

Análise multicritérios como ferramenta de identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na bacia hidrográfica do Rio Acará, PA

A incorporação da dendeicultura em território amazônico fez parte da idealização do crescimento econômico nacional vinculado à Amazônia, fomentada por programas e planos de desenvolvimento de cunho estatal e federal. A Bacia Hidrográfica do Rio Acará (BHRA) representa, atualmente, um importante papel na economia estadual referente à produção e exportação do óleo de palma, onde a cada ano que passa há um aumento das áreas destinadas à colheita do dendê na bacia. As geotecnologias, aliadas às bases de dados de sensoriamento remoto e processadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), atuam como instrumento auxiliador no monitoramento, investigação e prevenção das modificações ambientais. O Processo de Análise Hierárquico (AHP) consiste em uma metodologia direcionada para aperfeiçoar processos de tomada de decisão quando há multicritérios a serem avaliados, gerando um modelo validado que quantifica e hierarquiza a importância de cada critério a partir de pesos estipulados. Dessa forma, objetivou-se identificar e quantificar as áreas aptas a incorporar a expansão da dendeicultura na BHRA, por intermédio da metodologia AHP, e comparar os resultados com o Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo (ZAE-palma de óleo) da EMBRAPA. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizado para a delimitação da bacia hidrográfica e extração da rede de drenagem e declividade. A classificação supervisionada de uso e ocupação do solo do ano de 2020 foi realizada a partir de cenas do satélite Sentinel-2. Todos os procedimentos relacionados ao geoprocessamento foram executados no software Qgis 3.16.6. Com o objetivo de identificar as áreas aptas à expansão da dendeicultura, estipularam-se os critérios que influenciam na sua determinação, sendo: declividade, distância das estradas, distância da hidrografia, uso e ocupação do solo, pedologia e geologia. As áreas com excelente aptidão ocuparam uma área de 523,91 km², representando 3,87% do total da área que corresponde a BHRA. Essa classe corresponde às condições ideais para a expansão da dendeicultura. As áreas classificadas com boa aptidão apresentaram área de 3.157,62 km², representando 23,33% da BHRA. As áreas classificadas como "sem aptidão" ocuparam a maior área na BHRA, com 6.889,02 km², representando 50,90%. A metodologia AHP demonstrou-se mais eficiente e precisa na identificação das áreas aptas à expansão da dendeicultura em comparação ao ZAE-palma de óleo, apesar da utilização de diferentes critérios. A combinação da metodologia AHP com a aplicação de técnicas de geoprocessamento demonstrou-se extremamente útil na identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na BHRA.

Palavras-chave: Geoprocessamento; AHP; Amazônia; Tomada de decisão.

Multicriteria analysis as a tool for identification of suitable areas to palm oil expansion in Acará River water basin, Pará

The incorporation of the palm oil crop in Amazonian territory was part of an economic growth idealization bonded to the Amazon, promoted by state and national development plans and programs. The Acará River Water Basin (ARWB) currently represents an important role in the state economy, which concerns the production and exportation of palm oil, where each year it has an increase in the areas destined to palm oil crop. The geotechnology, allied to the remote sensing database and processed in the Geographic Information System (GIS), acts as a helper tool for the monitoring, investigation and prevention of the environmental modifications. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a methodology directed to improve decision-making processes when it has multicriteria to be evaluated, generating a validated model, which quantifies and ranks the importance of each criteria through stipulated weights. Thus, the aim of this research is to identify and quantify suitable areas for the palm oil expansion in the ARWB, through AHP methodology, and compare the results with the agroecological zoning for palm oil crop (ZAE-palm oil) made by EMBRAPA. The Digital Elevation Model (DEM) was used to delimitate the water basin, extract the drainage network and declivity. The supervised classification of land use and cover of 2020 was made through Sentinel-2 scenes. All procedures involving geoprocessing were performed in software Qgis 3.16.6. With the objective to identify the suitable areas, were determined the criteria that has influence in the aim determination, which are: declivity, roads distance, rivers distance, land use and cover, soil and geology. The areas with excellent suitability occupied 523.91 km², representing 3.87 per cent from the whole basin area. That class correspond to the ideal conditions for the palm oil expansion. The areas classified as good suitability occupied 3,157.62 km², representing 23.33 per cent from the ARWB. The areas without suitability occupied the most of the ARWB, with 6,889.02 km², representing 50.90 per cent. The AHP methodology presented as more efficient and precise in identify suitable areas for palm oil expansion in compare to the ZAE-palm oil, despite the use of different criteria. The combination of AHP methodology and the geoprocessing techniques demonstrated extremely useful in the identification of suitable areas for palm oil expansion in ARWB.


Keywords: Geoprocessing; AHP; Amazon; Decision making.


Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**


Received: **04/08/2021**


Approved: **29/08/2021**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Albertino Monteiro Neto 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0967056836314961>
<http://orcid.org/0000-0001-7318-2413>
albertino.monteiro.neto@gmail.com


Ivan Carlos da Costa Barbosa 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3888979612130966>
<http://orcid.org/0000-0002-7358-5789>
ivan.barbosa1212@gmail.com


Ayslla Mendonça dos Santos 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4675371117067641>
<http://orcid.org/0000-0001-8240-3767>
ayslla3@gmail.com


Paula Maria de Melo Menezes 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3926448534771124>
<http://orcid.org/0000-0003-4648-9916>
paulamariamenezes@gmail.com

Luciane Gomes Fiel 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8067274489884326>
<http://orcid.org/0000-0002-9788-2331>
lucianefiel@gmail.com

Marina Costa de Sousa 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1230585508310098>
<http://orcid.org/0000-0002-9063-6496>
sousamarina.mcs@gmail.com

Lucas Mota Batista 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5910833811483129>
<http://orcid.org/0000-0002-0788-2021>
lucasmotab4@gmail.com

Rodrigo Richard de Lima Rodrigues 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0288986471971253>
<http://orcid.org/0000-0001-9541-705X>
drigo27lima@gmail.com

Luiz Gonzaga da Silva Costa 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8061175054495441>
<http://orcid.org/0000-0002-2701-2939>
luizgonzagacosta53@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0046

Referencing this:

MONTEIRO NETO, A.; BARBOSA, I. C. C.; SANTOS, A. M. S.; MENEZES, P. M. M.; FIEL, L. G.; SOUSA, M. C.; BATISTA, L. M.; RODRIGUES, R. R. L.; COSTA, L. G. S.. Análise multicritérios como ferramenta de identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na bacia hidrográfica do Rio Acará, PA. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.584-607, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0046>

INTRODUÇÃO

Historicamente, a expansão agropecuária, majoritariamente representada pela soja, dendê e bovinos, assumiu um caráter agressivo na ocupação da Amazônia legal, refletida nas altas taxas de desmatamento que se estenderam entre os anos de 1988 e 2006, tornando a crescer nos últimos dois anos (NAHUM et al., 2020; PRODES, 2020). A partir do modelo de cultivo intensivo adotado nos planos de desenvolvimento governamentais, tem-se a impressão de que cada vez mais a agricultura de subsistência, os povos tradicionais e a biodiversidade singular encontrada nesse ambiente, vão sendo apagados pela inevitável ampliação da fronteira agrícola na Amazônia (DOMINGUES et al., 2012; REGO et al., 2018).

A incorporação dos dendezais em território amazônico fez parte da idealização do crescimento econômico nacional vinculado à Amazônia. Fomentada por programas e planos de desenvolvimento de cunho estatal e federal, a monocultura do dendezeiro encontrou na Amazônia o cenário ideal para o seu cultivo, tanto em questões climáticas quanto políticas (FEROLDI et al., 2014; SOUSA et al., 2019). No cenário atual, o dendê manifesta-se em um recente paradigma a ser compreendido, relacionada a sua inserção na matriz energética brasileira por meio da produção do biodiesel, deixando de ser estritamente destinada a fins alimentícios e cosméticos (CASSOL et al., 2016; SOUSA et al., 2019; NAHUM et al., 2020).

A Bacia Hidrográfica do Rio Acará (BHRA) representa atualmente um importante papel na economia estadual referente à produção e exportação do óleo de palma. A cada ano que passa, há um aumento das áreas destinadas à colheita do dendê na bacia, evoluindo de 28.987 hectares em 2013 para 69.167 hectares em 2018. Além disso, no ano de 2018 a região representou 73% de toda a produção de cacho de dendê do Estado do Pará. Assumida essa posição de protagonismo frente à economia estadual e nacional, a necessidade de atenção e responsabilidade em relação às questões ambientais deveria acompanhar o ritmo assumido pela expansão dos dendezais na bacia, o que não ocorre na prática (DIAS et al., 2020; FAPESPA, 2020).

Quando se presencia um cenário onde há a ausência ou a negligência de um planejamento agrícola adequado às circunstâncias locais, aliada à expansão desenfreada de determinada monocultura, como o dendê, os impactos ocasionados às esferas ambientais e socioeconômicas expressam-se de forma mais enérgica. Os principais impactos causados por esse insumo estão relacionados à contaminação de corpos hídricos devido ao escoamento superficial de agrotóxicos, pesticidas e fertilizantes; ao intenso empobrecimento nutricional do solo frente ao modelo de monocultura intensiva adotado; assoreamento de nascentes; concentração de terras; e ameaça à agricultura tradicional local (CRUZ et al., 2018; SOUSA et al., 2019; NAHUM et al., 2020).

Diante disso, os instrumentos legais surgem como forma de cercear a utilização dos recursos naturais para que haja a conjunta satisfação humana e proteção ambiental, além do exercício de seu caráter punitivo e fiscalizador. Tem-se como exemplo o novo código florestal que dispõe sobre a delimitação e conservação de Áreas de Preservação Permanente (APP), reserva legal e exploração florestal, além do incentivo à preservação e recuperação ambiental por meio de programas que promovam a conciliação entre

produtividade e sustentabilidade a partir da adoção de tecnologias e boas práticas (BRASIL, 2012). A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) promove a utilização racional da água, garantindo às gerações futuras o acesso a esse recurso em boas condições de uso, além de dispor sobre outorga de direito, cobrança de uso, compensações, infrações e penalidades (BRASIL, 1997).

As geotecnologias, aliadas às bases de dados de sensoriamento remoto e processadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), atuam como instrumento auxiliador no monitoramento, investigação e prevenção das modificações ambientais. Essa ferramenta proporciona uma robusta capacidade de integração e processamento de dados, o que permite aplicar metodologias de análises mais precisas, replicáveis, econômicas e com menores necessidades de intervenções humanas (CALDAS et al., 2019; PEIXOTO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2020).

