



ÁREAS APTAS PARA CULTIVOS CONSORCIADOS DE CACAU E MOGNO- AFRICANO NA MESORREGIÃO DO MARAJÓ (PA)

Hana Saiumy Favacho dos Santos^{1*}, Camila Vitória Santos de Aquino¹, Duanne Karine dos Anjos Colares¹, Giovanne Figueiredo da Rocha¹, Iolanda Laranjeira Mota¹, João Gabriel Ferreira Colares¹, José Maria Franco Santos Junior¹, Wesley Lopes Pinto¹, Yasmim Guedes da Silva¹, Antonio Henrique Cordeiro Ramalho¹

Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidades e Florestas¹

*hanasaiumy2003@gmail.com

RESUMO

Devido à crescente pressão de atividades econômicas, a Amazônia tem sofrido intensos processos de degradação. Neste sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAFs), especialmente voltados à socioeconomia, silvicultura e recuperação de áreas alteradas, mostram-se eficientes na conservação dos recursos naturais aliada à geração de renda. Assim, este trabalho teve como objetivo identificar áreas aptas ao cultivo consorciado de *Theobroma cacao* L. e *Khaya ivorensis* A. Chev. na Mesorregião do Marajó, no estado do Pará, utilizando geotecnologias aplicadas à análise multicritério. A metodologia empregou a Lógica Fuzzy em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), considerando variáveis edafoclimáticas, topográficas e de Uso e Ocupação da Terra (UOT), com uso do software QGIS. Os dados foram processados para gerar um mapa de aptidão de áreas ótimas ao cultivo consorciado de cacau e mogno-africano, classificando a área de estudo em cinco categorias: muito baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), moderada (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta aptidão (0,8 a 1,0). Os resultados indicaram que 54,61% da área apresenta muito baixa aptidão, 29,40% baixa, 13,23% moderada, 2,43% alta e apenas 0,34% muito alta aptidão. A espacialização permitiu identificar com precisão as áreas mais propícias ao cultivo consorciado, além de apontar regiões menos adequadas, servindo como base para decisões mais seguras no planejamento territorial e na implementação de sistemas agroflorestais com essas espécies na Mesorregião do Marajó.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais, Geotecnologias, Zoneamento, lógica Fuzzy

INTRODUÇÃO

O atual modelo de desenvolvimento na Amazônia, fundamentado no desmatamento de grandes áreas para fins econômicos, sobretudo agropecuários, tem intensificado a pressão sobre as florestas naturais (RODRIGUES *et al.*, 2024). Nesse contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) surgem como alternativa sustentável de uso do solo, ao aliar conservação ambiental e desenvolvimento econômico (VIEIRA *et al.*, 2025). O cultivo consorciado de *Theobroma cacao* L. (cacau), espécie amazônica de relevância socioeconômica, e *Khaya ivorensis* A. Chev. (mogno-africano), espécie exótica de alto valor comercial na silvicultura, é uma estratégia viável para recuperar áreas alteradas e reduzir a pressão sobre ecossistemas nativos, contribuindo para manter a “floresta em pé” (COSTA, 2025).

Apesar de ser um sistema produtivo eficiente para os fins de sustentabilidade que se propõe, o pleno desenvolvimento das culturas escolhidas depende em grande parte da escolha dos locais ideais para a sua implementação, considerando variáveis ambientais, meteorológicas, econômicas e sociais. Sendo assim, metodologias baseadas em análises espaciais multicritérios, como a lógica Fuzzy, são tidas como soluções eficientes para essa problemática. A lógica Fuzzy consiste em uma modelagem matemática que permite a interação entre variáveis determinadas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020), adaptando-se à complexidade ambiental da região, traduzindo atributos qualitativos em valores numéricos entre 0 e 1, de modo que 0 representa a classe mais baixa de aptidão e 1 a mais alta (RAMALHO *et al.*, 2024).

