreos dessa espécie. (Silva; Leite; Saba, 2013).

A *S. spectabilis* é uma árvore que possui ciclo de vida perene, decídua, apresentando perda das folhas no outono. Esse vegetal possui crescimento rápido, por isso é comumente utilizada de forma ornamental e como experimento para recuperar a vegetação degradada (Costa, 2011).

Sobre o tratamento pré-germinativo, as sementes da espécie apresentam dormência imposta pelo tegumento. A quebra da dormência da semente desse vegetal pode feita por imersão em água em temperatura ambiente, por 2 a 4 dias, com germinação de 94% ou escarificação com ácido sulfúrico concentrado por 25 ou 30 minutos, apresentando 97% e 93% de germinação, respectivamente. Recomenda-se a produção de mudas em sementeira. Para isso é indicado semear em sementeiras e depois repicar as plântulas em sacos de polietileno com dimensões mínimas de 20 cm de altura e 7 cm de diâmetro, ou em tubetes de polipropileno de tamanho médio. A repicagem deve ser feita após 3 a 5 semanas do início da germinação (Carvalho, J., 2016).

A germinação é epigea ou fanerocotiledonar em que os cotilédones são levantados acima do solo pelo crescimento do hipocótilo. A emergência tem início de 10 a 40 dias após a sementeira. O poder germinativo é alto (83% a 95%) para sementes que foram submetidas à quebra de dormência e baixo (até 40%) para sementes que não foram submetidas à superação de dormência. Quatro meses após a sementeira, as mudas atingem 20 cm de altura. Em relação aos sistemas de plantio, o São João pode ser plantado em pleno sol, em plantio misto, consorciada com outras espécies das mesmas formações vegetacionais (Carvalho, J., 2016).

Apesar de ser uma espécie rústica, capaz de crescer em solos ácidos e inférteis, Jeller e Perez (2001) constataram que suas sementes são pouco resistentes à seca e a salinidade. Seu desenvolvimento é favorável em solos levemente alcalinos compostos preferencialmente por argila e areia (Sado, 2009).

A *S. spectabilis* ainda é utilizada para alimentação animal, pois fornece forragem para gado, cabras, ovelhas, jumentos e cavalos, sendo as partes forrageiras folhas, ramos, vagens, sementes e casca (Carvalho, J., 2016).

Apesar da significância de espécies nativas da Caatinga é notável uma carência de pesquisas científicas referente a flora do bioma e, em específico do gênero *Senna*,

portanto fez-se necessário realizar pesquisas sobre o vegetal, de forma a relacionar diferentes aspectos morfológicos, anatômicos e adaptativos associados a ambientes naturais e/ou antropizados, bem como sobre seus potenciais e aplicabilidades para a recuperação de áreas degradadas ou no consórcio em ambientes produtivos.

Nesse sentido, Santos e Castro (2024), trouxeram dados importantes sobre a espécie e seus mecanismos adaptativos e de plasticidade a partir dos estômatos, o que apresenta elementos de análise para indicação ambiental para convivência com a região semiárida brasileira.

Evidenciou-se que a *S. Spectabilis* apresentou fechamento ou minimização da abertura estomática diurna, tricomas tectores, folha hipoestomática com tamanho reduzido e estômatos dispostos abaixo das células epidérmicas, apenas na face inferior da folha, o que reduz a perda de água na forma de vapor, além do processo de minimização da foinibição e fotorrespiração. Essas são adaptações morfofisiológicas, para economia hídrica e desenvolvimento do vegetal em condições climáticas desfavoráveis em plantas de ambientes xéricos (secos). Em relação a abertura e fechamento, verificaram-se que a maior parte dos estômatos em ambas as áreas se encontraram fechados (Fig. 09 e 10) às 8 horas da manhã, sob temperaturas de 25°C a 30°C na cidade de Irecê-BA (Área 1), bioma Caatinga, e 15°C a 32°C na cidade de Seabra-BA (Área 2), ambiente agroflorestal em um ecótono entre Caatinga e Cerrado (Santos; Castro, 2024; Appezzato- Da Gloria; Carmelo-Guerreiro, 2006; Barros; Soares,

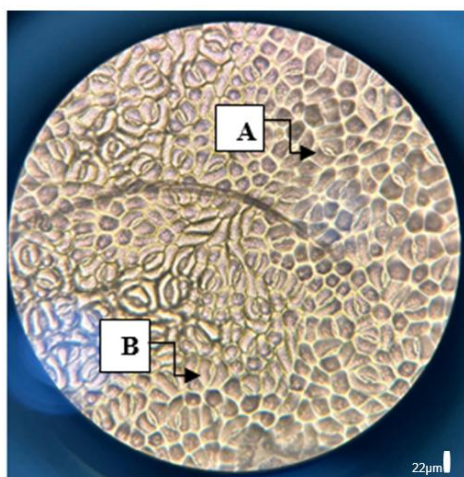


Figura 09: Face abaxial, estômatos fechados. Área 1 - Irecê-BA. Bioma Caatinga (aumento de 400x).

Escala Fig. 8: 22µm.

Legenda: A e B. Estômatos.

Fonte: Santos e Castro (2024).

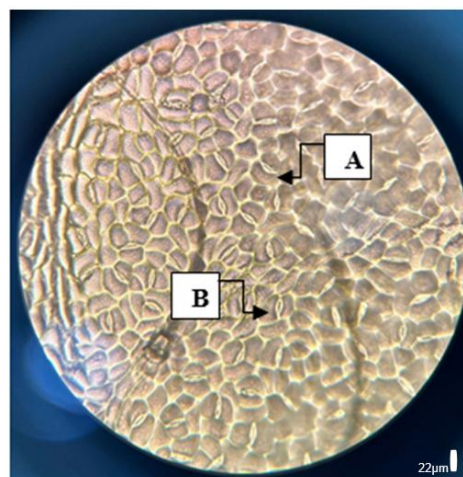


Figura 10: Face abaxial, estômatos fechados. Área 2 - Seabra-BA. Ecótono Caatinga e Cerrado (aumento de 400x). **Escala Fig. 9: 22µm.**

Legenda: A e B. Estômatos.

Fonte: Santos e Castro (2024).

2013).

Nesse sentido, aspectos relacionados a tamanho, frequência e densidade estomática são também indicadores para economia hídrica do vegetal. Para área 1, encontrou-se um tamanho médio dos estômatos de 17,4 micrômetros(μm), densidade entre 115,3 estômatos/ mm^2 e 200 estômatos/ mm^2 e frequência entre $F=17\%$ e $F=32,9\%$. Para área 2, registrou-se um tamanho médio dos estômatos de 25,1 micrômetros (μm), a densidade entre 110,2 estômatos/ mm^2 e 182 estômatos/ mm^2 e frequência variando entre $F=19,8\%$ e $F=28\%$. Observa-se que menor tamanho, maior densidade e frequência estomática para área 1 favorecem a uma melhor economia hídrica e resiliência mais acentuada ao estresse hídrico para espécie. Por outro lado, o maior tamanho dos estômatos, menor densidade e frequência estomática encontrada na Área 2 pode indicar uma menor economia hídrica, resiliência moderada e maior autonomia dos espaços de agrofloresta para o uso de recursos ambientais (Santos; Castro, 2024; Firmino-Jr. et al, 2007; Souza *et al.*, 2014).

Nesse sentido, a proposta desse Trabalho de Conclusão de Curso visou desenvolver um estudo atrelado a análise estomática de *C. arabica* na região semiárida em consórcio com vegetais nativos, a exemplo da espécie *S. spectabilis*, bem como a sua funcionalidade no controle microclimático e recuperação de ambientes produtivos.

2.6 *Coffea arabica* L. - CAFEEIRO

2.6.1 História de vida e taxonomia

O *C. arabica* (Fig. 11) é uma planta originária do continente africano, proveniente das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão. O gênero *Coffea* é pertencente à família Rubiaceae, possui cerca de 100 espécies relatadas, contudo duas espécies de maior importância devido às suas características comerciais são o *C. arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre). São as duas espécies de cafeeiro mais cultivadas no mundo, as quais respondem respectivamente por cerca de 60% e 40% da produção mundial. No Brasil, a principal espécie plantada é *C. arábica*; em nível mundial, é produzido

principalmente no Brasil, Colômbia, Etiópia, Honduras e Peru. Em escala mundial, o plantio do café está confinado aos países da faixa intertropical, entre os Trópicos de Capricórnio ao sul, acima do Sul do Brasil e acima do norte da África do Sul e de Câncer ao norte, abaixo do norte do México e abaixo do norte da Índia (Agnoletti, 2015; Mores, 2017; Resende *et al.*, 2024).



Figura 11: Espécie *Coffea arabica* em SAF com espécies nativas.
Fonte: Arquivo pessoal, 2023.

O café chegou ao Brasil pelo norte do país, na cidade de Belém do Pará, em 1727, trazido da Guiana Francesa para o Brasil pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta em uma missão a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará. Na ocasião, uma pequena muda de Café Arábica foi oferecida clandestinamente e trazida escondida na bagagem desse brasileiro. Devido às condições climáticas favoráveis, o café se espalhou rapidamente e difundiu-se pelos Estados do Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Minas Gerais, passando, com o tempo, de um produto irrelevante a um ciclo econômico nacional (Agnoletti, 2015; Almeida, 2020).

A primeira variedade de Arábica introduzida e disseminada no Brasil ficou conhecida como "Nacional" ou "Comum", até ser reclassificada como "Typica" em 1913 pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) por ser o padrão brasileiro para realização de pesquisas. Ao longo do século XIX, outras espécies foram introduzidas e adaptadas no Brasil, como são os casos do Bourbon Vermelho, do Sumatra e do Maragogipe.

Outras variedades como a Bourbon Amarelo, Caturra Vermelho e Caturra Amarelo, surgiram de hibridações naturais que ocorreram entre as outras variedades. A partir de 1927, o IAC cria sua seção de Genética e a partir disso desenvolve novas variedades de Arábica (Mores, 2017).

Após o final da Primeira Guerra, ocorre nos espaços tradicionais das plantações de São Paulo (região compreendida entre Campinas, Ribeirão Preto e São Carlos) uma problemática, a expansão do *Hypothenemus hampei* – Broca do Café. Na fase adulta é um pequenino besouro de cor escura e brilhante. O ciclo da praga se inicia quando a fêmea fecundada perfura o fruto na região da coroa até atingir a semente onde faz uma pequena galeria onde realiza a postura. O principal problema causado é devido a estes besouros perfurarem os frutos, depositando seus ovos e quando eclodem, as larvas se alimentam das sementes, danificando ou destruindo os frutos em várias fases do desenvolvimento, ocasionando prejuízos como perda da qualidade do grão, queda prematura dos frutos, apodrecimento das sementes, entre outros danos (Malavolta *et al.*, 1993; Mores, 2017).

Na década de 1890 no país ocorreu um intenso aumento no número de pés de café plantados no Estado de São Paulo, devido a recuperação econômica das crises da década de 1880 nos Estados Unidos e Europa. Concomitante à recuperação econômica, esse foi um período de avanço do *Hemileia vastatrix*, fungo causador da ferrugem na Ásia e na África, o que faz com que muitos plantadores de café destas regiões diminuam drasticamente, ou em muitos casos, desistam de plantar café. Esse fenômeno fez com que os fazendeiros paulistas incentivassem o plantio durante as décadas de 1880 e 1890 para conquistar o lugar vago deixado por estes produtores (Mores, 2017).

Malavolta *et al.* (1993) evidenciaram os danos causados pela Broca do Café, entre eles a derrubada de frutos verdes; perda de peso e quebra dos grãos; depreciação das qualidades organolépticas do café. Para estes autores, o café o brocado, além de ter aspecto visual ruim, é considerado defeito grave na sua classificação, pois podem alterar a qualidade da bebida, implica em redução na colheita pela grande queda de frutos.

Sobre os manejos da cultivar que foram disseminados no Brasil, Mores (2017), destaca:

Uma característica ímpar da cafeicultura no Brasil, em especial aquela praticada entre Minas Gerais e o Paraná, é o desenvolvimento do cultivo quase que exclusivamente sem sombreamento. Segundo pesquisa realizada pelo IAC, a combinação de estação seca e um solo que não retém grandes quantidades de umidade, fez com que a cafeicultura no Brasil se desenvolvesse sem sombreamento para que não houvesse competitividade do uso da água do solo para o crescimento das plantas. Ao mesmo tempo, este uso intensivo do solo, gerava uma alta demanda por novas terras férteis devido ao rápido esgotamento das antigas áreas produtivas, fazendo com que a fronteira agrícola do café fosse transitória, e que os agricultores partissem floresta adentro para buscar novas "terras virgens (p. 103).

Nesse contexto, o autor aponta as transformações ocorridas nos agroecossistemas durante os séculos XIX e XX, período no qual ocorreu um movimento pela criação de um mercado global de café que transformou ecossistemas, a partir da correlação entre plantadores de café, agrônomos, trabalhadores. Com isso, surgiram novas variedades e espécies de café, novas ideias e técnicas, envolvendo monoculturas, insumos químicos, culminando no surgimento de agentes patogênicos (doenças e pragas). Os processos degradantes para a implantação das lavouras de café se iniciam com o desflorestamento da região que contava com uma técnica elaborada combinando derrubada, limpeza e posteriormente queimada da vegetação. Estas são técnicas antigas exploratórias que ignoram a preservação e manutenção da biodiversidade dos ecossistemas. Desse modo, este movimento fez com que os diferentes agroecossistemas propostos pelos ancestrais "caminhassem" para uma espécie de padronização. Mores (2017).

2.6.2. Morfologia e anatomia

Trata-se de uma planta perene, alotetraplóide, autógama, com isso cerca de 93 a 80% as flores se autofecundam pela cleistogamia, com as flores ainda fechadas – antes da antese. Possui propagação seminal – por meio de sementes - e vegetativa, uma técnica de reprodução assexuada por meio de multiplicação de partes da planta mãe. A inflorescência ocorre nos ramos laterais novos por meio de um aglomerado denso de

flores pequenas, completas, hermafroditas e autocompatíveis (Sakiyama *et al.*, 2015; Resende, 2024).

O fruto do cafeeiro é uma drupa elipsoide contendo geralmente dois endospermas verdadeiros, verdes, achatados e de extremidades arredondadas, são dois cotilédones que servem como reserva de nutrientes com a função de nutrir o embrião em desenvolvimento. As sementes se formam envoltas em um endocarpo, também chamado de pergaminho. O fruto ainda é composto por pedúnculo (conecta o fruto ao caule), mesocarpo (mucilagem ou polpa gelatinosa e adocicada) e coroa (Batista, 2010; Sakiyama *et al.*, 2015).

É uma planta arbustiva, com raiz pivotante de aproximadamente 50 centímetros de crescimento vertical que possui a função de fixação da planta no solo proporcionando estabilidade. As raízes laterais emergem em sentido perpendicular à superfície do solo – aprofundando posteriormente – podendo ultrapassar o limite correspondente à copa da planta, algumas raízes axiais que podem atingir de 2 a 3 metros de profundidade dependendo das condições do solo, de onde emergem as radículas ou radículas, que desempenham o papel fundamental na absorção de água e nutrientes (Sakiyama *et al.*, 2015).

A parte aérea da planta é composta por ramos dimórficos e um ramo ortotrópico: de crescimento contínuo que se desenvolve em uma única haste a partir da retomada do desenvolvimento do eixo embrionário durante a germinação, até que a muda atinja de oito a dez pares de folhas, desses podem emergir outros ramos ortotrópicos, devido a morte, corte ou envergamento do ápice e os ramos plagiotrópicos ou produtivos, esses são ramos laterais que emergem de maneira oposta e cruzados em relação aos ramos anteriores a partir das gemas do ramo ortotrópico. Esses podem emitir ramos secundários a partir de gemas, crescem horizontalmente e apresentam nós e entrenós, em cada nó nascem duas folhas opostas em relação ao eixo do ramo, de onde surgem as flores. Podem ocorrer no interior da copa a emergência dos chamados brotos ladrões a partir do ramo ortotrópico, esses prejudicam o desenvolvimento e produção da planta pela competição por luz, água e nutriente (Sakiyama *et al.*, 2015).

As folhas são simples, possuem formato oval-oblongo; delgada, consideravelmente fina; ondulada; coriácea (remete ao couro, estrutura rígida e

resistente, porém com flexibilidade) e possui pecíolo e estípula curtos. A folha possui uma nervura central de onde emergem as nervuras primárias e secundárias, as nervuras possuem função de transporte de água e nutrientes, além de conferir rigidez à folha, possibilitando extensão para melhor absorção da luz solar. A lâmina foliar de 12 a 24 cm é delgada e ondulada de forma elíptica, apresentando pequenas variações entre as variedades (Batista, 2010; Sakiyama *et al.*, 2015; Gama *et al.*, 2016).

As folhas também se modificam frente ao ambiente que são expostas, variando sua área, espessura, forma, concentração de nutrientes e capacidade de trocas gasosas. Folhas que se desenvolvem sob condições de déficit hídrico são, geralmente, menores e de menor área foliar específica. Desse modo, o cafeeiro arábica pode minimizar o aquecimento da folha e danos fotooxidativos por meio da maior espessura de tecidos fotossintetizantes (Batista, 2010; Júnior *et al.*, 2011; Gama *et al.*, 2016).

As principais características das melhores linhagens das cultivares do Arábica Catuaí Vermelho são: porte baixo, plantas cilíndricas, compacta e internódios curtos, com diâmetro de copa em torno de 2 metros, elevada produtividade e alto vigor vegetativo; de maturação tardia e desuniforme, frutos vermelhos e sementes de tamanho médio. É indicada para o plantio adensado ou em renque, adaptada a áreas secas, quentes e a regiões montanhosas, com tratos culturais de menor nível tecnológico (Batista, 2010).

Ainda em relação às adaptações anatômicas da espécie, a maior espessura do limbo foliar aumenta a capacidade de absorção, canalização e dispersão da luz. Tal condição pode minimizar o aquecimento e evitar danos fotooxidativos causados pelas altas temperaturas e luminosidade, características da região semiárida (Júnior *et al.*, 2011).

2.6.3. Ciclo fenológico

O Ciclo fenológico do cafeeiro compreende as várias etapas de desenvolvimento da planta, desde o plantio até a colheita. É influenciado pelas condições agrometeorológicas, se divide em fases vegetativas e reprodutivas – florescimento,

frutificação e maturação. O café é uma planta perene, leva quatro anos para atingir a maturidade e pode permanecer produtiva por trinta anos (Mores, 2017).

Quando “o café se encontra em condições tropicais/subtropicais, o ciclo é bem definido, ou seja, florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e colheita no inverno” (Assad *et al.*, 2001). O ciclo de vida do cafeeiro está dividido em três grandes períodos: o primeiro – de crescimento, que vai da germinação a maturidade sexual, o segundo refere-se a produção e o terceiro e último é o da decadência fisiológica que termina com a morte do arbusto. Cada uma das fases é influenciada por fatores ambientais como temperatura, radiação, precipitação e características do solo (Araújo, 2014).

De acordo com Sakiyama *et al.* (2015), o ciclo fenológico do *C. arábica L.* é de dois anos nas condições agrometeorologias da região Centro-Sul brasileiro. No primeiro ano, forma-se o ramo ortotrópico e posteriormente os ramos plagiotrópicos em gemas axilares nos nós. No segundo ano é iniciado o processo de floração e frutificação. A floração pode ser induzida por fatores climáticos em vários momentos, a exemplo da chuva o que pode gerar uma desuniformidade de desenvolvimento e maturação dos frutos ou indução antrópica por irrigação.

Após a fecundação, inicia-se a formação dos frutos (fase chumbinho) e eles se expandem rapidamente, até atingir o tamanho máximo por volta de dezembro. Após esta fase inicia-se a granação dos frutos, que compreende 14 meses, de janeiro a março. A partir dessa fase, entre abril e junho, inicia-se a maturação dos frutos, evoluindo até a fase de cereja. Quando apresentam exocarpos amarelos ou vermelhos, os frutos são climatéricos, e, com isso, continuam a maturação após colhidos, devido a produção do etileno que atua no amadurecimento. A fase final é a senescência, processo no qual o fruto perde água, entra em murchamento, passando da fase cereja para a fase de secagem, ou seja, de passa para o estágio seco (Batista, 2010; Sakiyama *et al.*, 2015).

2.6.4. Estômatos

As cultivares Araponga, Catiguá MG2, Catucaí 2SL e IPR 107 (Fig. 12A, C, D, E), possuem duas células subsidiárias, cujos eixos longitudinais são paralelos ao das células-guardas. Já na cultivar Arara (Fig. 11B), foi observado que os estômatos apresentam três células subsidiárias, de tamanhos distintos (Trindade; Botrel; Franco, 2023).

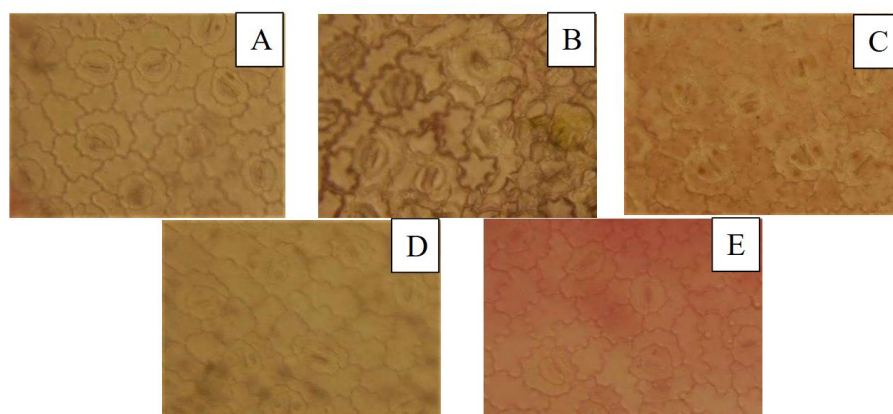


Figura 12: Estômatos na epiderme foliar das cultivares do cafeeiro (A) Araponga, (B) Arara, (C) Catiguá MG2, (D) Catucaí 2SL e (E) IPR107.