O Processo de Análise Hierárquico (AHP) é uma metodologia bastante utilizada em análises ambientais, seja na identificação de vulnerabilidade ambiental (PEIXOTO et al., 2019), susceptibilidade à erosão (CALDAS et al., 2019), áreas aptas à expansão urbana (SANTOS et al., 2017), expansão de estradas (HAN et al., 2020) e identificação de áreas aptas a agricultura familiar (MISHRA et al., 2015). Ressalta-se que não foram encontrados na literatura artigos que apliquem a análise multicritério na mesma temática à aplicada nesta pesquisa. O AHP consiste em uma metodologia direcionada para otimizar processos de tomada de decisão quando há multicritérios a serem avaliados, gerando um modelo validado que quantifica e hierarquiza a importância de cada critério a partir de pesos estipulados (SAATY, 1990).

Dessa forma, objetivou-se identificar e quantificar as áreas aptas a incorporar a expansão da dendeicultura na Bacia hidrográfica do rio Acará, por intermédio da metodologia de Processo de Análise Hierárquico (AHP), haja vista sua crescente expansão na área de estudo. A partir dos resultados obtidos, buscou-se comparar com o Zoneamento Agroecológico para a cultura de palma de óleo na Amazônia elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Acará (BHRA) (Figura 1) localiza-se na Amazônia Oriental, especificamente na microrregião de Tomé-Açú, e está inserida no grande sistema hidrográfico da bacia hidrográfica do rio Guamá. Possui uma área de 13.536,32 Km² abrangendo nove municípios: Acará, Aurora do Pará, Bujaru, Concórdia do Pará, Ipixuna do Pará, Moju, São Domingos do Capim, Tailândia e Tomé-Açu. Entretanto, a bacia está majoritariamente compreendida entre os municípios de Tomé-Açú, Tailândia e Acará, expressando 98 % de sua área (SOUZA et al., 2019).

A nascente do rio principal, que dá nome à bacia, está localizada no município de Tailândia. O rio percorre cerca de 383 km até chegar em seu exutório na baía do Guajará, no município de Belém. As principais vias de comunicação e transporte que perpassam a bacia são: PA-252, PA-256, PA-451, PA-140 e PA-150.

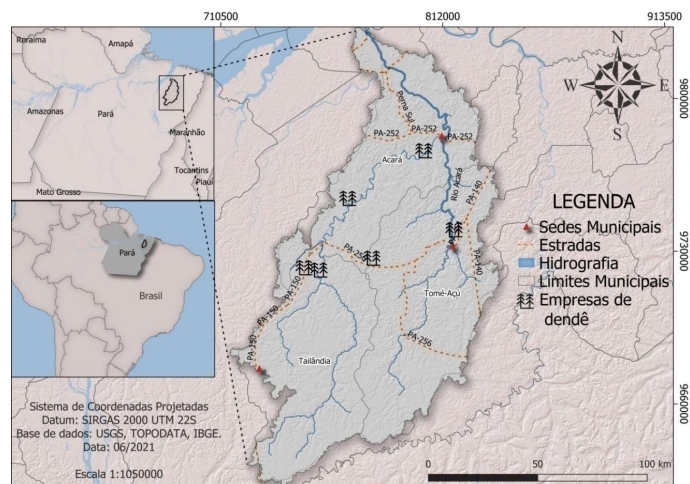


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

De acordo com a classificação Köppen-Geiger, a bacia hidrográfica do rio Acará abrange dois tipos climáticos: *Af* (Tropical equatorial) e *Am* (Tropical de monção). O primeiro tipo caracteriza-se por um clima quente e úmido, sem estação seca, com temperatura do mês mais quente maior que 22° C e do mês mais frio maior que 18° C e precipitações nos meses secos maiores que 60 mm. Já o tipo *Am* apresenta característica bem semelhantes com inverno seco, chuvas excessivas maiores que 2.500 mm por ano (KÖPPEN et al., 1928).

Dentre as principais atividades realizadas é possível destacar o cultivo do dendê, o qual se apresenta em um modelo intensivo, especificamente a agricultura de precisão, havendo o cultivo exclusivo da palmeira em extensas áreas. A partir do dendê é extraído o óleo de palma, utilizado extensivamente para fins alimentícios, além de sua utilização na produção de biocombustíveis (SOUZA et al., 2019; SOUSA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2021).

Aquisição de dados

Na Figura 2 é possível observar o fluxograma das bases de dados utilizadas na pesquisa, com seus respectivos produtos. Ressalta-se que os produtos cedidos pelo TOPODATA e USGS são disponibilizados em formato *raster*, já os disponibilizados pelo IBGE e DNIT são disponibilizados em formato *shapefile*.

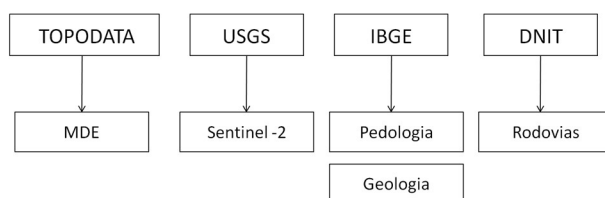


Figura 2: Fluxograma das bases de dados e os produtos obtidos em cada uma delas. Nota – MDE: Modelo Digital de Elevação; USGS: United States Geological Survey; IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.

O Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e disponibilizado pelo *United States Geological Survey* (USGS), foi obtido pelo projeto TOPODATA¹.

¹ <http://www.dsr.inpe.br/topodata> (Acesso em: 20 jul. 2020)

As cenas utilizadas possuem resolução espacial de 90 m e sistema de coordenadas de referência WGS84. Os códigos das cenas utilizadas para a Bacia Hidrográfica do rio Acará (BHRA) foram: 01S495, 02S495, 02S48_ e 03S495. Após a obtenção das imagens foi feito um mosaico das cenas e a reprojeção para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 22 S.

As cenas utilizadas para a análise de uso e ocupação do solo na BHRA foram provenientes do satélite MSI / Sentinel-2 do dia 9 de julho de 2020, e possuem os seguintes códigos: 22MGB, 22MGC, 22MGD, 22MHB, 22MHC e 22MHD.

As imagens do satélite são disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS)². Deve-se enfatizar que as cenas obtidas a partir dessa plataforma já são fornecidas com as correções atmosféricas efetuadas.

O Sentinel-2 é um satélite que faz parte da missão Copernicus e leva a bordo o sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), o qual tem como objetivo a aquisição de imagens de alta resolução da terra e águas costeiras, possuindo 13 bandas com resoluções espectrais de 10, 20 e 60 metros. Além disso, o satélite é pertencente à Agência Espacial Europeia.

Os dados referentes à pedologia e geologia foram extraídos gratuitamente a partir da base de dados do IBGE, em formato *shapefile*. Ambos os dados são disponibilizados na escala de 1:250.000. Os dados sobre a malha rodoviária federal e estadual são disponibilizados pelo Ministério da Infraestrutura e foram extraídos a partir da base de dados do Departamento Nacional de infraestrutura de Transporte (DNIT). Os dados sobre o Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo (ZAE-palma de óleo) feito pelo EMBRAPA foram obtidos em formato *shapefile* na escala de 1:600.000 (EMBRAPA, 2010).

Delimitação da Bacia Hidrográfica

A delimitação automática da bacia hidrográfica foi desenvolvida no *software* Qgis 3.6.2 juntamente com o conjunto de ferramentas disponíveis no SIG GRASS 7.6.1 e SAGA (Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado). A metodologia utilizada na delimitação da bacia e definição da hidrografia foi baseada em Costa et al. (2020). Da obtenção dos MDE's até a confecção dos mapas os algoritmos dispostos na Tabela 1 foram utilizados.

Tabela 1: Algoritmos utilizados no processamento dos dados SRTM para delimitação da bacia e rede hidrográfica.

Algoritmos	Descrição
<i>Fill sinks</i>	É o preenchimento de falhas (<i>Sinks</i>) ocasionadas pelo erro na leitura do radar devido à ocorrência de corpos hídricos e relevos acidentados. Para o preenchimento leva-se em consideração a altitude dos pixels vizinhos.
<i>r.watershed</i>	Gera a direção do fluxo da água, rede de drenagem e as delimitações das sub-bacias hidrográficas da cena.
<i>r.water.outlet</i>	Determina o limite da bacia hidrográfica alvo a partir do seu exutório.
<i>Strahler order</i>	Determina o ordenamento da rede de drenagem de acordo com o método de Strahler (1957).

Após a obtenção do limite da bacia, fez-se a vetorização dos dados *raster* por meio do comando *r.to.vect* para maior otimização dos processamentos seguintes. Após isso, a hidrografia ordenada de acordo

² <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

com Strahler (1957) foi gerada por meio do comando *Strahler order* e logo em seguida vetorizada.

A partir do preenchimento de vazios (*fill sinks*) utilizou-se a ferramenta *declive* para a determinação da declividade, dada em porcentagem. Em seguida, fez-se a reclassificação através do algoritmo *r.recode* de acordo com o padrão da EMBRAPA (2018), o qual estabelece: para terrenos planos o intervalo de 0 a 3% de inclinação; para terrenos suavemente ondulados o intervalo de 3 a 8% de inclinação; para terrenos ondulados o intervalo de 8 a 20% de inclinação; para terrenos fortemente ondulados o intervalo de 20 a 45% de inclinação; para terrenos montanhosos o intervalo de 45 a 7 % de inclinação e para terrenos escarpados inclinações maiores que 75%.

Classificação de Uso e Ocupação do Solo

O pré-processamento das imagens foi realizado na interface do *software* Qgis 3.16, consistindo na criação da composição de bandas, reprojeção do sistema WGS 84 para o sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000 UTM 22S e a criação do mosaico. As bandas utilizadas para a composição dos canais RGB (*Red, Green, Blue*) foram as que possuem a resolução espacial de 10 metros, sendo as bandas B2, B3, B4 e B8.

Após isso, foi feito o recorte para o *shapefile* referente à área de estudo por meio do comando 'recortar raster pela camada de máscara'. Esse comando recorta uma camada matricial (*raster*) através dos limites de uma camada máscara vetorial (*shapefile*), facilitando a manipulação e processamento dos dados para os passos seguintes.

A classificação supervisionada foi realizada a partir da coleta de amostras de treinamento ou regiões de interesse para cada classe estipulada na área de estudo. Essas amostras são processadas e compreendidas pelo algoritmo, as quais servem como referência para a criação da classificação automática de toda a extensão da área de estudo (PAPA, 2008).