Diante disso, objetivou-se, com a presente pesquisa, identificar áreas aptas ao cultivo consorciado de *Theobroma cacao* L. (cacau) e *Khaya ivorensis* A. Chev. (mogno-africano), na Mesorregião do Marajó (PA), por meio da lógica Fuzzy. Os resultados visam subsidiar o planejamento territorial, fomentar práticas sustentáveis e orientar políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais e ao desenvolvimento socioeconômico da Mesorregião do Marajó.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo corresponde à Mesorregião do Marajó, localizada no estado do Pará, Brasil. Com uma extensão territorial de 102.809,692 km², a região está situada entre os meridianos 48°19'11"O e 52°55'18"O de longitude, e os paralelos 0°46'01"N e 03°50'06"S de latitude (Figura 1).

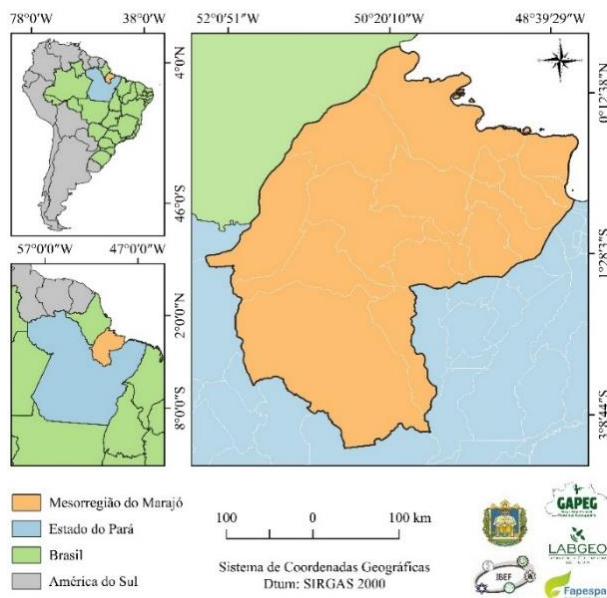


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.
Figure 1. Map of the study area location.

Pesquisa bibliográfica

Após a delimitação da área de estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica voltada ao levantamento das condições ideais para o desenvolvimento de *Theobroma cacao* L. (cacau) e *Khaya ivorensis* A. Chev. (mogno-africano), com base em suas exigências edafoclimáticas e silviculturais, além de fatores relacionados à mecanização e à logística de transporte, como a declividade do terreno e a proximidade de vias que favoreçam o escoamento da produção. Assim, as condições ideais estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de aptidão por variável para as culturas analisadas.
Table 1. Suitability classes by variable for the crops analyzed.

Cultura	Precipitação	Temperatura	Classes ótimas por variável			
			Classes de solo	Uso e Ocupação da Terra	Proximidade de estradas	Declividade
<i>Theobroma cacao</i> L.	1.800 mm a 2.500 mm	22 °C a 28 °C	Nitossolos Latossolo Argissolo	Pastagem, Agricultura, Soja, Cana, Arroz,	≤ 5.000 m	≤ 27°
<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.	1.550 mm a 2.300 mm	23,5 °C a 29,5 °C	Argissolo, Latossolo, Neossolo	Algodão, Café, Citrus, Dendê e Silvicultura		

Construção de banco de dados geoespaciais

A delimitação territorial foi realizada a partir das malhas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados de temperatura média e precipitação acumulada foram obtidos na plataforma *WorldClim*. As informações sobre classes de solos foram adquiridas junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. A malha viária (estradas e rodovias) foi extraída da plataforma *OpenStreetMap*. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido a partir do *Shuttle Radar Topography Mission – National Aeronautics and Space Administration*, e os dados de Uso e Ocupação da Terra (UOT) foram extraídos da plataforma *MapBiomas Brasil*.

Pré-processamento

As etapas de pré-processamento e processamento foram conduzidas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o QGIS, versão 3.4. O pré-processamento incluiu a padronização dos

Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC) para *South America Albers* e o recorte dos dados para a área de estudo. As variáveis selecionadas foram: precipitação acumulada, temperatura média, declividade (derivada do MDE), proximidade de estradas (calculada por distância euclidiana em relação à malha viária), classes de solos e UOT.

Processamento

Com o banco de dados consolidado, iniciou-se o processamento por meio da aplicação da Lógica *Fuzzy* às variáveis de interesse, utilizando funções de pertinência baseadas nos requisitos ideais para o cultivo das culturas. Foi empregada a associação *Fuzzy Linear* crescente para temperatura média, precipitação acumulada, classes de solos e uso e ocupação da terra (UOT), enquanto a associação *Fuzzy Small* foi aplicada à declividade e à proximidade de estradas.