Fonte: Trindade, Botrel e Franco (2023, p. 2).

A partir dessas observações pode-se entender que as cultivares Araponga, Catiguá MG2, Catucaí 2SL e IPR 107, possuem estômatos paracíticos e a cultivar Arara possui estômatos anisocíticos. A posição das células subsidiárias pode colaborar com a intensidade em que as trocas gasosas são realizadas, bem como determinara hermeticidade do ostíolo. No que diz respeito a densidade estomática, foi observado que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade em relação a diferentes cultivares (Fig. 13). Arara e Araponga proporcionaram as maiores médias de estômatos por área. Já as cultivares CatiguáMG2, Catucaí 2SL e IPR 107 apresentam médias inferiores em relação a Araponga e Arara, conforme assinalam Trindade, Botrel e Franco (2023).

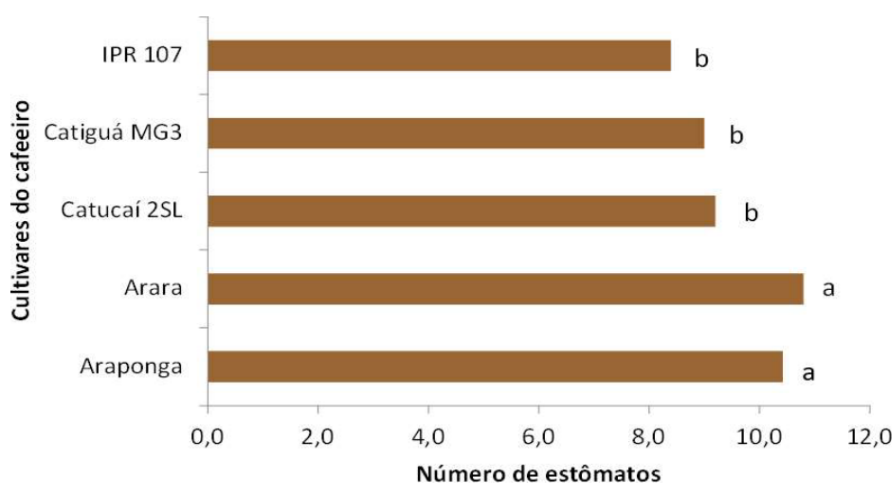


Figura 13: Número médio de estômatos por área (objetiva de 40x) observados nas diferentes cultivares do café. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Trindade, Botrel e Franco (2023. p.3).

Para as autoras, provavelmente essa variação entre os tratamentos se dá pela diferença genética das cultivares estudadas, visto que todas estavam cultivadas com as mesmas condições de temperatura, radiação, umidade e fertilidade do solo. As autoras ainda citam estudos nos quais avaliaram a densidade estomática entre genótipos de *C. arábica*. em condições de cerrado do planalto central do Brasil, onde as cultivares Araponga e Arara também se destacou em número de estômatos entre as demais cultivares avaliadas (Trindade; Botrel; Franco, 2023).

Gama *et al.* (2016) descrevem experimentos realizados com cafés irrigados e não irrigados em que identificou diferenças na densidade estomática, variando entre 15 estômatos por milímetro quadrado para a menor densidade estomática e 18 para os maiores valores. Estes autores concluíram que há uma resistência ao déficit hídrico para as maiores densidades estomáticas nos cafeeiros não irrigados.

2.7 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CAFEICULTURA NO BRASIL

De acordo com levantamentos realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a cafeicultura é uma das atividades mais importantes para a economia brasileira, pois o país é o maior produtor e exportador e o segundo maior

consumidor mundial (CONAB, 2023). Contudo, em 2021 o Brasil produziu o total 31.423,5 mil sacas de café do tipo Arábica, apresentando uma diminuição de 35,5% em relação ao que foi produzido na safra do ano anterior. Essa redução na produtividade não se deu necessariamente pela bianualidade do vegetal, mas também pelas condições climáticas adversas de seca nas regiões produtoras. Isso possibilita avaliar que a cultura pode não atingir o potencial produtivo esperado para os próximos períodos (Silva; Pinto, 2024).

Em 2023, a área total destinada à cafeicultura no país em 2023 em relação ao Café Arábica totalizou 2,26 milhões de hectares, aumento de 0,8% sobre a área da safra anterior, com 1,9 milhão de hectares destinados às lavouras em produção, com crescimento de 3,3% em relação ao ano anterior e 355,5 mil hectares em formação, colhendo cerca de 37.435,1 mil toneladas e uma área total de produção em 1.508,6 mil hectares e uma média de 24,8 sacas por hectare. Na Bahia, no ano de 2023, a produção atingiu 3.624 mil sacas, sendo 1.231 mil sacas de Café Arábica e 2.393 mil sacas de café Conilon. Contudo, safra do ano de 2023 foi acometida por adversidades climáticas nas diversas regiões produtoras do país, pelas baixas precipitações pluviométricas, longas estiagens e temperaturas acima do normal durante grande parte do seu desenvolvimento (CONAB, 2023).

O cultivo de Café Arábica no estado da Bahia se dá nas regiões do Planalto, centro-sul e centro-norte da Bahia e no Cerrado, extremo- oeste da Bahia. De maneira geral, o Planalto se caracteriza pelas áreas de maior altitude e clima ameno, favorecendo o desenvolvimento do café na região, especialmente aquele grão destinado para produção da bebida de maior qualidade. As lavouras de café no Planalto estão divididas em três microrregiões: Chapada Diamantina, Vitória da Conquista e Brejões (CONAB, 2023).

O índice pluviométrico anual ideal é de 1.200mm a 1.800mm, com distribuição regular de chuvas no período de primavera, verão e outono (Araújo, 2014). No inverno, o ideal é que sofra pequeno déficit hídrico, principalmente em agosto/setembro, com temperaturas na faixa de 16°C a 18°C. Quanto à deficiência hídrica anual, o cafeeiro suporta bem o limite máximo de 150mm, principalmente se esta coincide com o período

de dormência da planta, porém, não se estendendo até a fase de floração e início da frutificação (Batista, 2010).

A exigência hídrica do cafeeiro varia de acordo com as fases fenológicas da planta e, no período de vegetação e frutificação, que ocorre de outubro a maio, o cafeeiro precisa de umidade disponível no solo. A alta produtividade do cafeeiro está condicionada a uma boa distribuição de chuvas no período de indução e desenvolvimento dos botões florais (fevereiro a junho), à pequena deficiência hídrica no período de repouso da planta (julho a agosto) e à ocorrência de períodos chuvosos no início de outubro, que induz uma floração com temperaturas amenas, favoráveis ao pegamento das flores (Batista, 2010).

Em um estudo abrangente com delimitação geográfica a nível Brasil, Lorençone *et al.* (2022) determinaram o zoneamento agroclimático para o cultivo do *C. arábica* no país, visando mensurar o cenário atual (Fig. 14) de acordo com cenários de mudanças climáticas obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil - INMET, no período de 1960-2020.

Zoneamento climático para o cultivo da *Coffea arabica*



Figura 14: Zoneamento agroclimático do *Coffea arabica* para o Brasil.
Fonte: Lorençone *et al.* (2022).

Levando em consideração o cenário atual, apenas 8,72% das áreas se encontram aptas para a produção de café no país, seguido de 5,11% de área apta com irrigação, chegando ao total de 13,83% de área apta – nessa delimitação se encontra a área do Território de Identidade Chapada Diamantina, onde a pesquisa está sendo realizada. O estudo aponta que 47,74% da área do país se encontra inapta por excesso térmico; 32,80% da área está inapta por excesso térmico e deficiência hídrica e 5,6% da área inapta por deficiência térmica pelas baixas temperaturas, totalizando 86,17% de áreas inaptas ao cultivo. Esses dados se apresentam ainda mais alarmantes em projeções futuras (Fig. 15A, B, C, D), em cenários que avalia os indicativos para os anos de 2041 a 2060 e de 2061 a 2080 (Lorençone *et al.*, 2022).

Zoneamento futuro para o cultivo da *Coffea arabica*

— Diferentes cenários propostos de mudanças climáticas —

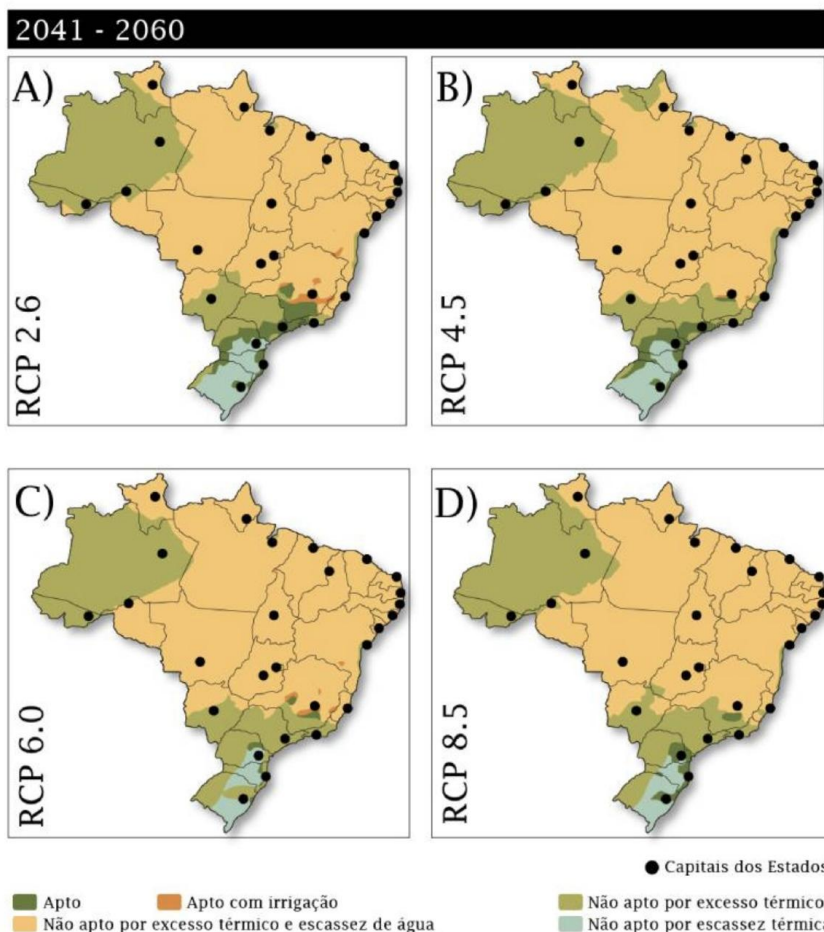


Figura 15 (ABCD): Zoneamento agroclimático do *Coffea arabica* para o Brasil nos diferentes cenários de mudanças climática considerando as projeções os anos de 2041 a 2060.

Fonte: Lorençone *et al.* (2022).

A partir destes dados é possível observar um aumento progressivo e significativo das áreas inaptas, com grande redução das áreas aptas ao cultivo do café no Brasil, onde toda extensão geográfica do estado da Bahia – inclusive o território da Chapada Diamantina – se encontra em todos os cenários inapto ao cultivo, inclusive em sistema de irrigação, por excesso térmico e deficiência hídrica. Essas alterações no zoneamento agroclimático do Brasil podem resultar em redução da produtividade das lavouras de café inclusive nas regiões de maiores altitudes. Essas condições podem representar um risco para a cultivar devido ao aumento da evaporação, períodos mais longos de seca e redução disponibilidade de água no solo para as plantas. Estes cenários apontam uma redução média de 50% das áreas aptas (Almeida *et al.*, 2020; Lorençone *et al.*, 2022).

Tavares *et al.* (2014) fizeram uma avaliação da aptidão agroclimática para a produção do Café Arábica na região sudeste do Brasil. Estes autores mencionaram que a região se encontrou apta para a produção cafeeira, em acordo com as condições climáticas previstas para o período de 1961 a 1990. Porém, para projeções futuras (2070 a 2100), na região sul de Minas Gerais, principal polo produtor nacional do Café Arábica, ocorre redução de aproximadamente 60% das áreas aptas, devido a questões climáticas restritivas. Essas mudanças no cenário produtivo foram atribuídas principalmente aos aumentos nas temperaturas médias do ar em torno de 8°C (Fig. 16A, B).

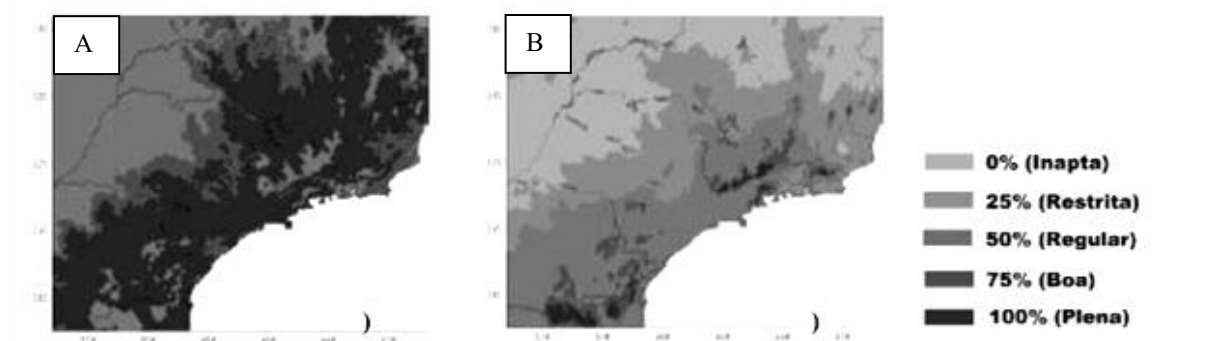


Figura 16: Porcentagem de aptidão do zoneamento agroclimático para a cultura do Café Arábica no sudeste do Brasil. A) Clima presente (1961-1990) e B) cenário futuro para 2071-2100.

Fonte: Tavares *et al.*, (2014. p.2).

Assad *et al.* (2012) apontam perspectivas futuras com vista aos aumentos de temperatura média anual de 1°C, 3°C e 5°C (Fig. 17A, B, C), bem como alterações no zoneamento agroclimático da região do estado de Goiás (estado que predominantemente possui como bioma o Cerrado), Brasil, mesmo com a utilização de sistema de irrigação:

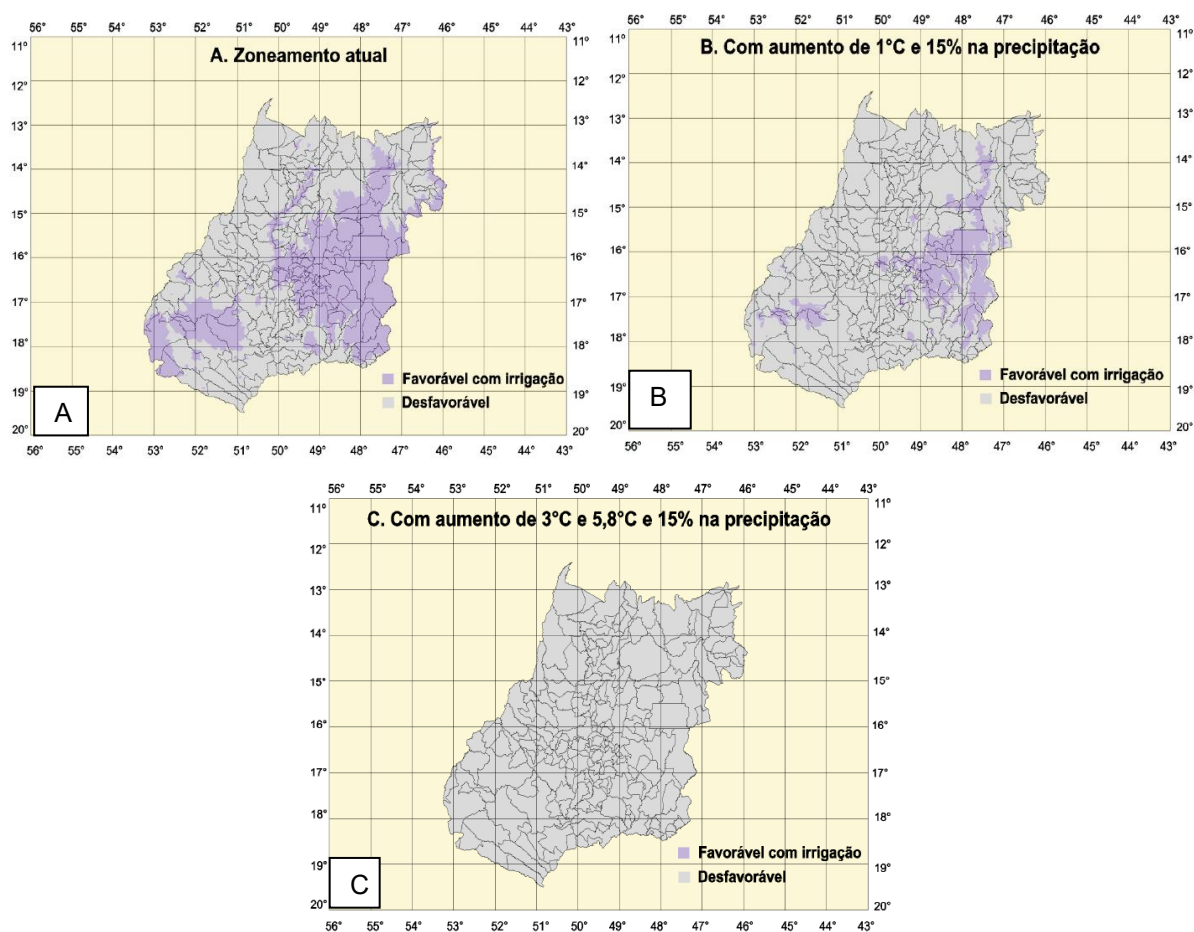


Figura 17: (A) Zoneamento atual do café para o Estado de Goiás, (B) Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (C) Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial.

Fonte: Assad *et al.* (2004, p.3).

A partir dessas projeções, com o aumento de 1°C na temperatura pode ocorrer um aumento para 85,9% nas áreas inaptas para o cafeeiro da espécie *C. arábica* na região, o que se agrava com o aumento de 3°C. Diante deste cenário, 99,9% do estado de Goiás passa à condição de inapto, inclusive para o café com sistema de irrigação,

que é indicado como regulador térmico, para evitar o abortamento das flores neste sistema (Assad *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2020).

De acordo com Silva e Pinto (2024) e com o IPCC, as previsões indicam aumentos entre 1,2°C e 3°C até o ano de 2050, o que se apresenta como um fator limitante para a produção agrícola mundial. Nessa perspectiva, Almeida *et al.*, (2020) aponta uma perda de 85,9% em das áreas inaptas a cultura com o aumento de 1°C na temperatura mundial, os dados se tornam ainda mais agravantes se o aumento atingir 3 a 5,8°C, como indicam projeções até o final do século, o qual acarretará em 99,9% de áreas inaptas ao cultivo de café arábica. Esses indícios poderão fazer com que as áreas produtivas se desloquem para o Sul do país ou para regiões mais altas do Sudeste na busca por climas mais amenos (Pinto, 2007).

Neste cenário, a cafeicultura se apresenta como uma das culturas mais afetadas, tanto pelas alterações no regime pluviométrico quanto no aumento da temperatura média. Destaca-se que esta condição climática pode afetar a produtividade e a qualidade do fruto colhido pelo resultado final na qualidade da bebida (Silva e Pinto, 2024).

Assad *et al.* (2004) trazem ainda como base de estudos o zoneamento agroclimático para a produção de *C. arabica* no estado de Minas Gerais, composto pelos biomas Cerrado (57%), Mata Atlântica (41%) e Caatinga (2%) ao norte do estado. No estudo, avaliaram cinco condições, dentre elas “região para cafeicultura com irrigação necessária; região com aptidão natural; região inapta por excesso térmico (temperatura média anual maior que 23°C); região apta, mas com risco de geada; e região inapta” (Fig. 18A, B, C, D):

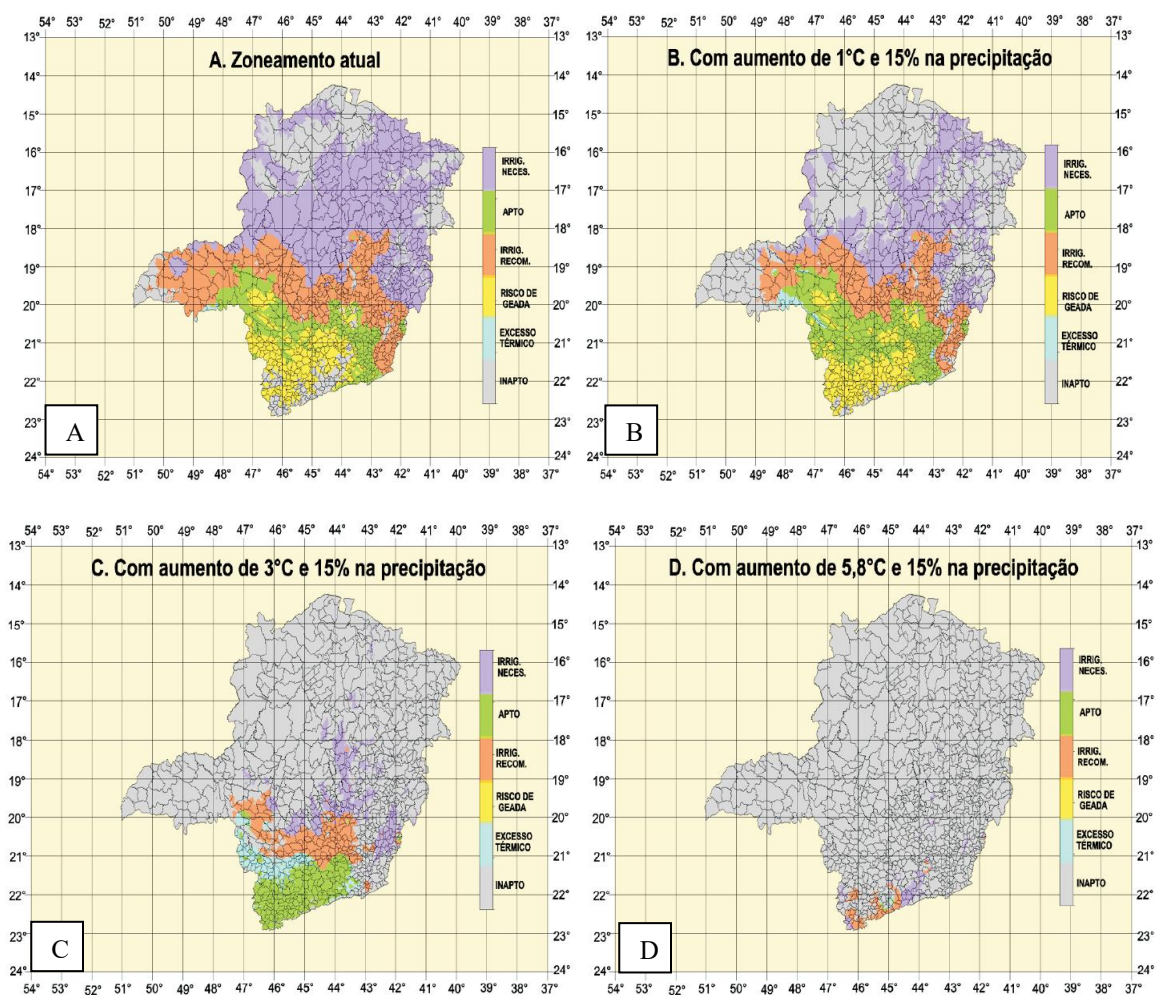


Figura 18: (A) Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais; (B) Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (C) Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial; (D) Zoneamento considerando aumento de 5,8°C na temperatura e 15% na precipitação pluvial.