Para a BHRA foram estipuladas nove classes temáticas, baseadas em Dias (2019) sendo: Floresta primária, floresta secundária, hidrografia, dendeicultura, agropecuária, solo exposto, urbanização, nuvem e sombra de nuvem.

O *plugin* utilizado para processar a classificação foi o *Semi-automatic Classification Plugin (SCP)*, disponível nos complementos do *software* Qgis 3.16. O algoritmo utilizado para a classificação supervisionada foi o *Maximum Likelihood*. Tal método apresenta um extenso aporte de conhecimento prático, por isso tem sido extensivamente utilizado na classificação de imagens de satélite (COELHO et al., 2014; NAVIN et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2020; SILVA et al., 2020a).

Após a elaboração da classificação, foi feita a validação de acordo com Oliveira et al (2013) e Silva et al. (2020a). A validação é feita a partir de uma segunda classificação de referência feita com os mesmos padrões da primeira, porém, com amostras de treinamento coletadas em diferentes áreas. A partir disso, foi gerada a matriz de confusão entre as duas classificações e posteriormente o índice Kappa, através da ferramenta "r.kappa".

O índice Kappa consiste em uma medida que prevê a concordância entre duas ou mais observações,

indicando a precisão das interpretações. Assim, esse índice avalia a concordância da classificação em relação a uma classificação de referência a partir da matriz de confusão, com um intervalo que varia de 0 a 1 (LANDIS et al., 1977).

Processo de Análise Hierárquico (AHP)

Com o objetivo de identificar as áreas aptas à expansão da dendeicultura, estipularam-se os critérios que influenciam na sua determinação, tendo como base a pesquisa de Mishra et al. (2015). Dentro de cada critério, identificaram-se quais os subcritérios que os compõem (Figura 3).



Figura 3: Hierarquia determinada para a identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura. Nota: NQdl – Cobertura Detrito-Laterítica Neo-Pleistocênica, Enb – Barreiras, K2ix – Ipixuna, N1dl - Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica, Q2a - Depósitos Aluvionares Holocênicos, E3dl - Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, Q1bt - Cobertura Sedimentar do Baixo Tocantins.

Os pesos dos critérios foram determinados a partir da comparação pareada, e assim determinando-se a relevância de cada critério para a concepção do objetivo. O mesmo processo foi realizado com os subcritérios, definindo-se os seus pesos dentro de cada um dos critérios. Os valores dos pesos utilizados foram baseados na escala de Saaty com os nove pesos fundamentais do julgamento comparativo (Tabela 2).

Tabela 2: Escala fundamental de valores absolutos usados para atribuir valores numéricos em julgamentos entre dois elementos.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Um elemento é ligeiramente mais favorável em relação à outra
5	Importância forte	Um elemento é fortemente mais favorável em relação à outra
7	Importância muito forte	Um elemento é muito fortemente mais favorável em relação à outra
9	Importância extrema	Um elemento é extremamente mais favorável em relação à outra
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	-

Em seguida, calcularam-se os índices de validação λ_{max} (lambda máximo), Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC), os quais indicam se os pesos atribuídos são consistentes para a geração do modelo.

O λ_{max} é adquirido através da média dos lambdas obtidos entre a diferença dos produtos vetoriais e dos pesos (autovetores) dos critérios/subcritérios, onde quanto mais próximo o valor do λ_{max} for da ordem da matriz, mais consistente é o modelo.

O IC e o RC foram obtidos através das Equação 1 e 2, respectivamente.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

Onde IC equivale ao índice de consistência; λ_{max} ao lambda máximo; e n a ordem da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde RC equivale à razão de consistência; IC ao índice de consistência; e o IR o índice randômico.

O índice randômico é um valor pré-determinado de acordo com a ordem da matriz de elementos não-negativos, e é fornecido por meio de uma tabela de valores determinada por Saaty (1990) (Tabela 3).

Tabela 3: Valores de IR em relação à cada ordem da matriz.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

A RC mede a conformidade e a consistência dos pesos atribuídos entre os elementos na análise de comparação pareada. Caso o valor seja superior a 0,10, o modelo apresenta inconsistências e deve ser refeito pelo analista. Assim, quanto mais próximo de “0” for o valor obtido pela RC, mais consistente e coerente será o modelo (SAATY, 1990; BISPO et al., 2020). Na Tabela 4 observa-se a matriz de comparação entre os critérios, com os pesos e os índices de validação.

Tabela 4: Matriz de comparação par a par entre os critérios.

Critérios	Uso e ocupação do solo	Declividade	Estradas	Hidrografia	Pedologia	Geologia	Validação
Uso e ocupação do solo	1	1	1	1	1	2	$\lambda_{max} - 6,06$
Declividade	1	1	1	1	1	2	
Estradas	1,00	1,00	1	1	1	2	IC – 0,01
Hidrografia	1,00	1,00	1,00	1	1	2	RC – 0,01
Pedologia	1,00	1,00	1,00	1,00	1	2	
Geologia	0,50	0,50	0,50	0,5	0,5	1	
Pesos	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,09	

Para a identificação das áreas aptas a expansão da dendeicultura na BHRA, os critérios uso e ocupação do solo, declividade, estradas, hidrografia e pedologia foram atribuídos com o mesmo peso (0,18), apresentando igual importância. Já o critério geologia obteve o peso 0,09, possuindo menor importância para o desempenho do objetivo.