Posteriormente, as variáveis processadas foram integradas por meio do método de sobreposição *Fuzzy Gamma*, fundamentado na teoria dos conjuntos. Em seguida, foi calculada a média das imagens matriciais geradas na etapa anterior, resultando em uma nova imagem representativa das áreas aptas à implantação de Sistemas Agroflorestais com ambas as espécies mencionadas. A imagem resultante foi reclassificada espacialmente, com o objetivo de definir classes de potencialidade para a implantação de plantios de cacau e mogno-africano. As categorias estabelecidas foram: muito baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), moderada (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta (0,8 a 1,0). Por fim, a imagem foi convertida para o formato vetorial, permitindo a quantificação da área (em hectares) e da proporção (%) correspondente a cada classe de aptidão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise multicritério com Lógica *Fuzzy* resultou no mapa de zoneamento de aptidão à implantação de SAF com *Theobroma cacao* L. e *Khaya ivorensis* A. Chev. na Mesorregião do Marajó (Figura 2).

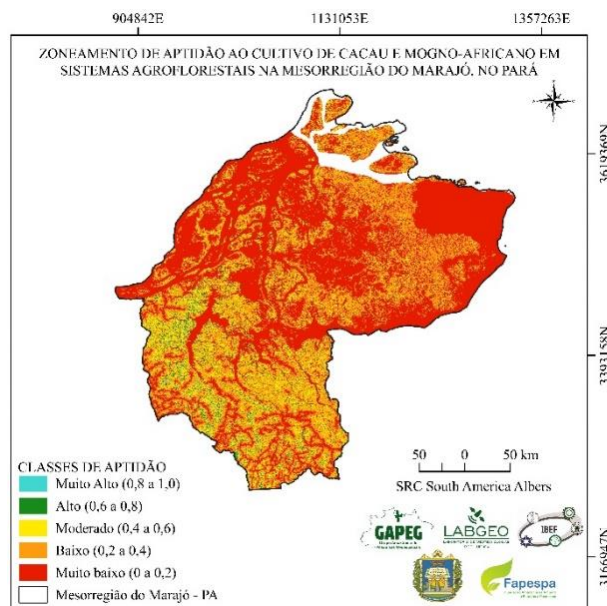


Figura 2. Mapa de zoneamento de aptidão ao cultivo consorciado de *Theobroma cacao* L. e *Khaya ivorensis* A. Chev. na Mesorregião do Marajó.

Figure 2. Zoning map of suitability for the intercropping of *Theobroma cacao* L. and *Khaya ivorensis* A. Chev. In the Marajó Mesoregion.

Os resultados indicaram forte predominância das classes "muito baixa" (0 a 0,2), com 54,61% da área total, e "baixa" (0,2 a 0,4), com 29,40%. A classe "moderada" (0,4 a 0,6) representou 13,23%, enquanto as classes "alta" (2,43%) e "muito alta" (0,34%) somaram apenas 2,77% da área analisada.

As áreas com maior aptidão concentraram-se na porção sul da mesorregião, especialmente no sudoeste e sudeste, associadas a zonas de maior aptidão edafoclimática. Já as classes "baixa" e "muito baixa" estiveram distribuídas amplamente no norte, nordeste e noroeste, abrangendo extensas áreas alagadas e margens de rios, conforme identificado pela análise de uso e ocupação da terra.

Um dos pontos determinantes para a configuração especial resultante foi a distribuição das classes de solo, um dos pontos cruciais a serem avaliados na implantação de SAFs na Amazônia (SERRA *et al.*, 2024). Nas áreas com maior aptidão verificou-se predominância de Latossolos, que apresentam características favoráveis ao desenvolvimento das espécies estudadas, como profundidade e boa drenagem (PAIVA *et al.*, 2021). Em contraste,

nas áreas com aptidão “baixa” e “muito baixa”, predominou a ocorrência de Gleissolos, que se caracterizaram por elevada saturação hídrica, sujeição a processos de oxidação-redução e drenagem deficiente (SEDORKO, 2024), características que comprometem o desenvolvimento das espécies avaliadas.