Fonte: Assad *et al.*, (2004, p.5).

Há uma necessidade de melhoramento genético da espécie para adaptação aos estresses ambientais e garantia da produção em quantidade e qualidade. No cenário projetado, com a manutenção do cultivo das espécies nas condições genéticas e fisiológicas atuais, o cultivo do Café Arábica nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos, onde a restrição ao cultivo atingirá mais de 95% da área dos estados (Assad *et al.*, 2004).

Assad *et al.* (2001) desenvolveram um zoneamento agroclimático para a cultura do *C. arabica* L. no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. Estes autores alertam que ambas as regiões apresentam déficit hídrico superior a 150mm, o que leva

aptidão ao cultivo da espécie apenas por meio de irrigação. O estudo realizado tomou como base a temperatura média anual das regiões e a temperatura média do mês de novembro (Fig. 19A, B), indicado pelos autores como o mês mais quente.

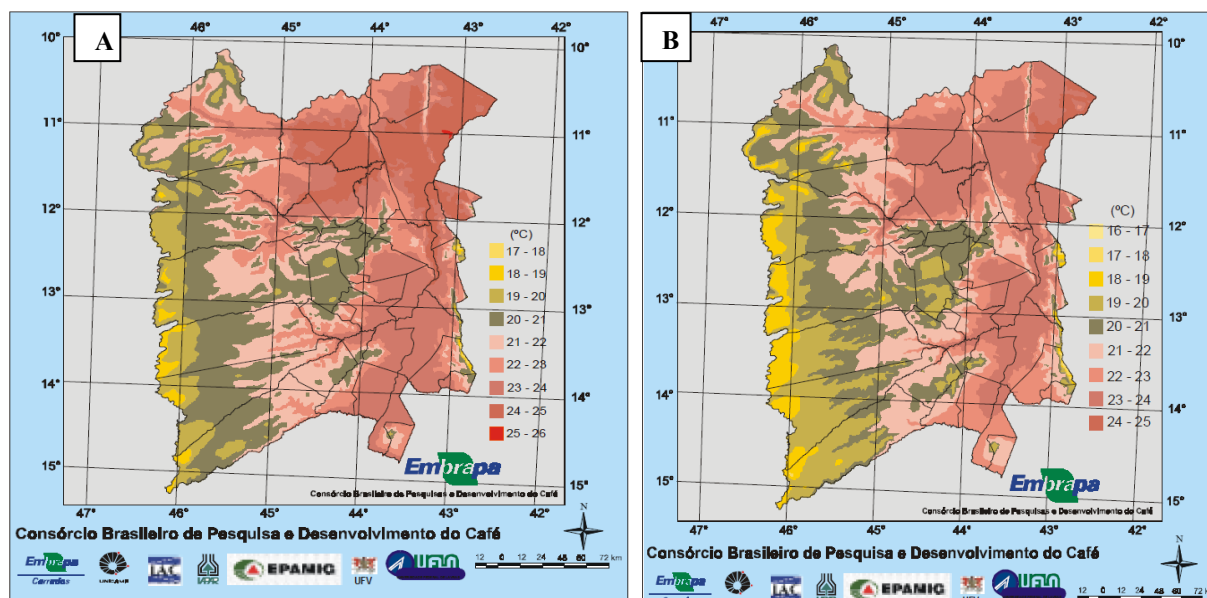


Figura 19: (A) Temperatura média anual na região sudoeste do estado da Bahia. (B) Temperatura média do mês de novembro na região sudoeste do estado da Bahia.

Fonte: Assad *et al.* (2001.p.5).

Destaca-se que a região sudoeste do estado da Bahia possui cerca de 11.287.500 hectares aptos para cultivo do café, porém, com irrigação. No estado, os municípios identificados com uma maior extensão das áreas aptas foram Canápolis, Catolândia, Cristópolis, Cocos, São Desidério e Correntina, com 100% de aproveitamento, sendo as menores áreas aptas os municípios de Bom Jesus da Lapa (13%), Carinhanha (12%), Barra (10%) e Sítio do Mato, com apenas 5% de área apta ao cultivo de café (Assad *et al.*, 2001). Estes dados culminaram na delimitação agroclimática de toda região sul do estado, como indica o mapa a seguir (Fig. 20):

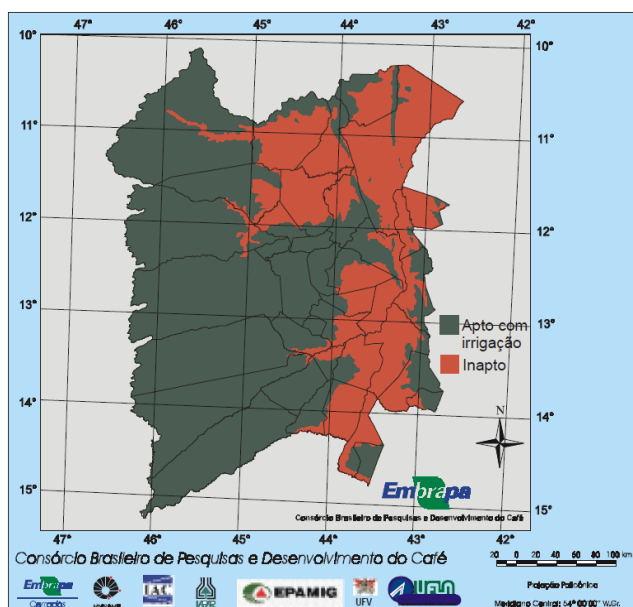


Figura 20: Zoneamento agroclimático da cultura do café na região sudoeste do estado da Bahia.
Fonte: Assad *et al.* (2001. p.9).

Pelo que foi exposto anteriormente, percebe-se limitações produtivas para o café nessa região a partir de análises em relação ao déficit hídrico e temperatura média que indicaram o cultivo apenas com a utilização de irrigação (Assad *et al.*, 2001). Contudo, algumas projeções indicam que inclusive os sistemas irrigados não sustentam a produção frente aos cenários futuros, agravados pelo aumento da temperatura (Lorençone *et al.*; 2022).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma propriedade denominada Recanto da Seriema com coordenadas geográficas de latitude -12.30867522° e longitude -41.78281701 , altitude média de 1.026 metros, em um povoado denominado Malhador, onde se concentra propriedades com ambientes produtivos com predominância do cultivo da espécie *C. arabica*, base econômica da agricultura da região. O povoado pertence ao município de Seabra, Território de Identidade Chapada Diamantina, região semiárida do Brasil, em um ecótono entre Caatinga e Cerrado, na localidade denominada Malhador,

município de Seabra. O território faz parte da delimitação geográfica e política do estado da Bahia (Fig. 21).



Figura 21: delimitação da área de estudo, Território Chapada Diamantina, Seabra, estado da Bahia.
Fonte: autores, 2025.

A propriedade é certificada pelas normas da produção orgânica do Brasil, regulamentada pela Lei 10.831/03, pelo Núcleo de Certificação Orgânica Participativa Sementes da Chapada e credenciada junto a Rede de Agroecologia Povos da Mata. Com isso, todo manejo realizado segue os parâmetros da referida Lei e institui:

Considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente (Brasil, 2003).

Em seu artigo 1º dispõe sobre a finalidade de um sistema de produção orgânico, que objetiva: a oferta de produtos saudáveis isentos de contaminantes intencionais; a preservação da diversidade biológica dos ecossistemas naturais e a recomposição da

diversidade biológica dos ambientes produtivos, além de promover um uso saudável do solo, da água e do ar e reduzir ao mínimo todas as formas de contaminação resultantes das práticas agrícolas pelo mínimo emprego de recursos não-renováveis, entre outras técnicas sustentáveis (Brasil, 2003).

3.1. TIPOLOGIA DA PESQUISA

Trata-se de um trabalho quali-quantitativo, descritivo/experimental em campo e laboratório, em que se utilizou como instrumento a observação direta (Gil, 2022; 2023), seguida de registros mediante nota de bordo e fotografias efetuadas com auxílio de uma câmera acoplada ao microscópio óptico. A observação direta permite ao pesquisador se aproximar da fidedignidade dos dados cuja essência pode ser explorada por diferentes métodos de pesquisa, a exemplo da pesquisa quali-quantitativa (Santos; Castro, 2024).

3.1.1 O trabalho de campo

Para o experimento foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) no qual se busca atender dois princípios, casualidade e repetição, para garantir a verificação das hipóteses por meio dos testes e pressupostos, a partir do qual foram analisadas cultivares distribuídas aleatoriamente em dois tratamentos experimentais (Caixeta *et al.*, 2024). A escolha das cultivares buscou abranger indivíduos da espécie *C. arabica L.* e se deu a partir de consultas bibliográficas, além de levar em consideração fatores como facilidade de acesso e coleta de amostras do material. Para a iniciação do trabalho prático foram consultados e determinados os procedimentos de preparo do material botânico para que permitisse uma boa visualização da amostra da folha.

As coletas dos dados microclimáticos e do material botânico aconteceram no período de 26 de fevereiro a 10 de outubro no ano de 2025 em duas áreas com as

seguintes condições (tratamentos): Área 1 – com coordenadas geográficas na faixa de latitude -12.30867522° e longitude -41.78281701° , com altitude de 1.027 metros, com cultivares de café em lavoura de sequeiro em SAF com a presença da espécie *S. spectabilis*; Área 2 – com coordenadas geográficas na faixa de latitude -12.308636° e longitude 41.781140° , com altitude de 1.025 metros com a presença de cultivares de café em lavoura de sequeiro a sol pleno (Fig. 22).

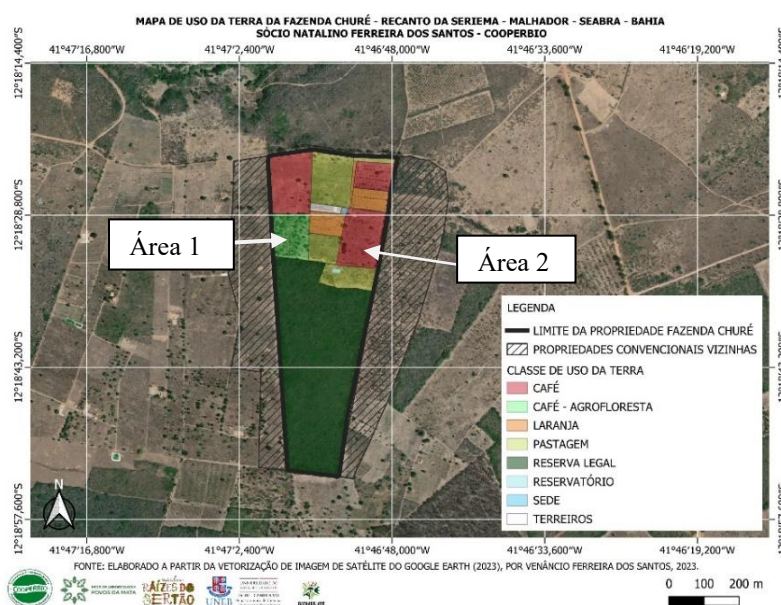


Figura 22: mapa da delimitação da área de estudo. Área 1 – ambiente agroflorestal e Área 2 – ambiente à sol pleno.

Fonte: Elaboração própria, 2023.

As áreas onde o experimento foi realizado apresentam (em anexo) os seguintes dados de granulometria do solo (Tabela 3):

Tabela 3. Análises de solo de duas áreas de sequeiro no Recanto da Seriema – Malhador, município de Seabra, estado da Bahia.

Granulometria	Área 1: lavoura de sequeiro em SAF		Área 2: lavoura de sequeiro a sol pleno	
	0 a 20cm de profundidade	20cm a 40cm de profundidade	0 a 20 cm de profundidade	20 cm a 40cm de profundidade
Areia	65,06	58,48	71,46	66,44
Silte	11,79	16,37	5,51	6,62
Argila	23,15	25,15	23,03	26,94

Fonte: Laboratório de Química e Fertilidade do Solo. UNEB – Campus IX. Reis (2024).

Vale ressaltar que ambas as áreas seguem o mesmo manejo produtivo. A nutrição das cultivares é realizada anualmente por meio da utilização de esterco bovino, palha de café, pó de rocha, de palha de mamona e calcário. O resultado destes manejos pode ser acompanhado a partir das análises de solo realizadas no ano de 2024 (Apêndice A: Área 1. p. 114; Apêndice B: Área 2. p.115).

Para análise das células estomáticas foi efetuada a montagem de lâminas com a impressão da epiderme foliar das espécies conforme descritas na tabela abaixo (Tabela 4).

Tabela 4. Coletas foliares para análise estomáticas.

Área de coleta	Descrição do vegetal	Tipo de ambiente	Total de vegetais	Amostras foliares por vegetal no verão	Amostras foliares por vegetal inverno
Área 1	<i>Coffea arabica</i>	Ambiente agroflorestal.	4	3	2
Área 2	<i>Coffea arabica</i>	Ambiente à sol pleno.	4	3	2

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tendo em vista a variação na distribuição dos estômatos em relação ao estágio de desenvolvimento e a posição dos órgãos vegetativos, as amostras foram extraídas de folhas dos ramos plagiotrópicos do meio do corpo de indivíduos adultos, já que as folhas maduras representam melhores condições comparativas para amostragem em função de as mesmas apresentarem células em estado completo de desenvolvimento (Santos; Castro, 2024). Tendo em vista ainda que o meio da folha é a região em que a distribuição dos estômatos é acentuada, considerou-se essa posição para fins de impressão na lâmina (Pinho, 2011).

Essas coletas totalizaram 20 parcelas por área, garantindo o quantitativo básico para posterior análise estatística. Isso possibilitou análise estomática em condições climáticas distintas – Área 1 e Área 2 – de acordo com às influências de fatores externos do clima sobre a adaptação e funcionalidade da espécie. Para isso, foram coletadas impressões de 3 folhas dos vegetais na estação verão e 2 folhas na estação inverno de cada um dos 4 organismos em ambas as áreas, selecionando aquelas de aparência saudável (Barbosa; Porto; Bertolde, 2018).

As coletas foram efetuadas das 8:00 às 9:00 horas da manhã, a fim de possibilitar a avaliação da sua estrutura e funcionamento em condição similar de temperatura, luminosidade e estresse hídrico (Santos; Castro, 2024). Para realizar a impressão foi colocada uma pequena quantidade de adesivo instantâneo nas lâminas de vidro e, em seguida, a área de adesão foi encostada, de forma cuidadosa, na superfície foliar adaxial e abaxial, deixando por alguns segundos até o adesivo instantâneo secar para proceder impressão da epiderme da folha, segundo a metodologia aplicada por Santana Filho (2012).

Outro fator importante levado em consideração foi a condição climática no momento das coletas das amostras, o que pode interferir no comportamento dos estômatos. Para isso, os seguintes aspectos foram considerados: tipo do ambiente da coleta, estação do ano, temperatura, umidade relativa do ar. Desse modo, em campo foram realizadas coletas para análises das condições microclimáticas das áreas de estudo (Tabela 5): medição da temperatura e umidade relativa do ar no momento da coleta por meio do equipamento Termo-Higrômetro Int / Ext. - Minipa MT-241. Outro dado coletado em campo foi a temperatura da folha, para análise, foram coletadas temperaturas em 20 folhas de vegetais distribuídos nas áreas, durante os meses de estudo com o auxílio de um termômetro digital infravermelho à laser (modelo Caution T 380 com registro de temperatura entre -50°C a 380°C).

Tabela 5. Coletas de dados microclimáticos.

Área de coleta	Tipo de ambiente	Coletas realizadas	Coletas no verão	Coletas no inverno	Coletas na primavera
Área 1	SAF	- Temperatura do Ambiente (TA); - Temperatura do Solo (TS); - Umidade Relativa do Ar (URA).	4	4	4
Área 2	Ambiente à sol pleno.	- Temperatura do Ambiente (TA); - Temperatura do Solo (TS); - Umidade Relativa do Ar (URA).	4	4	4

Fonte: Elaboração própria, 2025.

3.1.2 O trabalho de laboratório

As impressões foram levadas para análise no Laboratório Multidisciplinar do Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias – DCHT, *Campus XXIV* da Universidade do Estado da Bahia – no município de Xique-Xique, Território de Identidade Irecê, estado da Bahia, com coordenadas geográficas de latitude -10.824858° e longitude -42.724005°. Outro local de análise foi o laboratório de Biologia do IFBA Campus Seabra, localizado no Território de Identidade Chapada Diamantina, com coordenadas geográficas de latitude -12.399203° e longitude -41.786790°. As análises aconteceram por meio de Microscopia Óptica Comum (MOC), sendo as informações registradas em diário de bordo e com auxílio de um celular digital. Esses dados foram utilizados nas etapas de identificação, caracterização e análise anatômica das estruturas vegetais.

As observações das células epidérmica/estomáticas, seguiram procedimentos comuns de manuseio de materiais biológicos em microscopia (Junqueira; Carneiro, 2018). Em cada uma das amostras coletadas foram observados 5 campos microscópios (4 laterais e 1 mediano, definindo assim uma média dos 5 campos), o que proporciona um total de 25 observações por organismo, 100 observações por área, totalizando 200 observações em toda a propriedade.

As imagens foram processadas com auxílio do software Leica Imaging, com o propósito de quantificar as células epidérmica/estômatos para auxiliar determinação dos Indicadores Ecológicos (IEs) (Kedrovski; Oliveira; Rocha, 2009). Foram consideradas também localização, forma, distribuição, etc. dos estômatos para fins de análise qualitativa. Ainda foram qualificados os dados microclimáticos dos ambientes. Estabeleceram-se para fins de análises quali-quantitativa os seguintes IEs:

- Dados foliares e estomáticos: Temperatura da Folha (TF); Tamanho dos Estômatos (TE); Densidade Estomática (DE); Frequência Estomática (FE); Índice Estomático (IE); Estômatos Abertos (EA) e Estômatos Fechados (EF).
- Dados microclimáticos: Temperatura do Ambiente (TA); Temperatura do Solo (TS); Umidade Relativa do Ar (URA).

3.1.3 Dados de produtividade

Para levantamento da produtividade das lavouras nas duas áreas foram coletados com o proprietário os dados registrados em cadernos de campo onde anualmente foram anotadas as quantidades de cafés colhidos. As anotações foram feitas a partir da quantidade de latas (um compartimento de metal reutilizado que possui a função inicial de armazenamento de tinta, possuindo capacidade para 18 litros).

Posteriormente, essas quantidades foram calculadas e transformadas para o volume necessário para completar uma saca de café já beneficiado (processo de descascamento dos grãos após a secagem dos frutos), cada saca completa possui um peso total de 60kg. Dessa forma, a cada 25 latas de cafés maduros colhidos se possuirá uma saca de café beneficiado (maneira como os dados foram apresentados nos resultados).

3.2 ANÁLISE DE DADOS

3.2.1 Tamanho dos Estômatos (TE)

Procedeu-se de forma similar para mensuração dos estômatos (fórmula descrita abaixo), considerando que um aumento de 400x (ocular de 10x objetiva de 40x) ocupa uma área de 350 μ m (micrômetros), e que esse valor dividido pelo número de estômatos que cabem num diâmetro de 350 μ m (micrômetros), representa o tamanho aproximado do estômato em micrômetros (μ m). É válido ressaltar que os dados foram interpretados a partir da consideração de 1mm² da área da folha do vegetal (Santos; Castro, 2024).

Tamanho dos Estômatos (μ m):

$$TE = \frac{350\mu m}{N^{\circ} \text{ est.}}$$

3.2.2 Densidade Estomática (DE)

A densidade estomática é definida pela contagem da quantidade de estômatos existentes na área de um milímetro da folha. Para o cálculo, primeiramente foi necessário determinar a média de estômatos dos cinco campos por lâmina. Para contagem dos estômatos foi capturada uma imagem do campo de visão do microscópio (aumento de 400x), essa foto foi transferida para o story do Instagram, após isso, utilizando a função “desenhar” e opção “pincel”, para sinalizar onde se identificava cada estômato (Santos; Castro, 2024). Esse método tornou possível a contagem exata de estômatos existentes naquele campo de visão, tornando perceptível os estômatos que já haviam sido contados, restando apenas os demais, até que finalize a contagem.