Após a obtenção dos pesos, os critérios foram convertidos para formato *raster* e submetidos à álgebra de mapas na interface do *software* Qgis 3.16, através da ferramenta *calculadora raster*, por meio da Equação 3. Além disso, aplicou-se a multiplicação do *raster* das coberturas protegidas pela legislação (floresta primária, hidrografia, urbanização, APP's, assentamentos e terras indígenas), coberturas desconsideradas na análise (nuvem e sombra de nuvem) e da dendeicultura, tendo o valor “0” correspondente às suas áreas, e o valor “1” para as demais áreas não contempladas por essa limitação. Ao final do processo, obteve-se o mapa de aptidão para a expansão da dendeicultura na BHRA.

$$(\sum x * Wi) * \beta \quad (3)$$

Onde “ $\sum x * Wi$ ” é a soma dos critérios (x) multiplicado pelos seus pesos (Wi); e “ β ” corresponde as áreas atribuídas previamente com peso “0,00”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Geoambiental

A caracterização geoambiental consiste na análise individual de cada critério considerado para a

geração do mapa de aptidão da expansão da dendeicultura na BHRA. Assim, em cada critério busca-se evidenciar as justificativas para os pesos atribuídos em cada subcritério. Na Figura 4 é possível observar o mapa de declividade da BHRA, na qual foram identificadas as classes: plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado.

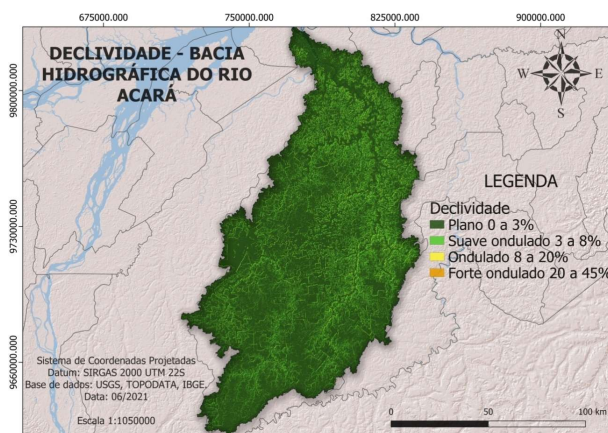


Figura 4: Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

A declividade média observada para a bacia do Acará foi de 1,84 % de inclinação, classificado como plano, e a sua declividade máxima foi de 21,57% de inclinação, classificado como forte ondulado. Assim, a declividade do terreno na BHRA contempla somente até a classe fortemente ondulado (20-45%), com o terreno predominantemente enquadrado às classes plano e suave ondulado, representando 58,57 % e 32,54 % da área total, respectivamente. Infere-se, também, que a declividade da bacia é distribuída de forma homogênea, apesar de sua extensa área.

De acordo com Höfig et al. (2015), a declividade do terreno e o potencial de mecanização agrícola apresentam relação inversamente proporcional, em que áreas de relevo plano à suave ondulado possuem alto potencial para a mecanização agrícola, e para áreas maiores que 20% a mecanização não é recomendada. Além disso, áreas de relevo plano (0 – 3%) possuem maior capacidade de acumulação de matéria orgânica, diferentemente de áreas que possuem maiores declividades, as quais ainda apresentam maiores riscos à perda de solo por erosão (IORI et al., 2014; HÖFIG et al., 2015).

Assim, priorizou-se áreas planas e suave onduladas, as quais representam 58,57% e 32,54% da área da BHRA, respectivamente, apresentando os maiores pesos para a análise (0,51 e 0,31, respectivamente). As áreas onduladas e forte onduladas, as quais representam 8,72% e 0,14% da área da BHRA, obtiveram os menores pesos (0,14 e 0,05, respectivamente), haja vista a incapacidade de mecanização e potenciais perdas de solo nessas regiões. Dessa forma, em relação à declividade, a BHRA apresenta 91,11% de área com os maiores pesos para a expansão da dendeicultura na região. Na Figura 5 é possível observar a hierarquização da rede de drenagem de acordo com Strahler (1957) e a malha viária da bacia.

Na análise de hierarquização segundo Strahler (1957) constatou-se que a bacia hidrográfica do rio Acará é de 6ª ordem, lhe conferindo um sistema de drenagem com boa eficiência, posto que quanto mais ramificada seja a rede de drenagem, mais eficiência lhe é atribuída. Os rios de 4ª ordem iniciam-se ao sul da bacia, em que ao se juntar com outro rio de 4ª ordem, formam-se os rios de 5ª ordem, até chegar à formação

do rio de 6ª ordem, originando-se na sede urbana do município de Tomé-Açú.