CONCLUSÕES

- Com base nas variáveis empregadas, 84% do território analisado não apresenta condições favoráveis ao cultivo consorciado de *Theobroma cacao* L. e *Khaya ivorensis* A. Chev., sendo 54,61% da região classificada como de muito baixa aptidão e 29,40% como baixa aptidão.
- Apenas 0,34% da área foi classificada como muito alta aptidão, enquanto 2,43% apresenta alta aptidão à implantação de SAFs com as espécies avaliadas, somando 2,77% da área em classes mais altas. As áreas de aptidão moderada representam 13,23% da área sob estudo.
- A espacialização ambiente SIG permitiu identificar com precisão as áreas mais e menos favoráveis, orientando o planejamento do uso da terra e alertando produtores e investidores sobre limitações territoriais.
- A metodologia usada se mostrou eficaz no zoneamento, fornecendo subsídios para políticas públicas, iniciativas de reflorestamento e programas de incentivo ao uso de SAFs adaptados às condições locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), ao Instituto de Biodiversidades e Florestas (IBEF), ao Laboratório de Geotecnologias (LABGEO/IBEF/UFOPA) e ao Grupo Amazônico de Pesquisas Geoespaciais (GAPEG) pelo apoio institucional, assim como à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

CONCEIÇÃO, M. M. M.; SOUZA, R. R. N.; SILVA, A. C. S.; MACHADO, N. I. G. CARNEIRO, C. C. A.; GUEDES, F. L. A lógica fuzzy no estudo da qualidade da água no rio Uraim Paragominas-PA. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 38575-38588, 2020.

COSTA, C.A. Circuito espacial de produção e círculos de cooperação no espaço: uma análise do setor cacauzeiro no estado do Pará, na Amazônia brasileira. **Espaço e Economia. Revista brasileira de geografia econômica**, [online]. 28 | 2025, posto online no dia 05 fevereiro 2025. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/espacoeconomia/28548>> Acesso em: 30 mai. 2025.

PAIVA, R. C.; MACHADO, L. C.; SOUSA, J. C. M. de; MORAES, V. C.; CONCEIÇÃO, S. S.; NOGUEIRA, G. A. S.; OLIVEIRA, J. T.; OKUMURA, R. S.; SILVA, P. A.; NETO, C. F. O. Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano. **European Academic Research**, [internet]. v. 9, n. 1, p. 504-518, 2021.

RAMALHO, A. H. C.; FIEDLER, N. C.; DOS SANTOS, A. R.; JUVANHOL, R. S.; DE OLIVEIRA PELÚZIO, T. M.; DIAS, H. M.; PEREIRA, R. S.; MAFFIOLETTI, F. D.; SILVA, E. F.; BIAZATTI, L. D.; ARAGÃO, M. A.; LUCAS, F. M. F.; ARAÚJO, E. F. Forest firefighting technology: Strategic water reservoir placement for terrestrial and aerial vehicles. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [internet], v. 108, p. 104496, 2024.

RODRIGUES, G. S.; TANCREDI, N. S. H.; LIMA, J. L.; GUERREIRO, Q. L. M.; RASCON, N. J. L. Legalidade das supressões de vegetação indicadas por alertas de desmatamento nas unidades de conservação federais de uso sustentável na Amazônia brasileira. **Biodiversidade Brasileira**, [internet]. v. 14, n. 2, p. 97-108, 2024.

SEDORKO, H. I. Caracterização e propriedades específicas do Gleissolo: desafios e importância de manejo adequado. **Anais da Jornada Científica dos Campos Gerais**, Ponta Grossa, v. 22, 2024.

SERRA, H. R. H.; MOTA, R. L. S.; SILVA, B. C.; SANTOS, E. M. C. Trabalho de Campo Integrado na Amazônia Meridional: a experiência da base comunitária agrícola em São Félix do Xingu -PA. **GeoPUC**, Rio de Janeiro, v. 16, p. e00115-e00115, 2024.

VIEIRA, L. S.; PANDOLFI, M. A. C.; MAGRINI, R.C. Sistemas agroflorestais brasileiros. **Revista Interface Tecnológica**, [internet]. v. 21, n. 1, p. 566-575, 2024.