Como área para contagem foi considerada que uma ampliação de 400x representa uma área de 0,39mm², o que possibilitou estimar a densidade estomática por meio de uma regra de três, tendo em vista estabelecer o número de estômatos por mm² (Santos; Castro, 2024). Como segue descrito na fórmula abaixo.

Densidade Estomática (est./mm²):

$$DE = \frac{\text{Média est.}}{0,39\text{mm}^2}$$

3.2.3 Índice Estomático (IE)

O Índice Estomático é a proporção de estômatos em relação ao total de células epidérmicas. Calculado pela seguinte expressão proposta por Salisbury (1927) apud Vichiato *et al.* (2006):

Índice Estomático (%):

$$IE = \frac{S}{E + S} \times 100$$

Na fórmula acima, IE representa o valor do índice estomático, S o número de estômatos por unidade de área da folha e E o número de células epidérmicas na mesma área, multiplicado por 100. Com isso, obtêm-se a proporção IE em porcentagem.

3.2.4 Frequência Estomática (FE)

A frequência estomática é a medida que indica a quantidade de estômatos (UE) em relação a quantidade de Células Epidérmicas (CE) por milímetro quadrado de folha, multiplicado por 100. É uma porcentagem calculada pela divisão do número estômatos pela quantidade das demais células, a fórmula utilizada segue descrita abaixo.

Frequência Estomática (%):

$$FE = \left[\frac{UE}{CE} \right] \times 100$$

3.2.5 Estômatos Fechados (EF) e Estômatos Abertos (EA)

Para mensurar foi realizada a contagem da quantidade de estômatos abertos e fechados existentes na área de 350µm (micrômetros) folha. Para contagem dos estômatos foi capturada uma imagem do campo de visão do microscópio (aumento de 400x), essa foto foi transferida para o story do Instagram, após isso, utilizando a função “desenhar” e opção “pincel”, para sinalizar onde se identificava cada estômato (Santos; Castro, 2024).

Como área para contagem foi considerada que uma ampliação de 400x representa uma área de 0,39mm², foi possível estimar as quantidades de estômatos presentes em 1mm² por meio de uma regra de três, tendo em vista estabelecer o número de estômatos abertos e fechados por mm² (Santos; Castro, 2024). Como segue descrito na fórmula abaixo.

Estômatos Fechados (est./mm²):

$$EF = \frac{\text{Quantidade de estômatos fechados}}{0,39\text{mm}^2}$$

Estômatos Abertos (est./mm²):

$$EA = \frac{\text{Quantidade de Estômatos Abertos}}{0,39\text{mm}^2}$$

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISE

O método quantitativo considerou técnicas estatísticas e o uso de recursos da área de exatas para classificar e analisar os dados coletados, enquanto o qualitativo considerando o contexto natural em que os indivíduos estão inseridos como fonte direta para o levantamento de dados (Reis; Reis, 2002; Prodanov, 2013).

Utilizou-se Microsoft Excel para tratamento e Word para elaboração de tabelas para apresentação dos dados quantitativos e qualitativos. Os dados obtidos em campo e laboratório foram classificados conforme os IEs, sendo interpretados à luz do método comparativo descritivo (Santos e Castro, 2024) e do aplicativo Sisvar mediante Análises de Variância (ANAVA) que fornece o embasamento teórico para que as médias dos tratamentos sejam comparadas dentro de uma margem de erro aceitável, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade ao erro (Caixeta *et al.*, 2024). Com essas últimas análises, buscou-se entender a significância dos IEs para os tratamentos estabelecidos nesta pesquisa, como possibilidade de ampliar o seu nível descritivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das Análises de Variância pelo teste Tukey, foram identificadas diferenças significativas a 5% de probabilidade em relação aos parâmetros microclimáticos: TA; TS; URA e TF. Em relação aos dados estomáticos, foram identificadas diferenças significativas a 5% de probabilidade nos seguintes parâmetros: DE; FE; IE e EA. O que pode indicar a potencialidade da implantação de SAF nessa região pelo melhor conforto térmico que garantem às cultivares, isso pode ainda estabelecer uma qualidade ambiental a partir do uso de espécies nativas para recuperação de ambientes produtivos degradados. Contudo, em relação aos parâmetros EF e TE não foram identificadas diferenças significativas a 5% de probabilidade (Tabela 6), o que aponta uma baixa adaptabilidade da espécie *C. arabica* em relação a esses parâmetros ao ambiente xérico (Área 2).

Tabela 6. Análise de variância para TA; TS; URA; TF; TE; DE; FE; IE; EA e EF nos sistemas de cultivo analisados: SAF (Área 1) e Sol Pleno (Área 2).

ANAVA		
Parâmetros	Pr>Fc	CV (%)
Temperatura do Ambiente (TA)	0.0007	11.06
Temperatura do Solo (TS)	0.0000	16.13
Umidade Relativa do Ar (URA)	0.0027	20.67
Temperatura da Folha (TF)	0.0000	9.88
Tamanho dos Estômatos (TE)	0.7750 ^{ns}	12.17
Densidade Estomática (DE)	0.0003	24.34
Frequência Estomática (FE)	0.0022	20.75
Índice Estomático (IE)	0.0016	16.34
Estômatos Abertos (EA)	0.0430	72.78
Estômatos Fechados (EF)	0.0960 ^{ns}	36.54

Nota: ^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

4.1. DADOS MICROCLIMÁTICOS

Compreender a potencialidade dos Sistemas Agroflorestais (SAF) para a manutenção e sustentabilidade da produção agrícola na região semiárida é primordial frente ao atual cenário de mudanças/emergência climática, principalmente ao observar as projeções futuras. Nesse sentido, defende-se que a indicação ambiental da espécie *S. spectabilis* pelo viés dos processos biológicos simbióticos com a espécie *C. arábica*, contribua com a formação de protocolos para a recuperação de ambientes produtivos degradados.

Pereira e Silva (2024) aponta que as práticas regenerativas vão além de basicamente produzir alimentos, esses manejos são capazes de restaurar ecossistemas agrícolas desgastados, contribuindo com a vitalidade do solo e a diversidade biológica ali presente (Fig. 23). Esta proposta promove sistemas autossustentáveis por meio de uma interação harmoniosa entre a agricultura, a natureza e agricultores, destacando-se como um modelo para o futuro da produção sustentável em regiões desafiadoras, a exemplo da região Semiárida.



Figura 23: Espécie *S. spectabilis* no SAF e outros vegetais nativos em consórcio com *C. arabica*.
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Neste contexto, os biomas Caatinga e Cerrado dispõem de vegetação específica de regiões semiáridas, espécies fundamentais para o equilíbrio ecossistêmico local, dentre elas a espécie *S. spectabilis*, da família Fabaceae, conhecida popularmente nas regiões da Chapada Diamantina e Depressão Sertaneja Meridional na Bahia como São João. Esta espécie, dentre outras nativas, apresenta estruturas morfológicas que podem expressar um maior potencial e resistência para a recuperação de ambientes produtivos e/ou áreas degradadas (Santos; Castro, 2024).

Esta análise é factível a partir de uma compreensão da relação entre os estômatos de vegetais nativos destes biomas e processos biológicos como transpiração, respiração, fotossíntese e a qualidade ambiental de áreas analisadas. Nesse sentido, ao se tratar de ambientes agroflorestais em consórcio com vegetais nativos foi possível relacionar diferentes aspectos morfológicos e anatômicos que por meio de uma plasticidade adquirida possibilita resiliência a ambientes produtivos degradados a qual pode ser evidenciada pelos IEs. Esses se apresentam como alternativa para se compreender o papel biológico das espécies no ecossistema. Portanto, vegetais nativos do semiárido, principalmente do bioma Caatinga possuem adaptações importantes na estrutura anatômica e, conseqüentemente, fisiológica para enfrentamento das condições de estresse hídrico e controle da fotorrespiração pela alta

incidência luminosa. Estes são mecanismos importantes para a manutenção do desenvolvimento dessas plantas (Santos; Castro, 2024; Barros; Soares, 2013).

Espécies nativas, a exemplo do São João, são importantes elementos de restauração e de recomposição da paisagem, sendo, portanto, indicadas para cobertura de áreas sem vegetação, sendo indicada à recomposição de áreas degradadas, portanto, há uma indicação ambiental desses vegetais para o semiárido, bem como ambientes produtivos degradados pelo uso intensivo do solo. Neste sentido, espécies nativas, além de garantirem a preservação do banco genético autóctone, tornam o ambiente mais próximo do originalmente existente e mais equilibrado ecologicamente. Estes vegetais contribuem para tornar os sistemas agroflorestais similares aos ecossistemas naturais em estrutura e diversidade, se apresentando como uma alternativa de melhor convivência com adversidades próprias do Semiárido (Kageyama *et al.*, 1992; Amador, 2003; Gris; Temponi; Marcon, 2012; Drumond; Moraes; Ribaski, 2013).

Altieri (2012) amplia a ênfase anunciada ao afirmar que:

Devido às suas formas e hábitos de crescimento, as árvores influenciam outros componentes do sistema agrícola. Sua ampla copa afeta a radiação solar, a precipitação e o movimento do ar, enquanto seu extenso sistema radicular preenche grandes volumes de solo. A absorção de água e nutrientes e a redistribuição destes nutrientes com a queda das folhas, assim como o movimento de rompimento do solo. As árvores podem melhorar a produtividade de um determinado agroecossistema, influenciando as características do solo, no microclima, na hidrologia e em outros componentes biológicos associados às raízes e às possíveis associações das raízes com bactérias e/ou fungos (Altieri, 2012. p. 284).

Assim, a seleção do São João para inserção em áreas degradadas permite estabilização e recomposição vegetativa da área, efetivamente, em função de criar condições para instalação de espécies pioneiras. Isso pode ser alcançado porque esse vegetal aumenta a resistência do solo através de suas raízes, ao reduzir erosão – transporte de sedimentos pelo escoamento superficial – pela interceptação da água da chuva; aumento da taxa e o tempo de infiltração da água; conservação da porosidade e permeabilidade (Pereira, 2008; Carvalho, P., 2016).

Além disso, sistemas de uso do solo baseados em espécies perenes podem aumentar a resiliência dos ecossistemas, sendo mais adequado para enfrentar futuras mudanças climáticas (Pereira, 2023). No que diz respeito ao parâmetro Temperatura do Ambiente (TA), houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade no teste Tukey (Tabela 7) entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 24).

Tabela 7. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TA nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	137.285714	137.285714	14.989	0.0007
erro	26	238.136429	9.159093		
Total corrigido	27	375.422143			
CV (%) =					11.06
Média geral:					27.3714286
Número de observações:					28

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

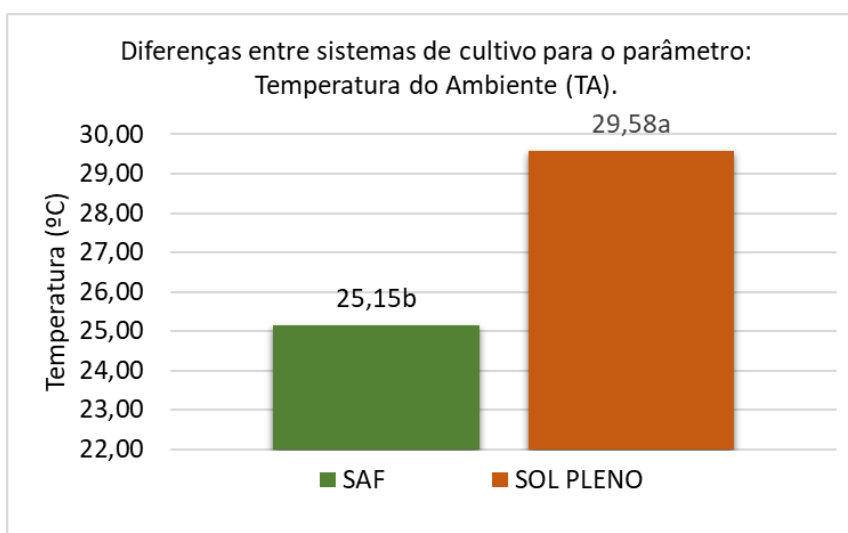


Figura 24: TA: SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir dos dados coletados, foram detectadas no ambiente agroflorestal (Área 1) temperatura mínima de 20.65°C e máximas de 28.3°C. No ambiente a sol pleno (Área 2), temperatura mínima de 25.65°C e máxima de 37.75°C (Fig. 25A, B); nas coletas realizadas em cada área ao longo do ano. A partir dos dados estatísticos

obtidos, demonstrados na figura acima, foi possível identificar uma variância significativa entre os tratamentos. Estes dados são fundamentais para entender a dinâmica de adaptação microclimática dos ambientes, bem como o conforto térmico que os ambientes agroflorestais (Área 1) proporcionam às cultivares.

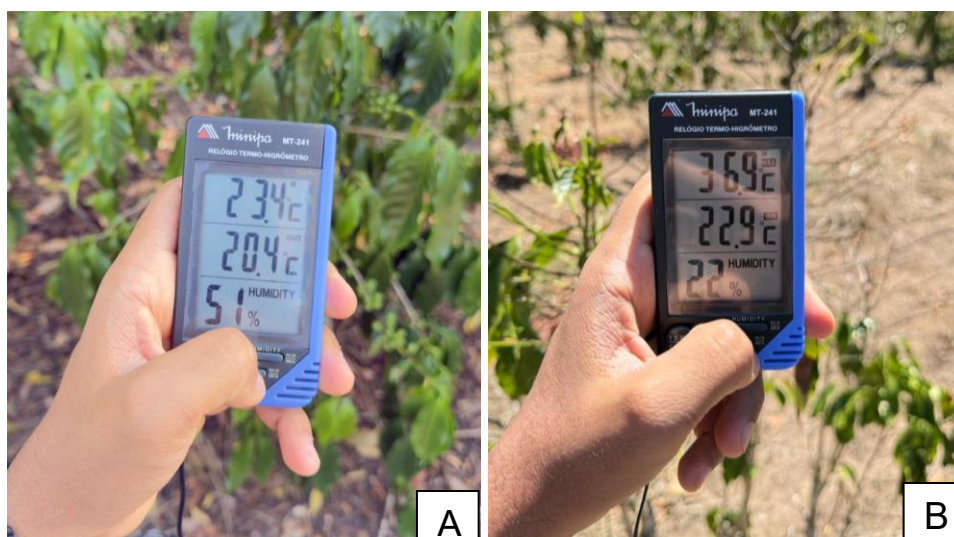


Figura 25: (A) TA e URA em ambiente Agroflorestal (Área 1). (B) TA e URA em ambiente a sol pleno (Área 2).

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir dessa análise, é possível realizar direcionamentos em relação às adequações microclimáticas que os vegetais nativos proporcionam no ambiente agroflorestal. Isso porque a espécie *C. arabica* é uma planta originalmente umbrófila, ocorre espontaneamente na vegetação de sub-bosque (Araújo, 2014) em regiões tropicais e de altitude, adaptada a clima úmido, onde os cafeeiros se localizam em sua forma silvestre na faixa de altitude entre 1000 e 2000 metros e onde as temperaturas médias anuais variam de 16,5°C a 22,5°C e as precipitações entre 1200 a 2000mm (Mores, 2017; Agnoletti, 2015).

Padovan *et al.* (2016) afirmam que as árvores presentes nos sistemas agrícolas amenizam as condições climáticas no ambiente, pois contribuem para regular a temperatura do ar, proporcionando maior estabilidade durante o dia, reduzindo os extremos climáticos, o que torna o espaço mais favorável à vida. Em relação à amplitude térmica dos dois ambientes, os autores asseguram que: “Os SAF reduzem a amplitude de variação da temperatura média do ar em relação a sistemas de cultivo em

pleno sol e atenua as temperaturas máximas, apresentando potencial para mitigar localmente os efeitos do aquecimento global” (p. 6).

Nesse sentido, o SAF analisado lança mão de práticas do uso sustentável da vegetação nativa do bioma, estratégia muito eficiente para conciliar produção de alimentos e a proteção do ecossistema, aperfeiçoando o uso da terra com tecnologias em que plantas lenhosas perenes são cultivadas em associação com plantas herbáceas (culturas agrícolas) em uma mesma unidade de manejo, de acordo com um arranjo espacial e temporal nos quais ocorrem interações ecológicas e econômicas entre os componentes no sistema (Silva, 2020). Amador (2003) ainda acrescenta que o processo de inserção de arbóreas no sistema possibilita o acúmulo e conservação de nutrientes na biomassa presente na parte aérea, o que impede a perda dos mesmos pelo processo de lixiviação.

Arelado a isso, no que diz respeito ao parâmetro Temperatura do Solo (TS), houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade no Teste Tukey (Tabela 8) entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 26).

Tabela 8. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TS nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	4567.062857	4567.062857	142.738	0.0000
erro	26	831.901429	31.996209		
Total corrigido	27	5398.964286			
CV (%) =					16.13
Média geral:				35.0642857	
Número de observações:					28

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

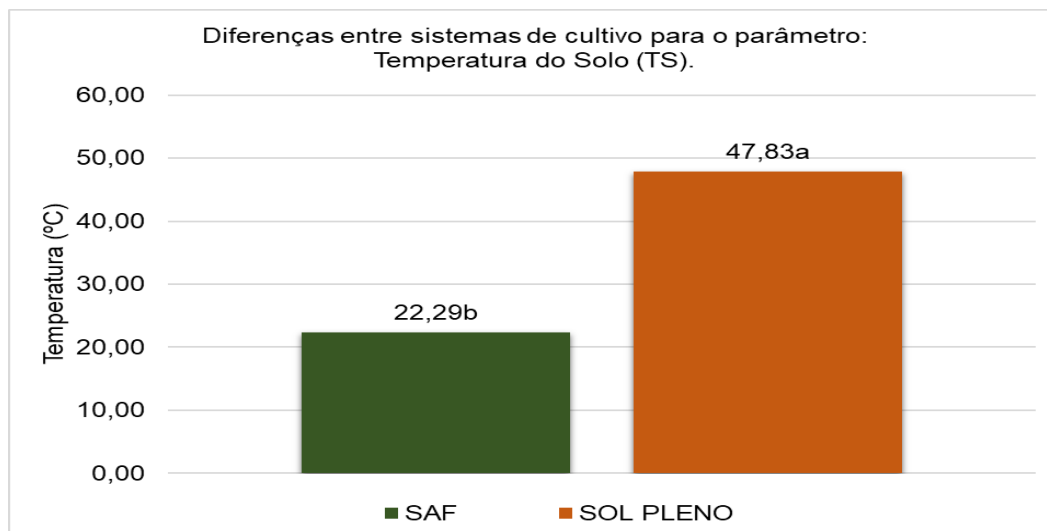


Figura 26: TS nos ambientes: SAF (Área 1) e sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir das coletas de dados referentes a temperatura do solo, no SAF (Área 1) foram registradas temperatura mínima de 15.6°C e máxima de 26.8°C; no ambiente a sol pleno (Área 2) temperatura mínima de 35.9°C e máxima de 56.2°C (Fig. 27A, B). Esses extremos de temperatura do solo identificado na Área 2 possui impacto direto nas interações entre os processos microbiológicos do solo, podendo levar ao desequilíbrio ecossistêmico, afetando o fornecimento e absorção de nutrientes e reduzindo a capacidade de suporte para o desenvolvimento pleno dos vegetais (Cordovil *et al.*, 2024).

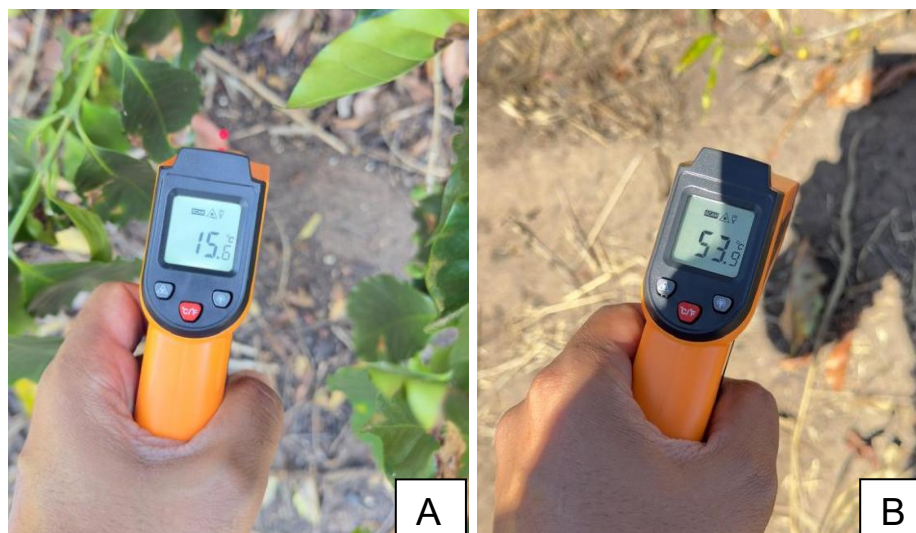


Figura 27: (A) TS no SAF (Área 1). (B) TS, ambiente a sol pleno (Área 2).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Isso pode evidenciar melhores condições hídricas do solo Área 1, o que exerce a função de controle térmico na, podendo ocasionar um aumento produtivo para os cultivares. Nesse sentido, a baixa umidade no solo conseqüentemente diminui o teor de água nos tecidos vegetais podendo afetar a condutividade estomática, a qual infringe no fechamento dos estômatos. Estes dados sinalizam a importância da lavoura agroflorestal para o sistema de sequeiro pela manutenção de características desses ambientes mais próximas do meio natural, seja nas condições físicas, químicas e biológicas. Além disso, o uso de vegetais nativos é sugerido como base para sucessão de espécies com permitem resiliência moderada a biota local (Carvalho, P., 2016; Almeida *et al.*, 2020).