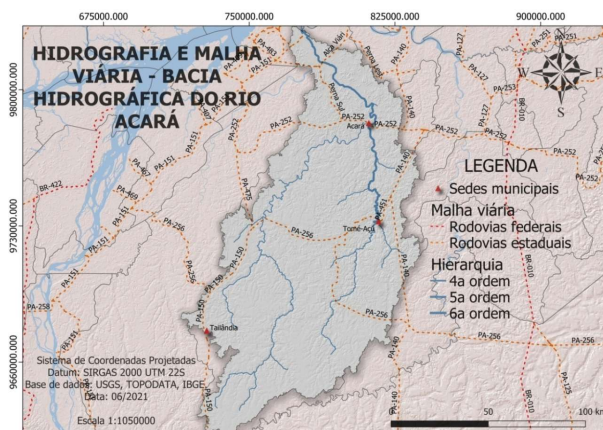


Figura 5: Mapa do ordenamento da rede de drenagem e malha viária da Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

Os rios de 1ª, 2ª e 3ª ordem foram desconsiderados na análise devido à distância de uma margem a outra ser insuficiente às embarcações de médio e grande porte para o escoamento do produto por meio das hidrovias. Além disso, os rios de ordem mais baixa apresentam adversidades para serem monitorados, as quais são relacionadas às dificuldades de acesso e de identificação remota. Ademais, incluir os rios de baixa ordem no modelo demanda uma elevada capacidade de processamento computacional, haja vista que se apresentam em excessivas quantidades.

Na atribuição de pesos, determinaram-se os maiores valores para as áreas mais distantes dos cursos d'água, onde áreas com distâncias menores que 5 km dos cursos d'água receberam peso 0,04; de 5 a 10 km, peso 0,07; de 10 a 15 km, peso 0,14; de 15 a 20 km, peso 0,23; de 20 a 25 km, 0,26; e para distâncias maiores que 25 km, receberam peso 0,26. As APP's receberam peso "0,00", de acordo com sua prévia proteção pelo novo código florestal (BRASIL, 2012).

Essa relação foi estabelecida devido ao modelo de cultivo adotado pelas empresas produtoras de dendê na região, onde significativas quantidades de fertilizantes e agrotóxicos são utilizadas devido ao rápido consumo dos nutrientes e desgaste do solo. Assim, essas substâncias podem ser inseridas na rede de drenagem da bacia através do escoamento superficial ocasionado pelas chuvas, tendo impacto negativo na qualidade das águas dos rios (ZIMMERMANN, 2009; CRUZ et al., 2018; SOUSA et al., 2019).

Em pesquisa realizada por Cruz et al. (2018) no município de Tailândia, integrante da BHRA, os autores avaliaram os impactos socioambientais da produção do dendê em relação ao uso de agrotóxicos. Dentre as substâncias identificadas pelos autores, foi detectado atrazina nos pontos de análise, a qual é utilizada no solo cultivado e que pode ser escoada até habitats aquáticos, causando o bloqueio da fotossíntese de plantas mais sensíveis e sucessivamente a sua morte.

Souza et al. (2019), em pesquisa feita no município do Acará, realizaram análise de qualidade de água em trechos próximos a dendezaís, onde os autores puderam detectar elevados teores de fósforo total e nitrogênio total. De acordo com os autores, essas alterações podem ter relação com a utilização do herbicida *Roundup*, o qual é aplicado periodicamente na área, e tem como princípio ativo o ácido N-fosfometil.

A BHRA disponibiliza as condições climáticas ideais para o desenvolvimento do dendezeiro,

concedendo cerca de 2400 mm de chuva anual, atingindo mais de 400 mm no mês mais chuvoso (março) e mais de 50 mm no mês menos chuvoso (setembro) (ANA, 2021). Ressalta-se que baixas na precipitação não ocasionam a morte da palmeira do dendê, mas podem provocar quedas de produtividade. Assim, o potencial hídrico da região dispensa a necessidade de irrigação da palmeira na fase produtiva, sendo necessária somente na fase em que a planta se encontra no viveiro e em regiões do nordeste e centro-oeste do país (MULLER, 1980; BARCELOS et al., 1987; LIMA et al., 2000).

As principais rodovias que interligam a área da BHRA podem ser observadas na Figura 6. A PA-256 atravessa a área da bacia na porção central, interligando os municípios de Tailândia e Tomé-Açu através da PA-150 e PA-451. Já a PA-150, juntamente com PA-475 e PA-252 interligam os municípios de Tailândia e Acará pela porção oeste. Na porção leste, os municípios de Tomé-Açu e Acará são interligados por meio da PA-451, PA-140 e PA-252. A comunicação com a região metropolitana de Belém, ao norte, é feita pela perna sul e alça viária.

A disposição das rodovias representa um importante fator econômico na cadeia produtiva do dendê. As estradas são responsáveis pelo escoamento do produto para os pólos de beneficiamento e extração do óleo de palma, seguindo, posteriormente, para a cadeia de exportação multimodal, já abrangendo os transportes ferroviários, hidroviários e aeroviários nos níveis regionais, nacionais e internacionais (WAYDZIK et al., 2020; BARROS et al., 2020).

Dessa forma, a proximidade das estradas em relação às áreas para expansão dos dendezais apresenta-se com significativa importância econômica, onde a sua disposição representa o desenvolvimento estrutural básico que possibilita a comunicação das regiões mais distantes com os pólos localizados nas cidades (NAHUM et al., 2015). Os custos logísticos tornam-se menores em porções mais próximas às rodovias, o que justifica os maiores pesos atribuídos em áreas próximas às estradas, onde áreas com distâncias menores que 5 km das estradas receberam peso 0,29; de 5 a 10 km, peso 0,27; de 10 a 15 km, peso 0,22; de 15 a 20 km, peso 0,12; de 20 a 25 km, 0,07; e para distâncias maiores que 25 km, receberam peso 0,03.