Atrelado a esses fatores, as altas temperaturas do solo, ocasionadas pela alta irradiação afetam a qualidade do solo pois degrada e limita a existência da microbiota ali presente. Esta, atua na manutenção da vitalidade edáfica e garante a sustentabilidade contínua das interações simbióticas existentes, assegurando a resiliência dos sistemas agrícolas e a produção de alimentos (Cordovil *et al.*, 2024).

Padovan *et al.* (2016), em relação às funções da microbiota do solo, esclarecem:

Organismos húmívoros, detritívoros, geófagos, rizófagos, xilófagos, predadores e parasitas exercem uma diversidade de papéis no ambiente, sendo responsáveis por processos de decomposição de resíduos orgânicos e humificação; mineralização, imobilização e mobilização de nutrientes; fixação de nitrogênio atmosférico; estruturação do solo e regulação de pragas e doenças (autorregulação), entre outros, beneficiando os agroecossistemas como um todo (p. 5).

Portanto, a finalidade da cobertura vegetal do solo é atuar como uma camada protetora que preserva áreas expostas, minimiza o impacto da chuva, a velocidade do escoamento superficial e reduz a desagregação das partículas do solo. Ressalva-se que este processo estabiliza processos erosivos, garantindo a estabilidade das estruturas. Além dos efeitos positivos postos, o sistema radicular da vegetação, seja ela

herbácea, arbustiva ou arbórea, rompe a estrutura compacta e densa do solo, atuando como um mecanismo de regeneração, através da morte e surgimento de novas raízes, promovendo a adubação, o que evita a sua esterilidade. Este ciclo fornece ao solo boa quantidade de nutrientes que alimentam as raízes novas, aumentando a fertilidade do solo (Carvalho, P., 2016).

Estes processos conservacionistas possibilitam a criação, próximo à estrutura e em volta das árvores de um microclima com temperatura e umidade específicas que promovem a ativação e o aumento da atividade microbiana que mineraliza a matéria orgânica no solo. Ainda possibilitam o acesso pelas raízes das reservas de nutrientes nas camadas profundas do solo, inclusive na rocha matriz, e uma posterior deposição dos mesmos na superfície como matéria orgânica.

A ação dos microrganismos no solo, a exemplo de bactérias e fungos, possibilitam funções como a fixação de nitrogênio e o aumento da disponibilidade de nutrientes a partir da mineralização dos compostos orgânicos, além da geração de húmus, garantindo o aumento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC), o que diminui a lixiviação e proporciona o transporte e o fornecimento regular de nutrientes para as cultivares por meio da ciclagem. Além disso, oportunizam uma moderação das reações de potencial de Hidrogênio (pH), tornando disponíveis nutrientes essenciais. Estes processos expressam o equilíbrio dos serviços ecológicos do solo pelo equilíbrio trófico complexo que pode promover saúde às plantas (Drumond; Morgado, 2004; Altieri, 2012; Cordovil *et al.*, 2024).

A partir dessas percepções, os SAF são sistemas que se beneficiam dos mecanismos fisiológicos de espécies nativas como possibilidade de uma resistência das cultivares às condições climáticas, pois controlam a incidência luminosa e garantem as condições para cultivo e sustentabilidade, mesmo em longos períodos de estresse climático. As árvores no sistema ainda amenizam as oscilações de temperatura ao criar um microclima específico pela redução das temperaturas extremas sob as copas, com consequente melhora nas taxas de umidade do ar devido a redução da evapotranspiração (Altieri, 2012; Padovan *et al.*, 2016). No que diz respeito ao parâmetro Umidade Relativa do Ar (URA), houve diferença significativa pelo Teste de

Tukey (Tabela 9) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 28).

Tabela 9. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro URA nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	920.008929	920.008929	10.987	0.0027
erro	26	2177.232143	83.739698		
Total corrigido	27	3097.241071			
CV (%) =					20.67
Média geral:					44.2678571
Número de observações:					28

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

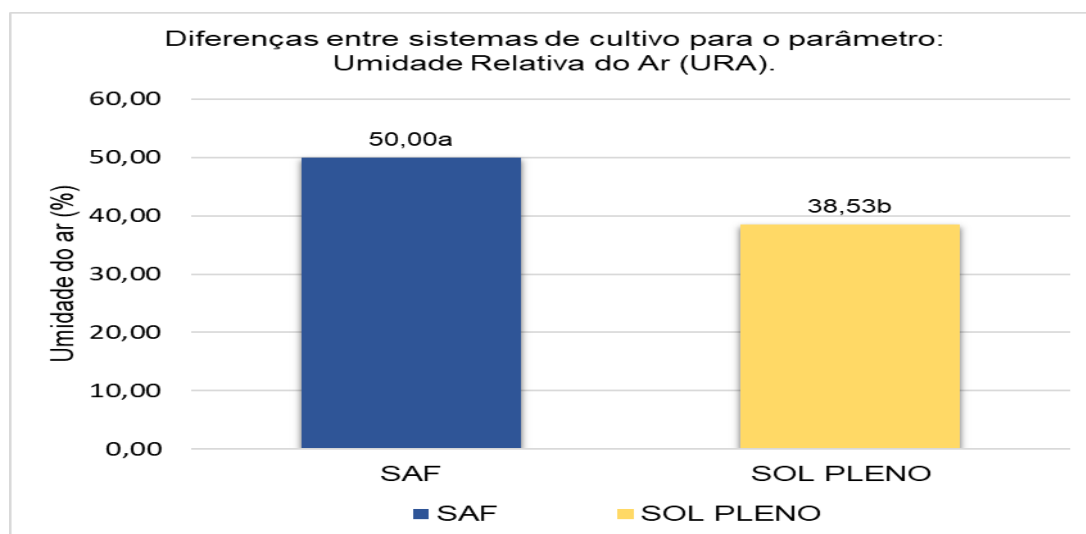


Figura 28: URA nos ambientes Agroflorestal (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Nas análises, foram detectadas no SAF (Área 1) umidade relativa do ar mínima de 41% e máxima de 58%. No ambiente a sol pleno (Área 2) umidade mínima de 22% e máxima de 58% nas 14 coletas realizadas ao longo do ano (Fig. 29A, B). A partir dos dados estatísticos obtidos foi possível identificar uma variância significativa entre os tratamentos, sendo esta fundamental para entender como as cultivares podem resistir ou apresentar melhor conforto hídrico diante da umidade do ar dos ambientes.

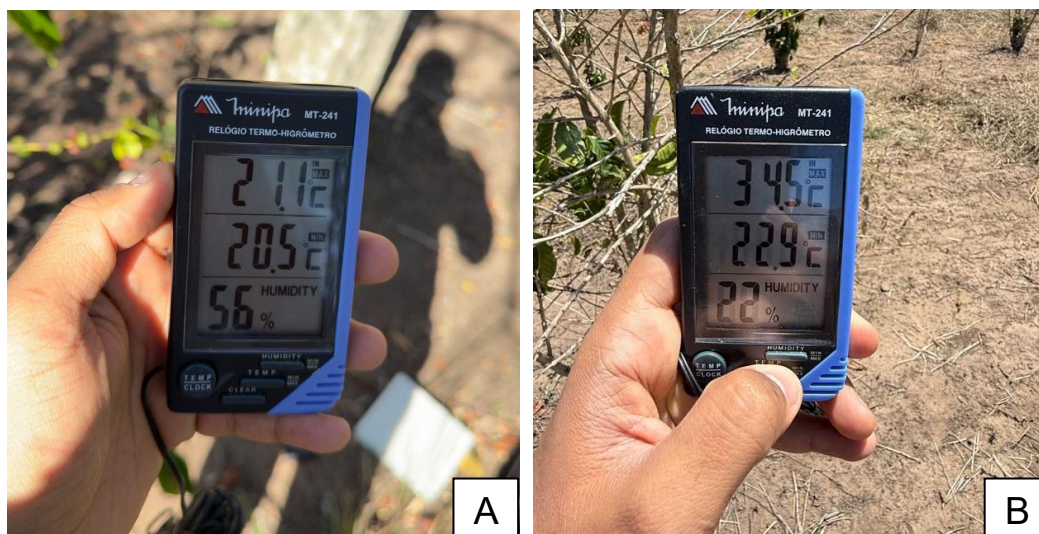


Figura 29: (A) URA no SAF (Área 1) e (B) URA no sol pleno (Área 2).

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir das análises dos dados obtidos referentes a umidade nos ambientes é possível observar as importantes adaptações microclimáticas estabelecidas pelas espécies nativas para o cultivo da espécie *C. arabica*, a exemplo da redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, observados na Área 2. Argumenta-se que a região da Chapada Diamantina, apesar de apresentar variações de altitude entre 1000 a 2000 metros e condições climáticas mais favoráveis ao cultivo do café se comparado com o restante do estado, atualmente as temperaturas têm atingido extremos acima daqueles em que o vegetal originalmente se encontra adaptado, ou seja, clima úmido e temperatura média anual de 6,5°C a 22,5°C (Araújo, 2014; Agnoletti, 2015; Mores, 2017).

Nesse sentido, o *C. arabica* possui bom desenvolvimento e tolerância a temperaturas entre 18°C e 21°C, a umidade relativa indicada está entre 70% e 80%; adaptada à sombra leve a moderada de 22% a 50% e índice pluviométrico anual entre 1.200mm e 1.800mm (Araújo, 2014). No inverno, o ideal é que sofra pequeno déficit hídrico, principalmente em agosto/setembro, contudo com temperaturas na faixa de 16°C a 18°C (Batista, 2010).

4.2 ANÁLISE FOLIAR E ANATÔMICA ESTOMÁTICA DO CAFEIEIRO

As condições climáticas do ambiente em que o vegetal está inserido podem ocasionar variações nas características estomáticas (morfológicas e fisiológicas), principalmente em função da localização do vegetal e altitude, o que exerce influências na incidência de temperatura, índice de luminosidade e umidade. Assim, o fechamento estomático (fisiologia), em decorrência de tais fatores, favorece a economia hídrica do vegetal em período diurno, em que há um aumento na temperatura, luminosidade e minimização da umidade, como forma de evitar o estresse hídrico (Santos; Castro, 2024).

Barros e Soares (2013) assinalam que excesso de radiação solar pode ter efeitos degradantes sobre as plantas, induzido por aquecimento das folhas, resultante da exposição a níveis altos de luz que danificam o sistema fotossintético. Isto ocorre porque a falta de água causa perda de turgor nas células-guarda, o fechamento dos estômatos e, por sua vez, diminui o dióxido de carbono disponível limitando a fotossíntese e aumentando o estresse oxidativo. Estes dados evidenciam os possíveis danos pelas temperaturas de folhas do *C. arabica* em ambientes produtivos da região semiárida. No que diz respeito ao parâmetro Temperatura da Folha (TF), houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 10) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 30).

Tabela 10. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TF nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	135.056250	135.056250	23.000	0.0000
erro	38	223.137500	5.872039		
Total corrigido	39	358.193750			
CV (%) =					9.88
Média geral:				24.5375000	
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

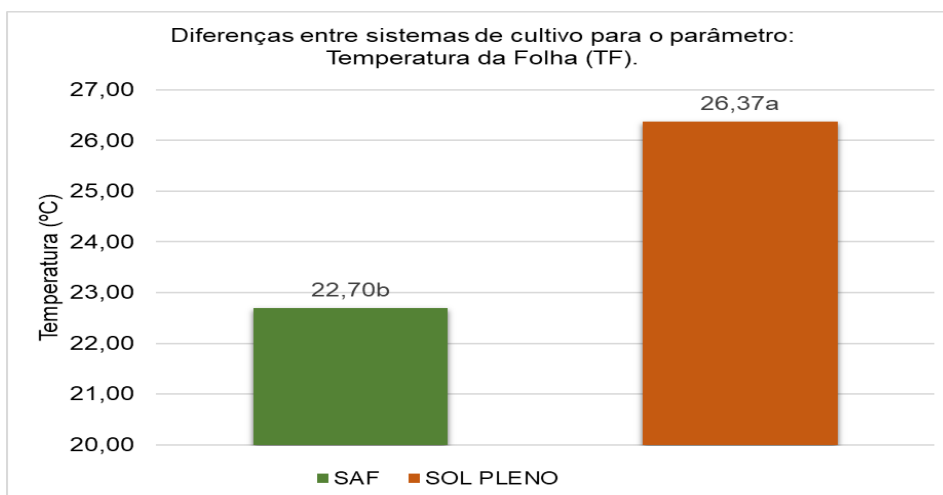


Figura 30: TF de *Coffea arabica* nos ambientes: SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

É notória uma diferença entre os resultados referentes a temperatura das folhas de *C. arabica* nas duas áreas de estudo. Observa-se que a variação de temperatura mínima e máxima (16.8°C - 26°C) no SAF (Área 1) minimiza os efeitos da fotorrespiração, enquanto no sistema a sol pleno (Área 2) a diferença nos extremos de temperatura (23.2°C - 31.5°C) pode trazer efeitos deletérios para as folhas de cultivares da mesma espécie (Fig. 31A, B). Além disso, o aumento da temperatura pode afetar o comportamento estomático e conseqüentemente a taxa fotossintética, podendo ocasionar inibição gradual da fotossíntese, podendo chegar a 33% em folhas com temperatura de 40°C (Almeida *et al.*, 2020).

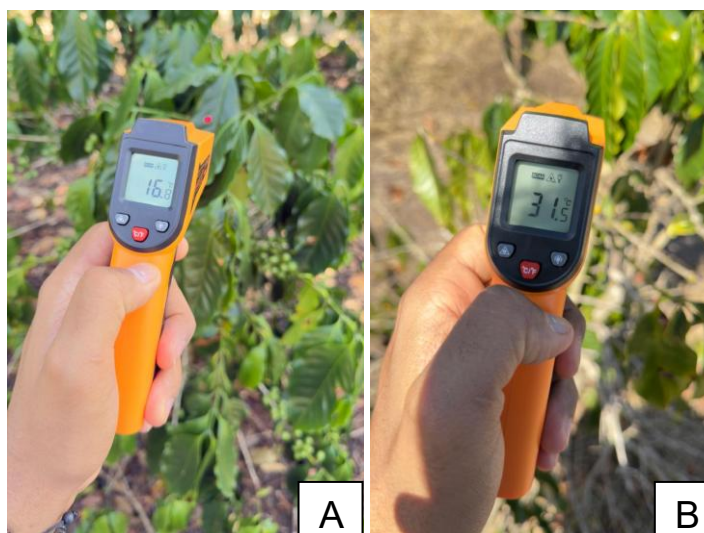


Figura 31: (A) TF em SAF (Área 1). (B) TF a sol pleno (Área 2).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Padovan *et al.* (2016) indicam que tais mecanismos exercem um maior controle da perda de água, por exemplo, retardando a fotoinibição, o que favorece a resistência e resiliência do cultivo. A fotoinibição é um fator que pode ser dinâmico ou crônico, dependendo do tempo que uma planta leva para se recuperar do estresse. Na fotoinibição dinâmica, a planta se recupera do estresse radiativo à tarde quando a irradiância diminui ou durante a noite. Já na fotoinibição crônica, a planta leva mais de 12 horas para se recuperar em condições de baixa luminosidade ou no escuro (Marenco *et al.*, 2007).

Ainda no que tange à fotoinibição, a espécie *C. arabica* possui mecanismos que retardam o processo, similares à muitas espécies nativas que apresentam características fisiológicas de sobrevivência dentro das condições do semiárido, como resistir aos longos períodos de estiagem e possuir raízes profundas para buscar umidade nas camadas mais profundas do solo, são algumas das características que tornam essas plantas mais adaptadas a uma situação de baixa umidade e temperatura elevada. A lâmina foliar da cultivar ainda possui uma ou mais camadas de células externas que constituem a epiderme, especializada na absorção de luz. A epiderme é revestida por uma camada de cutícula (cutina, ceras e pectinas) que reduz a perda espontânea de água e protege contra danos mecânicos (Batista, 2010; Silva, 2020).

A fotoinibição é um complexo conjunto de processos moleculares que promovem a inibição de fotossíntese a partir da exposição excessiva de luz. Esse é um estado de estresse fisiológico que ocorre em todos os organismos fotossintetizadores, a qual, inicialmente foi definida como o efeito da debilitação da capacidade fotossintética de organismos verdes pela alta intensidade de luz visível. Uma definição mais recente considera a fotoinibição como a redução lentamente reversível da fotossíntese que pode levar a redução da fotossíntese máxima, se a exposição à luz for prolongada (Marenco *et al.*, 2007).

Assad *et al.* (2004) ponderam que o aumento da incidência luminosa é até certo ponto diretamente proporcional à atividade fotossintética fator associado à tolerância das plantas ao calor. Contudo, segundo Araújo e Deminicis (2009), a exposição

prolongada de cultivares ao excesso de luz pode resultar na fotodestruição dos pigmentos fotossintéticos, uma vez que a descoloração (branqueamento) desses é dependente do oxigênio e da luz. Este fenômeno é normalmente denominado de fotooxidação, podendo levar à morte da célula ou do organismo. Na grande maioria dos casos, a fotooxidação é um fenômeno secundário, ocorrendo após uma fase distinta lenta, durante a qual há um declínio da fotossíntese dependente da intensidade da luz (fator abiótico) e do tempo de exposição, no qual ocorre, devido à irradiância excessiva aliada à alta temperatura foliar, reduzindo assim a assimilação de dióxido de carbono – CO₂ (Almeida *et al.*, 2020).

Este aumento excessivo da luz acima da capacidade de utilização pela fotossíntese, como previsto pelo IPCC configura uma preocupação sobre os efeitos da fotoinibição nos cultivares de café em sol pleno (Área 2). Desse modo, existem evidências que o excesso de luz pode afetar inclusive o crescimento vegetal e levar à redução da produtividade (Araújo; Deminics, 2009).

Campos *et al.* (2019) apontam que fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar do cafeeiro. De maneira geral, as espécies de café caracterizam-se por apresentar grande amplitude de adaptação fenotípica à diferentes ambientes e as alterações anatômicas foliares podem representar importantes respostas plástica das plantas às condições ambientais, como as cultivares de café a sol pleno. Essas plantas podem demonstrar plasticidade como resposta às condições de alta irradiação. Nas análises estatísticas os ambientes analisados apresentaram as seguintes temperaturas médias: Área 1 (SAF) 22.7°C e Área 2 (Sol Pleno) 26.37°C (Fig. 27). Desse modo, propriedades anatômicas e fisiológicas dos estômatos podem expressar IEs - TA; TS; URA; TF; TE; DE; IE; FE; EA e EF - fundamentais para se compreender sobre o desenvolvimento das cultivares de café em ambos ambientes experimentais (Júnior *et al.*, 2011; Batista, 2010; Sakiyama *et al.*, 2015; Gama *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o Indicador Ecológico TE trata-se de propriedades morfológicas/anatômicas e fisiológicas atuais que, decorreram milênios de anos para evoluírem, como mecanismos de resistência ou tolerância às adversidades climáticas. Contudo, em relação a espécie *C. arabica*, a análise estatística de variância (ANAVA) no teste Tukey (Tabela 11) não indicou diferenças significativas a 5% de probabilidade

entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 32) no que se refere a esse parâmetro. Esses dados podem indicar uma baixa adaptabilidade plástica da espécie em relação do tamanho dos estômatos frente às adversidades climáticas (Souza *et al.*, 2014).

Tabela 11. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro TE nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	0.451562	0.451562	0.083	0.7750
erro	38	207.131475	5.450828		
Total corrigido	39	207.583038			
CV (%) =					12.17
Média geral:					19.1812500
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

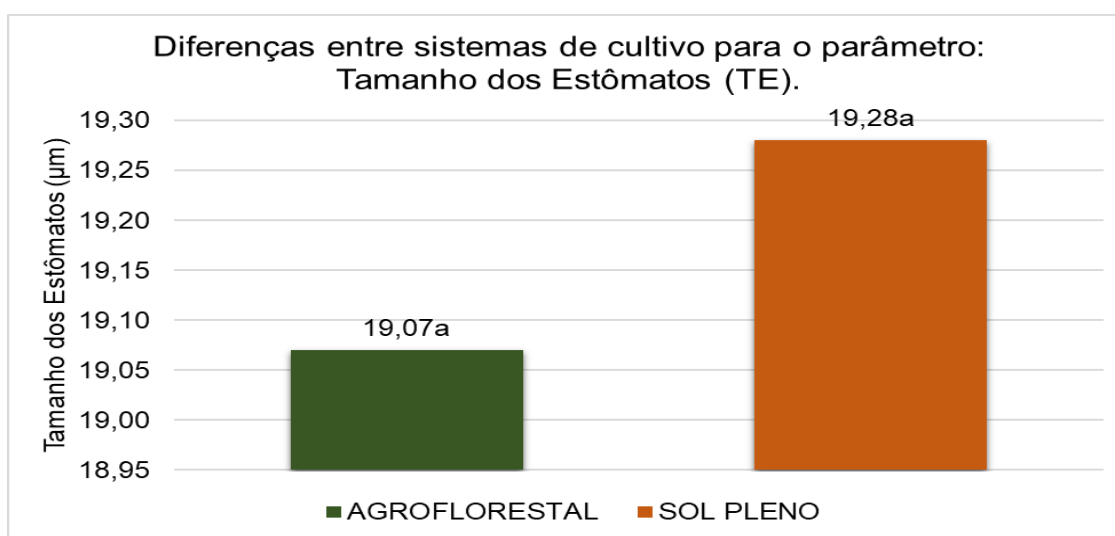


Figura 32: TE para espécie *C. arabica*, SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas pela mesma (a,a) letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em relação ao TE (micrômetros - µm) na Área 1 (SAF), obteve-se um mínimo de 14,94µm e máximo de 24,13µm, enquanto na Área 2 (ambiente produtivo a sol pleno), encontraram-se dimensões mínimas de 15,61µm e máxima de 25,51µm (Fig. 33A, B).

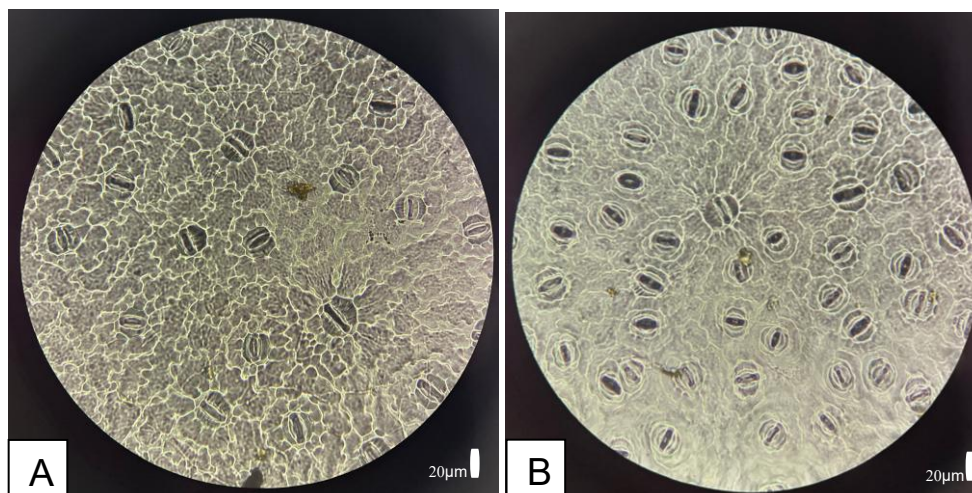


Figura 33: (A) Estômatos em lâmina com impressão coletada em ambiente Agroflorestal (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos em lâmina com impressão coletada em ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x. **Escala** Figs. 31A, B: 20µm.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Simultaneamente, para otimizar esses processos, o vegetal desenvolveu mecanismos que sinalizam para a abertura ou o fechamento dos estômatos em determinadas situações. O Indicador apontado anteriormente pode evidenciar influência em relação a outro indicador: a densidade estomática. Em relação ao parâmetro Densidade Estomática (DE), houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 12) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 33).

Tabela 12. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro DE nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	4476.186490	4476.186490	16.270	0.0003
erro	38	10454.387670	275.115465		
Total corrigido	39	14930.574160			
CV (%) =					24.34
Média geral:				68.1360000	
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

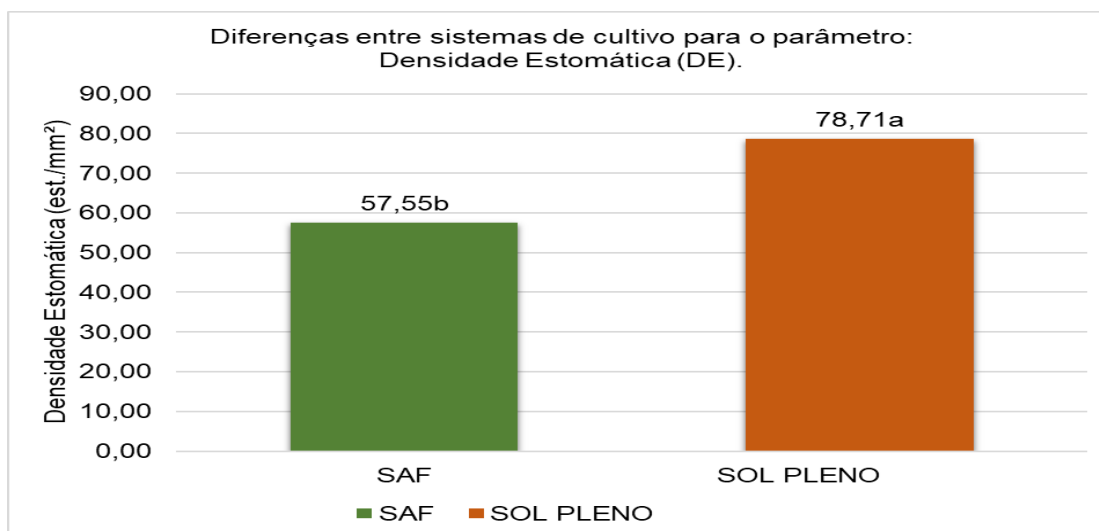


Figura 33: DE por mm² na face abaxial da folha nos ambientes: Agroflorestal (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Para o SAF (Área 1), a DE variou entre 41,47 estômatos/mm² e 92,30 estômatos/mm². Para o ambiente a sol pleno (Área 2), a DE variou entre 47,69 estômatos/mm² e 111,79 estômatos/mm² (Fig. 35A, B). Percebe-se uma variável significância na DE entre as áreas, o aumento desse indicador para Área 2 pode demonstrar adaptações do vegetal às condições de estresse pela alta incidência luminosa. As maiores DE são reflexos característicos de resistência do vegetal ao déficit hídrico, o que pode provocar alterações morfológicas como uma redução no tamanho das folhas, e dessa forma uma redução da área fotossintética que, conseqüentemente, minimiza o tamanho dos estômatos e aumenta densidade estomática (Vichiato *et al.*, 2006).

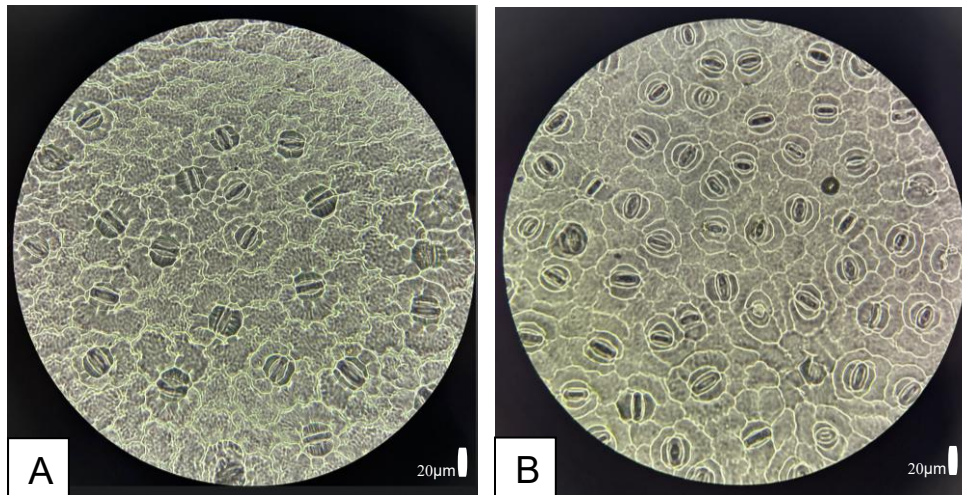


Figura 35: (A) Estômatos da espécie *C. arabica* (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos da espécie *C. arabica* em ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x. **Escalas Figs. 33A, B: 20µm.**
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Estas adaptações morfo anatômicas indicam aperfeiçoamento do vegetal às condições climáticas mais adversas ou severas na Área 2, principalmente em relação a temperatura alta, a umidade baixa durante o dia e o conseqüente estresse hídrico (Andrade; Pereira; Dornelas, 2002). Firmino-Jr. *et al.* (1998) afirmam que com o aumento da DE acontece um maior controle da perda de água pela transpiração do vegetal. Por outro lado, a menor DE encontrada na Área 1 pode indicar uma maior autonomia dos espaços de agrofloresta para o uso de seus recursos, pelo conforto térmico estabelecido.

A DE pode variar em número por unidade de área, e, ainda, variar sob a influência de características ambientais, como disponibilidade de água, radiação incidente, temperatura e ventos, sendo um indicador anatômico das diferentes respostas da planta a estímulos ambientais. Desse modo, a natureza séssil das plantas exige que elas se adaptem constantemente as variações em seu ambiente, e estômatos são vitais para essa função (Batista, 2010; Gama *et al.*, 2016).

Frente as mudanças climáticas globais e que afetam biomas mais expostos ao estresse hídrico como a Caatinga e o Cerrado, os estômatos se apresentam como estruturas morfológicas sensíveis a tal fenômeno, as quais podem ser tomadas para compreender a funcionalidade do vegetal no ambiente por meio dos reflexos dos IEs para uma busca de medidas adequadas para melhorias de condições que sejam

favoráveis a uma melhor produtividade da cultivar. Nesse sentido, estudos apontam a relação direta dos fatores climáticos como alta luminosidade e umidade relativa do ar no aumento da DE e diminuição no TE (Firmino-Jr. *et al.*, 2007).

Estudos já realizados por César *et al.* (2008) indicam que um aumento da DE é proporcional ao aumento do IE para os cafeeiros a pleno sol em relação ao sombreado. A partir da comparação dos níveis de restrição luminosa para as áreas 1 e 2, observa-se que o aumento da incidência luminosa contribui proporcionalmente para ampliação no número de estômatos. No que se refere ao parâmetro Índice Estomático (IE), houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 13) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 36).

Tabela 13. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro IE nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	124.856223	124.856223	11.564	0.0016
erro	38	410.272475	10.796644		
Total corrigido	39	535.128698			
CV (%) =					16.34
Média geral:				20.1122500	
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

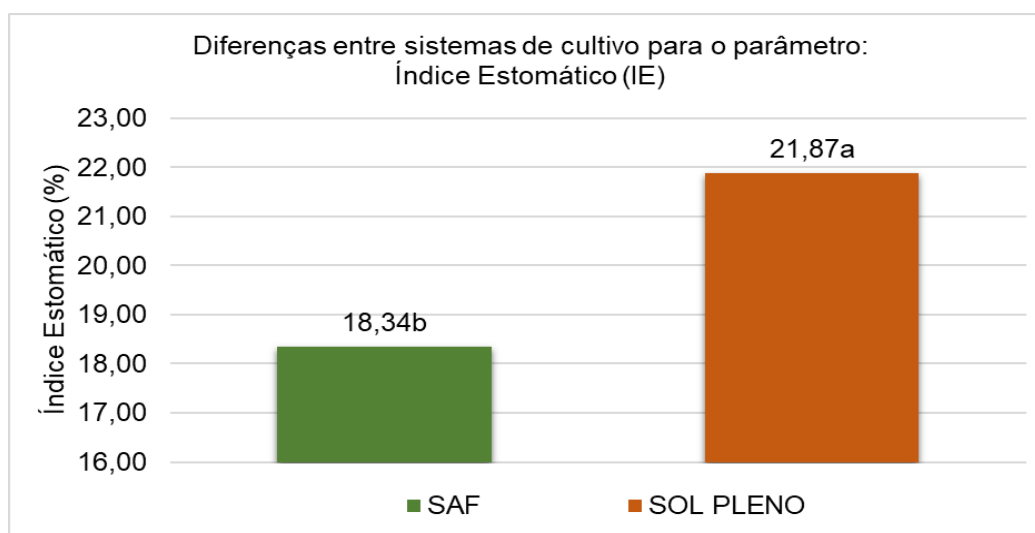


Figura 36: IE na face abaxial foliar da espécie *C. arábica* :SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em relação ao IE, nas amostras analisadas foi possível observar no SAF (Área 1) valores, mínimo de 11,62% e máximo de 23,63%. Em relação ao ambiente a sol pleno (Área 2) valores, mínimo de 16,12% e máximo de 28,42%. Nesse sentido, à medida que se aumentou o sombreamento, houve uma diminuição tanto do número células, quanto do quantitativo de estômatos, diminuindo o IE. Essas variações podem ser explicadas como adaptação das plantas sob condições adversas de irradiância, a exemplo da Área 2, que apresentou um maior IE, apontando características adaptativas das cultivares no ambiente a sol pleno (César *et al.*, 2008).

Sobre a relação entre luminosidade e a DE, Firmino Jr. *et al.* (2007) trazem dados relevantes da literatura:

As dimensões dos estômatos e a densidade estomática estão associadas com a capacidade de trocas gasosas. Os dados de literatura indicam redução nas dimensões dos estômatos sob alta luminosidade, entendida como uma adaptação protetora contra a desidratação. (p.2).

Para Área 2, a maior DE indica uma resiliência mais acentuada do *C. arabica* exige uma maior economia hídrica do vegetal em relação às cultivares do SAF (Área 1). Neste sentido, existe a possibilidade de indicação da introdução de vegetais com características morfológicas/anatômicas e fisiológicas presentes nos vegetais nativos em áreas com alta incidência luminosa e altas temperaturas para melhora microclimática do espaço e consequente recuperação deste ambiente.

Autores como Pereira, Krahn e Squalli (2018) acrescentam que como resposta evolutiva, os vegetais apresentam características como a posição dos estômatos, nas faces adaxial, abaxial ou em ambas. Contudo, a FE, em relação as células presentes nas folhas é uma resposta adaptativa pela plasticidade morfológica do vegetal. Ainda apontam que a temperatura das folhas, atrelada a FE garantem uma fácil análise das respostas do vegetal às condições de iluminação. Em relação ao parâmetro Frequência

Estomática (FE), houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 14) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 37).

Tabela 14. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro FE nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	298.771560	298.771560	10.766	0.0022
erro	38	1054.538230	27.751006		
Total corrigido	39	1353.309790			
CV (%) =					20.75
Média geral:					25.3905000
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

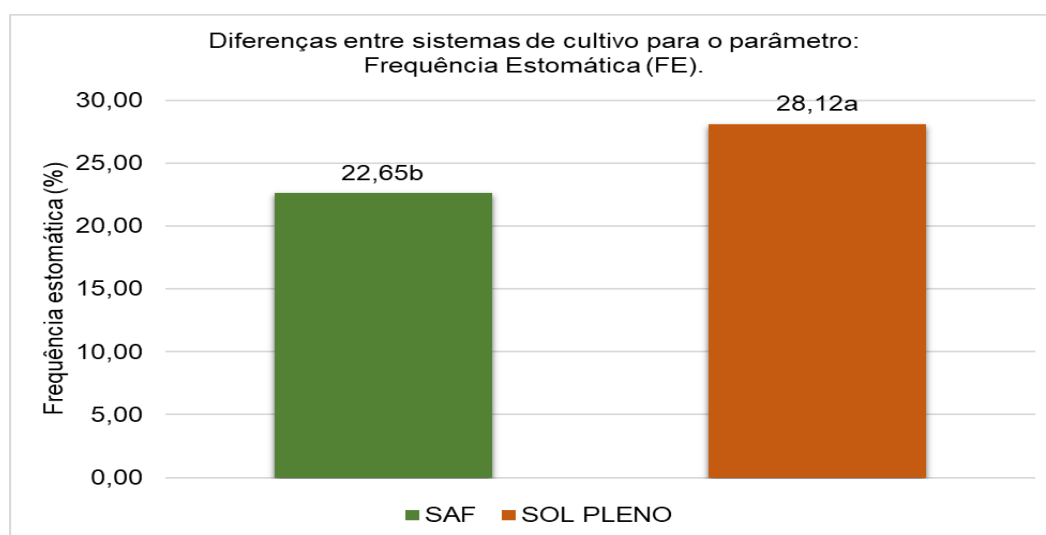


Figura 37: FE na face abaxial foliar da espécie *C. arabica* (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

O aumento na FE para o ambiente a sol pleno (19,23% < 39,97%) em relação ao SAF (13,15% < 30,95%) se apresenta como um mecanismo de adaptação a condições mais áridas, já que este IE está associado à minimização da condutância estomática, por meio da qual a planta limita a perda de água. Esse processo ocorre por meio do controle genético da variação na FE que possibilita a modificação da condutância da

folha como uma tentativa para controlar o estresse hídrico (Vichiato *et al.*, 2006). Nesse sentido, os demais IEs também devem funcionar de maneira proporcional.

Neste contexto, sugere-se a observação de espécies que surgem de modo espontâneo nos ambientes produtivos, por possuírem maior adaptação às condições climáticas adversas, especialmente no que se relaciona ao déficit hídrico e variação de temperatura e umidade. Isso favorece a integridade original do ecossistema, tornando o ambiente mais próximo do originalmente existente e mais equilibrado ecologicamente, devido à capacidade de adaptação de espécies nativas às condições climáticas naturais estabelecidas (Andrade; Pereira; Dornelas, 2002; Gris; Temponi; Marcon, 2012).

Entre as observações, vale ressaltar a presença de estômatos apenas na face abaxial, o que caracteriza a folha como hipoestomática com estômatos anomosícticos - envolvido por um número variável de células subsidiárias (Fig. 38). Nas plantas de ambientes xéricos (secos), os estômatos podem aparecer na face inferior da folha, como estratégia de reduzir a perda de água na forma de vapor, quando estes se abrem. Quanto a esses aspectos, em ambos os ambientes (área 1 e 2) foram identificados esses mecanismos de enfrentamento do estresse hídrico pela espécie (Apezzato- Da Gloria; Carmelo-Guerreiro, 2006).

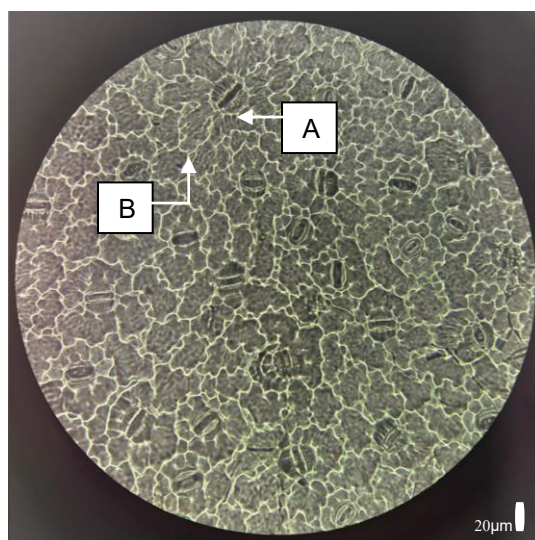


Figura 38: (A) estômatos anomosícticos da espécie *C. arabica*. (B) células subsidiárias. Aumento de 400x.

Escalas Figs. 36A, B: 20µm.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Contudo, situações de estresses extremos no ambiente, previstas para as próximas décadas, podem afetar processos-chave no mecanismo da planta, como a fotossíntese, metabolismo dos carboidratos na folha, a expressão gênica e a abertura e fechamento estomático, conforme os estudos desenvolvidos por Gama *et al.* (2016). No que diz respeito ao parâmetro Estômatos Fechados (EF), não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 15) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 39). Com isso, no horário de coleta a quantidade de estômatos fechados foi similar em ambas as áreas, fator esse pode indicar um similar controle estomático frente aos extremos climáticos.

Tabela 15. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro EF nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	1421.698522	1421.698522	2.914	0.0960
erro	38	18538.376215	487.852006		
Total corrigido	39	19960.074737			
CV (%) =					36.54
Média geral:					60.4437500
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

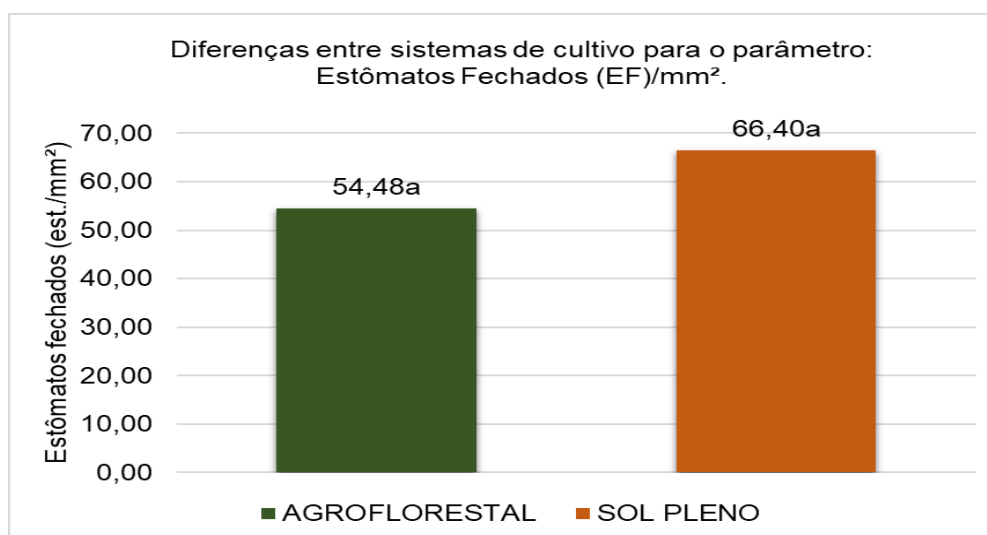


Figura 39: EF no SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas pela mesma letra (a,a) não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

No que diz respeito ao parâmetro estômatos abertos, houve diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 16) ao nível de 5% de probabilidade entre os dois sistemas de cultivo (Fig. 40).

Tabela 16. Análise de variância, coeficiente de variação, média geral e número de observações referente ao parâmetro EA nos sistemas de cultivo analisados.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	715.969822	715.969822	4.383	0.0430
erro	38	6207.160275	163.346323		
Total corrigido	39	6923.130098			
CV (%) =					72.78
Média geral:					17.5597500
Número de observações:					40

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: frequência acumulada; Pr: probabilidade; CV: coeficiente de variação.

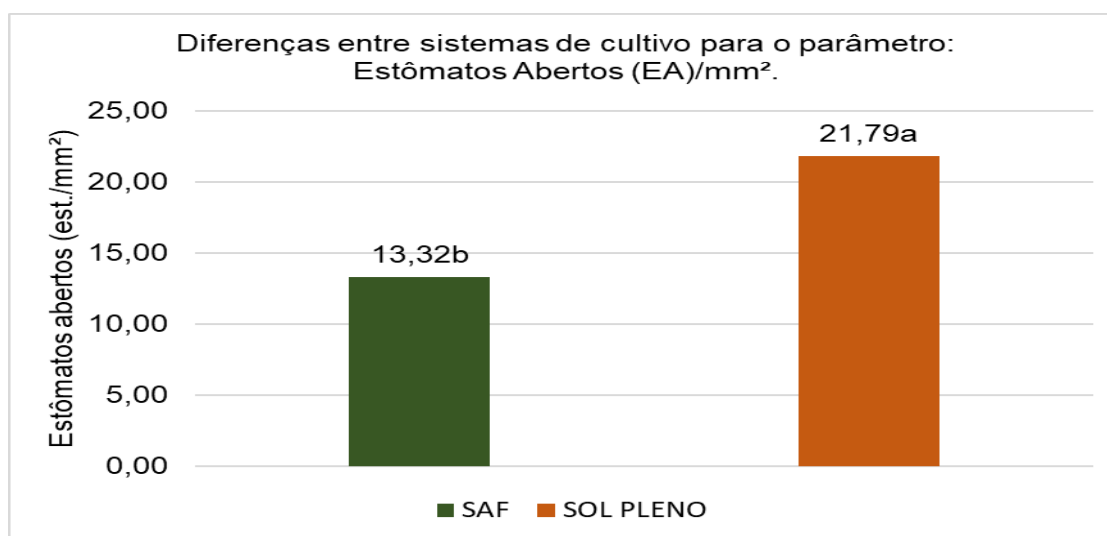


Figura 40: EA no SAF (Área 1) e ambiente a sol pleno (Área 2). Médias seguidas por letras distintas (a, b) diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

No que tange à EA e EF, a maior parte dos estômatos das amostras de ambas as áreas se encontraram fechados. Contudo, vale destacar que no SAF (Área 1) que apresentou uma média de 61,53/mm² EF e 17,94/mm² EA na estação verão para o conjunto de amostras; já na estação inverno apresentou uma média de 41,02/mm² EF e 5,12mm² EA. Para o ambiente a sol pleno, (Área 2) foram identificados uma média de

76,92/mm² EF e 25,64/mm² EA na estação verão; já na estação inverno apresentou uma média de 48,71/mm² EF e 15,38/mm² EA (Fig. 41A, B).

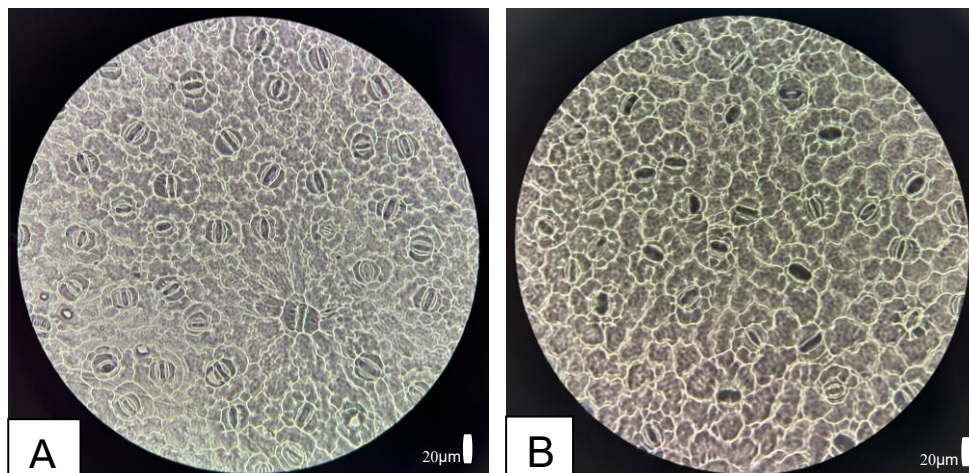


Figura 41: (A) Estômatos da espécie *C. arabica*- SAF (Área 1), aumento de 400x. (B) Estômatos da espécie *C. arábica*, ambiente a sol pleno (Área 2), aumento de 400x. **Escala** Figs. 39A, B: 20µm. **Fonte:** Elaboração própria, 2025.

A partir dos dados estatísticos obtidos, confirma-se que mesmo em períodos de estresse climático, alguns estômatos permaneceram abertos (Fig. 41B). Com isso, é perceptível um baixo controle da abertura estomática do cafeeiro, seguindo o caminho inverso dos vegetais nativos que atuam, muitas vezes como plantas CAM, essas fecham os estômatos durante o dia para redução da perda hídrica pelo vegetal. Atrelado a isso, nos horários mais quentes do dia a maior parte da água absorvida pela planta é perdida por transpiração pelo sistema solo-planta-atmosfera, o que possibilita a absorção da água do solo e sua perda para a atmosfera. Assim, transpiração estomática é responsável por mais de 90% da água transpirada pelo cafeeiro. (Batista, 2010; Oliveira, 2015; Almeida *et al.*, 2020)

Contribuindo com a discussão, Almeida *et al.*, (2020), associam a abertura estomática com a transpiração do vegetal, que corresponde proporcionalmente com a condutância estomática, desse modo, quando a transpiração aumenta a condutância também aumenta proporcionalmente, provocando perda de água da planta para o meio externo. Para controle dessa perda hídrica, o vegetal tende a permanecer com os estômatos fechados, assim a condutância estomática diminui para evitar que o potencial hídrico da folha desça abaixo de níveis considerados críticos, o que provoca

consequentemente uma restrição à entrada de CO₂ e redução da taxa fotossintética. Nesse sentido, os SAF se apresentam como possibilidade de estabelecimento de um microclima específico – menores temperaturas e maior umidade do solo e do ar – que irá estabelecer um melhor controle do fechamento estomático e consequente melhoria na taxa fotossintética, o que beneficia diretamente o desenvolvimento das cultivares (Padovan *et al.*, 2016; Silva, 2020; Almeida *et al.*, 2020).

Estudos indicam que a abertura estomática é influenciada pela presença de água, de luz e de temperaturas amenas, e o fechamento, observado em maior parte dos estômatos, quando ocorrer falta de água, excesso de dióxido de carbono e altas temperaturas. Por outro lado, uma maior quantidade de estômatos abertos no verão para as áreas 1 e 2 pode evidenciar, além de uma baixa adaptabilidade da espécie em relação a EF frente às adversidades climáticas, evidencia-se que o vegetal durante uma estação seca tende a buscar água do solo a profundidades consideráveis – três metros ou mais – em profundas reservas de água, liberando pela abertura estomática, principalmente nas primeiras horas da manhã em que são minimizados os efeitos da fotoinibição (Batista, 2010; Araújo, 2014; Mores, 2017; Souza *et al.*, 2014).

Isso pode se justificar, pôr o cafeeiro ser uma planta C3 mais sensíveis à alta temperatura, umborófila, adaptada a clima úmido, com isso, não apresenta um eficaz controle da perda hídrica, já que se estrutura como uma árvore do sub-bosque e não possui mecanismos para armazenar ou conservar umidade, assim sendo, transpira de maneira contínua (Mores, 2017; Oliveira, 2021).

Frente ao que foi exposto acima, Carvalho, P. (2016) alerta para os danos desse processo:

O déficit hídrico é o estresse abiótico que mais limita o crescimento e a produção vegetal, pois provoca alterações na composição química, biológica e física do solo. Além disso, modifica comportamento das plantas e prejudica a produtividade em graus variados, dependendo do estágio de desenvolvimento, genótipo e duração e intensidade do estresse (Carvalho, P., 2016, p. 25).

Em suma, a partir das análises realizadas, foi possível propor alguns direcionamentos em relação a manutenção da produção cafeeira nessa região que reflete as condições de produção em todo o mundo. Para isso, é necessário entender as singularidades de cada território e cada bioma, visando compreender o que pode ser melhorado, a exemplo das condições hídricas e climáticas para a sustentabilidade produtiva nessas regiões com foco na convivência com o semiárido.

O café frequentemente é cultivado em regiões de maior biodiversidade do mundo e tradicionalmente cultivado em ambientes florestais sombreados (Fig. 42). Pesquisas recentes consideraram os valores da biodiversidade de plantações de café, especialmente os desenvolvidos sob sombra. Todavia, no Brasil, o cafeeiro ainda é cultivado economicamente a pleno sol, cujo resultado produtivo ainda é satisfatório. Porém, a prática do cultivo do cafeeiro neste sistema tem apresentado problemas, como a superprodução e o consequente esgotamento das plantas (Fig. 43) durante os primeiros anos, até que o auto sombreamento diminua esse efeito (Araújo, 2014). Por esta razão, é possível indicar adaptações no arranjo e na estrutura espacial dos cultivos convencionais com a implantação do consórcio com árvores para melhora da tolerância ao clima extremo, que já se apresenta como uma problemática (Altieri, 2012).



Figura 42: espécie *Coffea arabica*, ambiente Agroflorestal (Área 1).
Fonte: Elaboração própria, 2024.



Figura 43: espécie *Coffea arabica*, ambiente a sol pleno (Área 2).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em cafezais sob condição de sombreamento pode ocorrer decréscimo na transpiração, com isso os estômatos podem permanecer abertos, permitindo maior entrada de CO₂ para a fotossíntese. Isto contribui para uma maior eficiência no uso de água pelas plantas, resultando em maior longevidade e produção (Batista, 2010). Malavolta *et al.* (1993) ampliam o ponto de vista acima apresentado com uma descrição sobre os aspectos morfológicos, organolépticos e econômicos de um cafeeiro saudável:

- ter folhas grandes, verdes e brilhantes durante todo o ano, mesmo na época do enchimento das cerejas;
- mostrar galhos com internódios longos e com as pontas vivas;
- não murchar demasiadamente na estação seca ou durante o veranico, sinal de que tem raízes ativas e profundas;
- florescer abundantemente e segurar a florada;
- dar altas produções como média de quatro anos;
- produzir café de boa qualidade – favas de peneira alta que, processadas, moídas e torradas, bebem bem;
- dar lucro a quem dele cuida (p.1).

Tavares *et al.* (2014. p. 1) apontam que “o clima exerce grande influência na produtividade econômica do cafeeiro, principalmente por necessitar de condições favoráveis durante todo seu ciclo vegetativo e reprodutivo”. Para os autores, as adaptações aplicadas ao cultivo do café, com vista a amenizar os danos climáticos, garantem a aptidão para a produção.

Os autores indicam algumas restrições climáticas e hídricas para o cultivo e produtividade do cafeeiro:

Regiões em que a temperatura média anual fica entre 22,5°C - 24°C e a deficiência hídrica entre 150 - 200 mm são consideradas restritas ao cultivo do cafeeiro. Excesso (temp. > 24°C) ou déficit térmico (temp.< 18°C) prejudica a cultura, assim como valores anuais de deficiência superior a 200mm, portanto, regiões com essas características são consideradas inaptas ao desenvolvimento do café (Tavares *et al.* 2014. p. 1)

Assad *et al.* (2004) e Batista (2010) assinalam que os extremos de temperatura do ar influenciam o crescimento, os processos fisiológicos e a produtividade do cafeeiro.

Desse modo, em condições de temperaturas extremas várias fases biológicas têm seu desenvolvimento reduzidos e até paralisados totalmente. Quando essas temperaturas atingem acima de 23°C promovem o rápido desenvolvimento e maturação dos frutos, acarretando perdas na qualidade do grão. Em regiões nas quais se registram temperaturas médias de 28°C a 33°C ocorrem danos às folhagens e na fase de florescimento essas condições podem provocar o abortamento dos botões florais e a consequente perda de produção.

Em síntese, pode-se observar o impacto das alterações climáticas na produtividade nas duas áreas (tratamentos) de estudo ao longo dos últimos anos (Fig. 44), ambas em sistema de sequeiro. Os dados foram coletados com o agricultor proprietário:

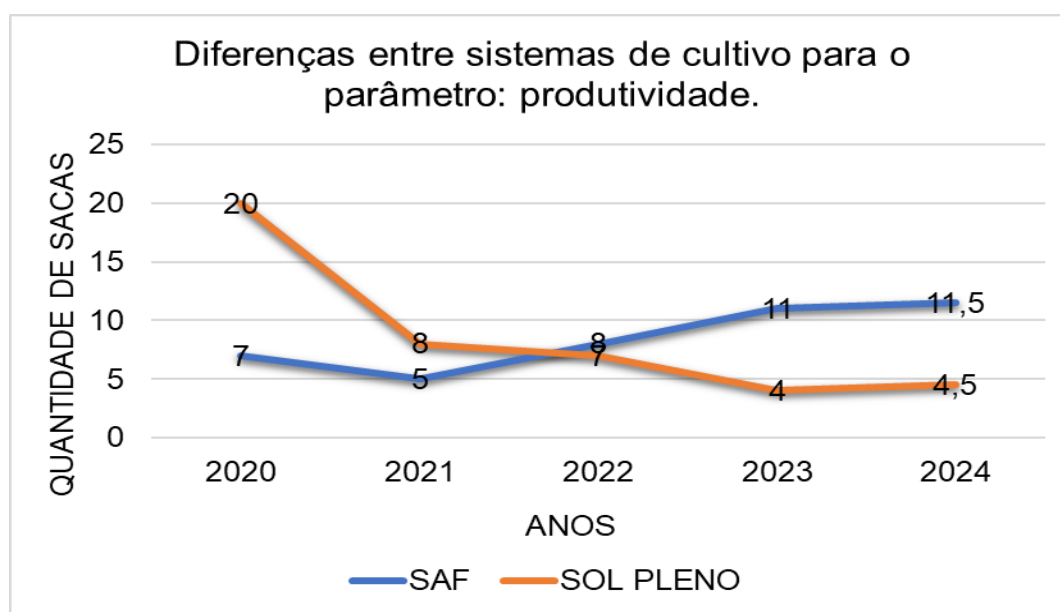


Figura 44: Produtividade de café nos ambientes: SAF (Área 1) e sol pleno (Área 2) ao longo dos anos.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Sobre a produção de sequeiro, vale ressaltar sobre os efeitos da escassez hídrica nos vegetais. Existem evidências que o excesso de luz pode afetar o crescimento vegetal e levar à redução da produtividade (Araújo; Deminicis, 2009). Carvalho P., (2016) indica como condição para desencadear uma ampla variedade de consequências, como alterações na expressão gênica, no metabolismo celular e

diminuições nas taxas de crescimento, produtividade e sobrevivência, em decorrência do fechamento estomático, e consequente diminuição das trocas gasosas, e da redução do potencial hídrico das folhas.

A partir desse direcionamento, avaliou-se a possibilidade de indicação ambiental de vegetais nativos para o controle microclimático, a recuperação de áreas, bem como ambientes produtivos degradados por meio de manejo adequado para manutenção da resiliência vegetativa. Outro ponto importante nesse mecanismo proposto é entender que inserir vegetais nativos nos ambientes produtivos possibilita uma extensão dos ambientes nativos, o que poderá proporcionar uma extensão do ecossistema, com áreas produtivas biodiversas em flora e fauna daquela região. A discussão ainda pode se estender ao entendimento de que, esses métodos vão contribuir para amenizar a temperatura e melhorar a umidade dos ambientes produtivos, o que consequentemente poderá provocar o estabelecimento de temperaturas mais amenas em toda região.

Amador (2003) assegura que os SAF possibilitam acelerar os processos sucessionais onde espécies do presente e futuro irão promover uma sequência do ciclo da vida que acontecem nos ambientes naturais para uma transição de ambientes simples para ambientes complexos e diversificados. Nesse sentido, ao estabelecer um SAF com espécies nativas, a exemplo do São João (*S. spectabilis*), Paratudo (*Hortia brasiliana*), Caibeiro, Cachimbinho, entre outras, busca-se a restauração do fragmento produtivo mais próximo ao ambiente natural, sendo este mais resistente às adversidades climáticas local. Os SAF ainda possibilitam que a fauna e flora ocupe e aperfeiçoe o ambiente à uma restauração dos processos ecológicos para possibilitar a produção. Segundo a autora, a lei universal da sucessão define que “todo lugar vazio evolui para novas comunidades, exceto aqueles que apresentam condições muito extremas de água, temperatura, luz e solo”. Neste aspecto, alguns manejos antrópicos podem potencializar os efeitos positivos das plantas presentes e anular os negativos.

São, portanto, sistemas baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que vão para além da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola. Esta discussão se expande para uma abordagem mais complexa nas dimensões sociais, culturais, políticas e econômicas, como alternativa que sustenta

a produção para todos aqueles que usam o solo em diversas escalas, com maiores benefícios socioeconômicos e socioambientais (Altieri, 2012; Silva, 2020).

CONCLUSÃO

A partir das análises investigadas foi possível indicar, a partir da análise foliar da espécie *C. arabica*, que os sistemas agroflorestais amenizam o stress de cultivares pelo controle das condições microclimáticas do ambiente como temperatura e umidade, refletida nos dados referentes aos estômatos. Estes aspectos estão relacionados ao melhor conforto térmico que os SAF garantem às cultivares, o que pode indicar uma qualidade ambiental a partir do uso espécies nativas para recuperação de ambientes produtivos degradados e aperfeiçoamento da saúde vital e produtiva do cafeeiro.

No sistema proposto, as funções da cultivar (*C. arabica*) e das espécies nativas no consórcio (*S. spectabilis*) são distintas. Nesse sentido, a espécie nativa em estudo no sistema objetiva oferecer condições ideais para o pleno desenvolvimento da cultivar produtiva. Portanto, é interessante que a planta nativa atue como um escudo microclimático para que promova o controle dos fatores bióticos e abióticos e, por ser de extrato emergente tolere os agravos dos fatores externos e blinde a cultivar desses passivos ambientais.

Em ambientes xéricos é normal que as espécies nativas se estressem aos extremos climáticos, aumente a densidade e frequência estomática, reduza os tamanhos dos estômatos, como plasticidade necessária para manutenção da espécie. Contudo, é importante que por meio desse consórcio seja oferecido para as cultivares as condições bióticas e abióticas, necessárias para o seu pleno desenvolvimento, pelo controle climático estabelecido no sistema.

Portanto, se os cafezais existentes no SAF (Área 1) apresentam maiores estômatos, uma menor densidade, frequência e índice estomático, indica que ali existe um melhor conforto térmico, hídrico e nutricional – condições agrometeorológicas - que possibilita um melhor desenvolvimento e uma melhor produtividade da espécie.

Em suma, percebe-se a necessidade de aprofundamento dos estudos relacionando outros parâmetros das áreas, para uma abordagem mais ampla dos

dados e no reflexo desses nos indicadores ambientais e de produtividade dos sistemas a sol pleno e dos SAF. Nesse aspecto podemos indicar possibilidades de estudos futuros para levantamento nas duas áreas de dados como: Índice Foliar; tamanho da folha, a biodiversidade microbiológica do solo; o percentual de decomposição da matéria orgânica; análise foliar para apontar o teor nutricional fornecido às cultivares; o índice de evapotranspiração; os índices de sequestro de Carbono (CO₂); umidade, textura, porosidade, estrutura e compactação do solo, entre outros aspectos. Como indicativo ainda podem serem analisadas outras variedades de café com vistas a identificar as espécies mais adaptadas com as condições edafoclimáticas da região.

REFERÊNCIAS

AGNOLETTI, B. Z. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica*) E CONILON (*Coffea canephora*) CLASSIFICADOS QUANTO À QUALIDADE DA BEBIDA**. Universidade Federal do Espírito Santo Centro de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. ALEGRE – ES. 2015.

ALMEIDA, V. G. *et al.* Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica*) em altas temperaturas no Cerrado goiano. **Society and Development**. V. 9, n. 11. ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9973>, 2020.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª Edição. Editora Expressão Popular. São Paulo-SP. 2012

AMADOR, D. B. **Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais. Restauração de ecossistemas naturais**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais–FEPAF. São Paulo. Botucatu, 2003.

ANDRADE, H. O. *et al.* **Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável do Território Chapada Diamantina**. Companhia de Ação Regional. Instituto Federal da Bahia. Núcleo de Extensão em Desenvolvimento Territorial. Secretaria Estadual de Desenvolvimento Rural. Secretaria Estadual de Planejamento. 2016.

ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I. M.; DORNELAS, G.V. 2002. Análise da vegetação arbóreo-arbustiva espontânea, ocorrente em taludes íngremes no município de Areia - estado da Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.2, p. 165-172, 2002.

APPEZZATO-da-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (editoras). **Anatomia Vegetal**. 2ª edição. Editora da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2006.

ARAÚJO, M. A. **A Presença de *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) em Fragmento Florestal: Aspectos da História de Vida e sua Interação com a Comunidade Vegetal.** Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos. 2014.

ARAÚJO, S.; DEMINICIS, B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências.** Instituto de Biociências. UFRGS. Porto Alegre. V. 7. Nº 4. 2009.

ASSAD, E. D. *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** V. 39. 2004.

ASSAD, E. D. *et al.* Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M.; CUNHA, S. A. R.; ENISLAINE, E. R.; LOPES, T. S. S.; PINTO, H. S.; JR, J. Z. **Revista Brasileira de Agrometeorologia.** Passo Fundo. v.9. n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola). p.510-518. 2001.

BARBOSA, L. C.; PORTO, S. M.; BERTOLDE, F. Z. Análise estomática de duas espécies arbóreas nativas de Mata Atlântica. **Revista Pindorama.** Eunápolis. Bahia. Volume X. Número X. 2018.

BARROS, I; SOARES, A. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agrônômica.** Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Volume 44. Número 1. P. 192-198. 2013.

BATISTA, L. A. **CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE CAFEEIROS *Coffea arabica* L.** Universidade Federal de Lavras. Lavras - Minas Gerais. 2010.

BLANDA, L. D *et al.* **Boas práticas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas no estado da Bahia.** ALENCAR L.; DOURADO N.; FREIRE R.; RIGONATO V. D. Salvador. Bahia. IESB. 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.831/03.** Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. 2003. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.831.htm>. Acesso em: 16 out. 2024.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº- 429.** Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APPs. 2011. Disponível em:<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/documentos/pagina/resolucao_conama_429-11.pdf>

CAIXETA, E. T. *et al.* **Manejo integrado de pragas e doenças do café arábica.** ISSN 2317-2029 / e-ISSN 0000-0000. EMBRAPA Café. Brasília, DF. 2024.

CAMPOS, C. N. et. al. **SUPLEMENTAÇÃO COM MELATONINA PROMOVE AUMENTO NA DENSIDADE ESTOMÁTICA DE FOLHAS DE *Coffea arabica* L. SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO SEGUIDO DE REIDRATAÇÃO.** X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil – ISSN: 1984-9249. Vitória – ES. 2019.

CARVALHO, J. N. **Espécies nativas da Caatinga para recuperação de áreas degradadas: prospecção, ecofisiologia da germinação e crescimento de plantas.** Universidade Federal do Vale do São Francisco. Campus de Ciências Agrárias. Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal. Petrolina. 2016.

CARVALHO, M. B. S. **Localização dos municípios que compõem a Denominação de Origem dos Cafés da Chapada Diamantina.** Bases cartográficas do IBGE 2022. MDE Copernicus Globas DSM (usgs 2024). Datum SIRGAS 2000 – sistema de coordenadas geográficas. 2024.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras. Cássia-do-nordeste: *Senna spectabilis* var. *excelsa*.** Volume 4. EMBRAPA. 2016.

CÉSAR, F. R. C. F. et al. **Anatomia foliar de mudas de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa.** César, F. R. C. F.; Matsumoto, S. N.; Santos, M. A. F.; Araujo, G. S.; Lima, J. M.; Bonfim, J. A.; Martins Neto, F. L. 34º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café.** Brasília-DF. Volume 10. Número 1. 2023.

CORDOVIL, H. P. L. Impactos das mudanças climáticas na qualidade do solo e na produção agrícola. **REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA.** ISSN: 1696-8352. A cesso em 05/11/2025. 2024.

COSTA, A. **Cássia do Nordeste (Acássia) - *Senna Spectabilis*.** 2011. Acesso em: 03/01/2023. Disponível em: <<https://www.naturezabela.com.br/2011/10/cassia-do-nordeste-acassia-senna.html>>

DRUMOND, M. A.; MORAES, S. A.; RIBASKI, J. **Sistemas agroflorestais para o Semiárido brasileiro.** IX Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Ilhéus-BA. 2013.

DRUMOND, M. A.; MORGADO, L. B. Espécies arbóreas alternativas para sistemas agroflorestais no semi-árido brasileiro. **Agrossilvicultura.** Volume 1. Número 1. P 43-50. 2004.

EMBRAPA. **Solos da cidade de Seabra-BA.** Embrapa Solos UEP Recife. 2006. Disponível em: <solos.uep.cnps.embrapa.br>

FERNANDES, M. F. e QUEIROZ, L.P. Vegetação e Flora da Caatinga. **Ciência e Cultura.** Volume 70. São Paulo. 2018.

FIRMINO-JR, P. C. P., et. al. **Dimensões dos estômatos e densidade estomática de folhas de *Tabebuiaavellanae* Lor. Ex Gris. (Bignoniaceae) *in vitro* e *ex vitro***. Firmino-Jr, Paulo Cesar Poeta; Pereira, Jonny Everson Scherwinski; Santos, Marisa; Viana, Ana Maria. Universidade Federal do Acre, Embrapa-Acre, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

GAMA, T. C. P. *et al.* ANATOMIA FOLIAR, FISILOGIA E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO. **Coffee Science**. Lavras-MG. Volume 12. Número 1. 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Edição 7. São Paulo. Editora Atlas. 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Edição 7. São Paulo. Editora Atlas, 2023.

GONSALVES, A. **IRPAA – CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO**. 2009. Acesso em: 03/04/2024. Disponível em: <<https://irpaa.org/modulo/portugues>>

GRIS, D.; TEMPONI, L. G.; MARCON, T. R. Nativ espécies indicated for de gradedarearecovery in Western Paraná, Brazil. **Revista Árvore**. Viçosa. Volume 36. Número 1. P 113-125. 2012.

IBGE. **Quadro Geográfico de Referência para Produção, Análise e Disseminação de Estatísticas**. Diretoria de Geociências, Coordenação de Geomática, Coordenação de Geografia e Coordenação de Cartografia. 2. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. 2024. Acesso em: 12/12/2024. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ibge.gov.br/apps/quadrogeografico/pdf/qg_2024_080_semiarido.pdf>

INSA. **Delimitação semiárido brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido. 2024. Acesso em: 13/12/2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf>>

JELLER, H.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeito dos estresses hídrico e salino e da ação da giberelina em sementes de *Senna spectabilis*. **Ciência Florestal**. Volume 11. P. 93-104. 2001.

JÚNIOR, E. A. S. *et al.* **ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DE CAFÉ CONILON E ARABICA CULTIVADOS EM REGIÃO SEMIÁRIDA**. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Araxá – MG. 2011.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO, J. **Histologia básica: texto e atlas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018. 1589 p.

KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS, V.W.; GERES, W.L.A.; DIAS, J.H.P.; BORGES, A.S. Consórcio de espécies nativas de diferentes grupos sucessionais em Teodoro Sampaio, SP. **Revista do Instituto Florestal**. Volume 4. P. 527-533. 1992.

KEDROVSKI, H. R.; OLIVEIRA, F. M. C.; ROCHA, D. C. Morfoanatomia dos estômatos de seis espécies de Cyperaceae. In: **Anais do XVII Encontro Anual de Iniciação Científica**. Londrina – PR. 2009.

LANA, M.D. **Carbono em vegetação lenhosa da caatinga e viabilidade econômica de manejo**. Recife-PE. 2017.

LORENÇONE, J. A. *et al.* **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO CAFÉ NO BRASIL**. LORENÇONE, P. A.; LIMA, R. F.; TORSONI, G. B.; APARECIDO, L. E. O. IFMS, Campus Naviraí. IFSul de Minas, Campus Muzambinho. UFPR. 2022.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Seja o doutor do seu cafezal**. MALAVOLTA, E.; FERNANDES, D. R.; ROMERO, J. P; CASALE H. Informações Agronômicas. Encarte especial. Número 64. 1993.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil**. Coleção 10 - BIOMA CAATINGA, acessado em 31/12/2025. Disponível em:
<<https://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomas/8OVXBN>>

MARENCO, R. *et. al.* Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. MARENCO R. A.; NEVES T. S.; CAMARGO M. A. B; DIAS D. P.; COSTA G. F. e Rodrigues J. C. Nota científica. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre. Volume 5. P. 150-152. 2007.

MARINHO, C. **AGROECOLOGIA, CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO E EXTENSÃO RURAL: UM OLHAR SOBRE A EXPERIÊNCIA DO IRPAA NO TERRITÓRIO SERTÃO DO SÃO FRANCISCO**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós Graduação em Extensão Rural. Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2021.

MORES, L. **História ambiental do agroecossistema do café (*Coffea arábica*) no norte do Paraná (1945-1975)**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017.

MOURA. M. S. B. **Bioma Caatinga - Temperatura e Umidade relativa**. EMBRAPA Semiárido. 2021. Acesso em: 07/08/2025. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/clima/temperatura-e-umidade-relativa>>

NETO, S. N. O. **Sistemas agroflorestais em regiões semiáridas - Introdução SAFs em Regiões Semiáridas - Definições e conceitos**. Módulo I - Unidade I. Projeto AKSAAM. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável - IPPDS/UFV. Fundação Arthur Bernardes – FUNARBE. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 2022. Acesso em: 11/09/2024. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ead.ufv.br/pluginfile.php/96926/mod_page/content/4/M%C3%93DULO%2001%20-%20AULA%2001.pdf>

OLIVEIRA, I. C. *et al.* **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E POTENCIAIS IMPACTOS NEGATIVOS NO BIOMA CAATINGA, SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. ISBN 978-65-5360-384-4. DOI: 10.37885/230613554. Vol. 1. Editora Científica Digital. Ano 2023.

OLIVEIRA, L. L. **Interferência de *Urochloa decumbens* no crescimento e fisiologia do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetido a adubações fosfatadas**. UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI. 2021.

OLIVEIRA, L. **Plantas CAM ou MAC**. Setor Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras. 2015. Acesso em: 22/05/2024. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/fotossintese-em-plantas-superiores/ciclo-de-reducao-do-co2/plantas-cam-ou-mac/>>

PADOVAN, M. P. *et al.* Potencial de sistemas agroflorestais biodiversos em processos de restauração ambiental. PADOVAN, M. P.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; FERNANDES, S. S. L.; ALVES, J. C. **Cadernos de Agroecologia**. Volume 11. Nº 2. 2016.

PEREIRA, A. F. C.; SILVA, A. C. P. GUIA DIDÁTICO SOBRE PRÁTICAS REGENERATIVAS EM AGRICULTURA DEPENDENTE DE CHUVA: OBSERVAÇÕES EM SISTEMA AGROFLORESTAL LOCALIZADO NA COMUNIDADE DO CAPIM, PETROLINA-PE. In: **AGRICULTURA ÓRGANO-BIOLÓGICA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS ATUAIS (COLETÂNEA INTERDISCIPLINAR)**. Editora Científica Digital. P. 71-101. 2024.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. FAPI. Edição 2. Belo Horizonte. 2008.

PEREIRA, D, D. **Ciclos Biogeoquímicos no Semiárido: água, carbono, nitrogênio, luz, etc**. Base ecológica dos SAFs. Projeto AKSAAM. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável - IPPDS/UFV. Fundação Arthur Bernardes – FUNARBE. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 2023.

PEREIRA, D, D. **Introdução SAF's em Regiões Semiáridas - Histórico, abrangência e características gerais**. Projeto AKSAAM. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável - IPPDS/UFV. Fundação Arthur Bernardes – FUNARBE. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 2023.

PEREIRA, T. E; KRAHN C. D. O; SQUALLI, M. L. T. **TEMPERATURA FOLIAR E FREQUÊNCIA ESTOMÁTICA EM ESPÉCIMES DE SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS RADDI (AROEIRA-VERMELHA) EM DIFERENTES CONDIÇÕES LUMINOSAS EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP), IJUÍ/RS.** XXVI Seminário de Iniciação Científica. Salão do Conhecimento UNIJURI. 2018.

PINHO, C. V. **Anatomia e Fisiologia Foliar de Plantas de Ormosia Arborea.** In: Congresso de Ecologia do Brasil. Volume X. São Lourenço-MG. 2011

PINTO, H. S. **O AQUECIMENTO GLOBAL E A CAFEICULTURA BRASILEIRA.** Boletim SBMET. Cepagri/Unicamp. 2007.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** Edição 2. Nova Hamburgo: Feevale, 2013.

RAFFESTIN, C. **Por uma geografia do Poder.** São Paulo. Editora Ática. 1993.

REIS, E. A.; REIS I. A. **Análise Descritiva de Dados.** Relatório Técnico do Departamento de Estatística da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Minas Gerais. 2002.

REIS, T. C. **Resultado da Análise de Fertilidade - Propriedade: Recanto-Árvores.** Laboratório de Química e Fertilidade do Solo. UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UESB. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX. Barreiras –BA. Emissão em 14/10/2024.

REIS, T. C. **Resultado da Análise de Fertilidade - Propriedade: Recanto Serriema.** UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UESB. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX. Laboratório de Química e Fertilidade do Solo. Barreiras –BA. Emissão em 01/09/2024.

RESENDE, M. D. V. *et al.* **Métodos ótimos de seleção genética no melhoramento do cafeeiro arábica.** RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S.; CAIXETA, E. T.; Antonio OLIVEIRA C. B.; PEREIRA, A. A.; MARIZ, B. L. EMBRAPA Café. Brasília-DF. 2024.

SADO, M. **Efeito do 2,4-D na calogênese de *Senna spectabilis* (DC) Irwin et Barn (Leguminosae) e seus compostos de reserva.** Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo. 2009.

SAKIYAMA N. S. *et al.* **Café Arábica: do plantio à colheita.** Universidade Federal de Viçosa – UFV. Editora UFV. Viçosa. MG. 2015.

SANTANA FILHO, D. M. **Influência da luz nos parâmetros epidemiológicos da Sigatoka-amarela da bananeira.** Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas – BA. 2012.

SANTOS, V. F.; CASTRO, D. R. **ESTUDOS SISTÊMICOS SOBRE ESTÔMATOS DA ESPÉCIE *Senna spectabilis* (DC.) H.S.IRWIN & BARNEBY (FABACEAE): UMA INDICAÇÃO PARA AMBIENTES PRODUTIVOS NA CAATINGA.** XXVIII Jornada de Iniciação Científica. Pro-Reitoria de Pesquisa e Ensino de Pós-Graduação (PPG). Universidade do Estado da Bahia (UNEB). 2024.

SAQUET, M. **TERRITÓRIOS E TERRITORIALIDADES: TEORIAS, PROCESSOS E CONFLITOS - Por uma abordagem territorial.** Colegiado de Geografia da Unioeste – Francisco Beltrão. Grupo de Estudos Territoriais – GETERR. 2024.

SEABRA. **Dados geográficos.** Prefeitura Municipal - acesso à informação - dados geográficos. Publicado em 11 de janeiro de 2018. Acesso em 30/11/2023. Disponível em: <<https://www.seabra.ba.gov.br/pagina/dados-geograficos>>

SEI. **Info Territórios - Território de Identidade Chapada Diamantina.** Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI. 2023.

SILVA, J. B. C; PINTO, P. A. L. A. IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DO CAFÉ: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. **Revista Brasileira de Climatologia.** UFGD Editora. 2024.

SILVA, M.; LEITE, K. R. B; SABA, M. D. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Senna spectabilis* var. *excelsa* (CAESALPINIOIDEAE-LEGUMINOSAE), uma espécie utilizada como medicinal pela população de Caetité-Bahia. IN: **Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica.** Belo Horizonte. 2013.

SILVA, M. R. S *et al.* Potencialidades dos sistemas agroflorestais de base agroecológica no contexto do semiárido nordestino. **Cadernos de Agroecologia.** ISSN 2236-7934. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia. São Cristóvão. Sergipe. Volume 15. Nº 2. 2020.

SILVA, T. C. F. **Sistemas agroflorestais em regiões semiáridas - Introdução SAFs em Regiões Semiáridas - Entendendo os SAFs: Do conceito à sua importância para agricultura familiar.** Módulo I - Unidade I. Projeto AKSAAM. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável - IPPDS/UFV. Fundação Arthur Bernardes – FUNARBE. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 2022. Acesso em: 11/09/2024 Disponível em: <https://ead.ufv.br/pluginfile.php/96930/mod_page/content/5/M%C3%93DULO%2001%20-%20AULA%2003.pdf>

SILVA, T. T; DRUMOND, M. A; BAKKE, I. A. Sistema agroflorestal em Nova Olinda, Ceará: Uma experiência de sucesso. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.** Grupo Verde de Agroecologia e Abelha. Pombal. Pernambuco. Brasil. Volume 9. Número 3. 2014.

SOUZA, M. T. C. *et al.* Caracterização climática e o efeito do estresse hídrico sob as plantas nativas da caatinga. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 1, Ed. 250, Art. 1655, Janeiro, 2014.

TAVARES, P. S, *et al.* **APTIDÃO AGROCLIMÁTICA DO CAFÉ ARÁBICA PARA CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SUDESTE DO BRASIL GERADOS PELO MODELO ETA EM ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO HORIZONTAL.** TAVARES, P. S.; Giarolla, A.; CHOU, S. C.; SILVA, A. J. P. 2014.

TRINDADE, E. S.; BOTREL, P. P.; FRANCO, M. E. A. **ANATOMIA FOLIAR EM DIFERENTES CULTIVARES DE *Coffea arabica* L.** 15º Jornada Científica e Tecnológica. 12º Simpósio de Pós Graduação. Instituto Federal Sul de Minas. FAPAMIG. CNPQ. Minas Gerais – MG. 2023.

VICHIATO, M.R.M. Análises estomática e morfométrica de folhas de plantas diplóides e tetraplóides de *Dendrobium nobile* Lindl. VICHIATO, M., CASTRO, D. M., DUTRA, L.F. Pasqual, M., JÚNIOR, W.M., LIMA, C.D.F., SALGADO, C.C. **Revista Ceres**. 2006.

VIEGAS, J. C. *et al.* **Aspectos químicos, biológicos e etnofarmacológicos do gênero *Cassia*.** VIEGAS, J. C.; REZENDE, A. D.; SILVA, D. H. S.; CASTRO, G. I.; BOLZANI, V. D. S.; BARREIRO, E. J. e YOUNG, M. C. M. **Química Nova** **29**. P. 1279-1286. 2004.

XAVIER, R. L.; FONTANA, A. **Matéria orgânica e capacidade de troca catiônica nos solos arenosos no bioma Cerrado: avaliação de dados das camadas superficiais para fins de fertilidade.** EMBRAPA. 2025.

WORSTER, D. Transformações da terra: para uma perspectiva agroecológica na história. **Revista Ambiente e Sociedade**. Volume VI. Número 1. 2003.

APÊNDICES

ANÁLISES DE SOLO DAS DUAS ÁREAS

APÊNDICE 1:

ÁREA 1 - cultivares em lavoura de sequeiro em sistema agroflorestal com a presença da espécie *S. spectabilis*.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX
Laboratório de Química e Fertilidade do Solo
Av. ACM, s/n, Loteamento Flamengo, Barreiras –BA

Solicitante: Tadeu Cavalcante Reis

Entrada: 16/09/2024

Emissão: 14/10/2024

Proprietário: Natalino F. dos Santos

Município: Povoado de Malhador,

Seabra- BA

Propriedade: Recanto-Árvores

Cultura:

Resultado da Análise de Fertilidade

Nº Controle		0183	0184
Nº Amostra:		-	-
Profundidade Coleta:		0-20 cm	20-40 cm
pH	H ₂ O	4,29	4,32
pH	CaCl ₂	*	*
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	cmolc /dm ³	3,90	1,50
Ca ²⁺	cmolc /dm ³	2,60	0,90
Al ³⁺	cmolc /dm ³	1,90	2,00
Al ³⁺ + H ⁺	cmolc /dm ³	17,33	14,03
K ⁺	cmolc /dm ³	0,192	0,096
K ⁺	mg/dm ³	74,72	37,36
Na ⁺	cmolc /dm ³	*	*
P (Mel)	mg/dm ³	13,86	6,67
S	mg/dm ³	*	*
C	dag/kg	2,23	1,72
M. O.	dag/kg	3,84	2,97
CTC	cmolc /dm ³	21,39	15,62
Sat. Bases	%	19,01	10,22
Sat. Al	%	31,56	55,62
Ca / Mg		2,10	1,40

Níveis Ideais (Embrapa Cerrado)

Ca	2,0 - 5,0
Mg	0,5 - 1,5
K	60 - 180
P (argila > 35%)	> 10
P (argila 15-35%)	> 20
P (argila < 15%)	> 30
S	10 - 20
M.O.	1,5 - 3,0
Ca/Mg	3 - 5
Ca/K	15 - 20
Mg/ K	3 - 5
Ca/CTC	48 - 60
Mg/CTC	16 - 20
K/CTC	3 - 5
pH (H ₂ O)	6,0 - 6,5
pH (CaCl ₂)	5,5 - 6,0

Observações:

Extratores:
Ca, Mg e Al: KCl 1 mol/L
P, K e Na: Mehlich 1
H+Al: Acetato de cálcio
C e M.O.: Dicromato de potássio

Conversão de unidade

mg/dm³ = PPM
cmolc /dm³ = meq/ 100 cm³
dag/kg = %

Resultado da Análise Granulométrica

Areia	%	65,06	58,48
Silte	%	11,79	16,37
Argila	%	23,15	25,15

Tadeu Cavalcante Reis
Dr. em Solos e Nutrição de Plantas
Responsável Técnico

APÊNDICE 2:

ÁREA 2 – cultivares em lavoura de sequeiro a sol pleno.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX
Laboratório de Química e Fertilidade do Solo
Av. ACM, s/n, Loteamento Flamengo, Barreiras –BA

Solicitante: Tadeu Cavalcante Reis

Entrada: 16/09/2024

Proprietário: Natalino F. dos Santos

Município: Povoado de Lagoa da
Boa Vista, Seabra - BA

Emissão: 01/09/2024

Propriedade: Recanto Seriema

Cultura:

Resultado da Análise de Fertilidade

Nº Controle		0181	0182
Nº Amostra:		-	-
Profundidade Coleta:		0-20 cm	20-40 cm
pH	H ₂ O	4,70	4,25
pH	CaCl ₂	*	*
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	cmolc /dm ³	3,00	1,80
Ca ²⁺	cmolc /dm ³	1,10	0,90
Al ³⁺	cmolc /dm ³	1,50	2,30
Al ³⁺ + H ⁺	cmolc /dm ³	15,26	14,03
K ⁺	cmolc /dm ³	0,120	0,072
K ⁺	mg/dm ³	46,70	28,02
Na ⁺	cmolc /dm ³	*	*
P (Mel)	mg/dm ³	7,07	9,41
S	mg/dm ³	*	*
C	dag/kg	2,23	1,11
M. O.	dag/kg	3,84	1,92
CTC	cmolc /dm ³	18,38	15,85
Sat. Bases	%	16,97	11,50
Sat. Al	%	32,47	55,26
Ca / Mg		0,60	1,00

Resultado da Análise Granulométrica

Areia	%	71,46	66,44
Silte	%	5,51	6,62
Argila	%	23,03	26,94

Níveis Ideais (Embrapa Cerrado)

Ca	2,0 - 5,0
Mg	0,5 - 1,5
K	60 - 180
P (argila > 35%)	> 10
P (argila 15-35%)	> 20
P (argila < 15%)	> 30
S	10 - 20
M.O.	1,5 - 3,0
Ca/Mg	3 - 5
Ca/K	15 - 20
Mg/ K	3 - 5
Ca/CTC	48 - 60
Mg/CTC	16 - 20
K/CTC	3 - 5
pH (H ₂ O)	6,0 - 6,5
pH (CaCl ₂)	5,5 - 6,0

Observações:

Extratores:
Ca, Mg e Al: KCl 1 mol/L
P, K e Na: Mehlich 1
H+Al: Acetato de cálcio
C e M.O.: Dicromato de potássio

Conversão de unidade

mg/dm³ = PPM
cmolc /dm³ = meq/ 100 cm³
dag/kg = %

Tadeu Cavalcante Reis
Dr. em Solos e Nutrição de Plantas
Responsável Técnico