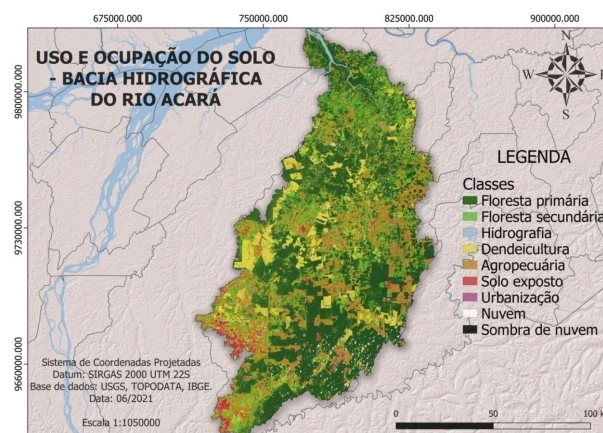


Figura 6: Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Acará, no ano de 2020.

Na Figura 6 é possível observar o mapa de uso e ocupação do solo da BHRA, na qual foram identificadas as classes floresta primária, floresta secundária, hidrografia, dendecultura, agropecuária, solo

exposto, urbanização, nuvem e sombra de nuvem.

A classificação supervisionada apresentou qualidade excelente de acordo com o índice Kappa, obtendo o valor de 0,81. Dessa forma, infere-se que a classificação apresenta uma excelente acurácia, sendo proveitosa para análises ambientais.

Ao observar a Figura 6, percebe-se que a classe floresta primária apresenta maior extensão territorial, representando cerca de 44% do total na BHRA. Apesar de se apresentar bem espacializada ao longo da área da bacia, percebe-se uma concentração na porção sudeste. Essa classe expressa a ausência de interferência humana, a qual mantém suas características naturais e estruturais primárias (BARBOSA et al., 2020).

A floresta primária na BHRA é caracterizada pela presença majoritária de floresta ombrófila densa de terras baixas e aluvial. Essa vegetação ocorre em regiões predominantemente úmidas com ausência de período seco e de elevadas taxas de precipitação. Quanto às características fitossociológicas, apresenta florestas perenifólias com espécies latifoliadas (PRODES, 2013; LINGNER et al., 2015). A essa classe foi dado peso “0,00”, atribuindo-lhe ausência de aptidão, haja vista sua proteção prevista em lei (BRASIL, 2012).

A floresta secundária representou 14,82% da área, ocupando cerca de 2.000 km² concentrados, majoritariamente, na porção norte da bacia. A vegetação secundária caracteriza-se por representar um processo natural de regeneração por consequência de atividades antrópicas como a agropecuária. Essa classe pode estar inserida em diferentes níveis de desenvolvimento e tem sua origem relacionada ao abandono do terreno após a perda de produtividade (BELATO et al., 2019, BARBOSA et al., 2020).

A vegetação secundária contribui na remoção de carbono atmosférico, o que reduz a presença de gases do efeito estufa na atmosfera, além da manutenção da fertilidade do solo. A presença dessa classe indica um cenário favorável à manutenção do equilíbrio dinâmico do ambiente, o qual pode ser intensificado por ações antrópicas com a inserção de áreas de silvicultura e dendezais na composição de áreas de floresta secundária (ALMEIDA et al., 2010; CASSOL et al., 2016; MARAN et al., 2020). Não se observa na legislação disposições que impeçam a exploração da floresta secundária para a agricultura (BRASIL, 2012), entretanto, dada a sua contribuição para o meio ambiente, a essa classe foi atribuído o menor peso (0,14).

O monocultivo do dendê na BHRA se expressa, majoritariamente, em um modelo intensivo de agricultura de precisão, caracterizado pelo elevado nível tecnológico e pela utilização de extensas áreas para o cultivo de um único insumo agrícola (MOLIN et al., 2015), refletido na concentração dessa classe na porção oeste da bacia, no município de Tailândia, sudeste, no município de Tomé-Açú, e uma pequena porção na parte nordeste, no município do Acará. A área referente a essa classe representa 16,9% do total que corresponde à BHRA, refletidos em 2.290,10 km². Essa classe também foi atribuída com peso “0,00”, sendo desconsiderada da análise AHP, haja vista sua prévia consolidação na área de estudo.

Os impactos socioeconômicos ocasionados pela monocultura do dendê relacionam-se à perda de autonomia sob o território de pequenos agricultores, em locais de integração de cultivo de dendezeiros. Essa problemática é relativa do contrato de inclusão dos pequenos produtores na cadeia produtiva da palmeira,

em que as empresas não permitem o cultivo de outras culturas em consórcio com o dendê, o que também contribui para a consolidação dessa cultura na BHRA (HOMMA, 2016; SOUSA et al., 2019).

Os impactos ambientais ocasionados pela dendeicultura estão relacionados ao desgaste e a diminuição de nutrientes no solo. Além disso, o uso de agroquímicos e fertilizantes para o controle de pragas, doenças e para a reposição de nutrientes do solo, podem ser escoados pela chuva até os corpos hídricos, tornando-se um potencial para a alteração da qualidade da água (ZIMMERMANN, 2009; CRUZ et al., 2018; SOUSA et al., 2019).

Todavia, a expansão da dendeicultura também exprime impactos positivos no que concerne à sua inserção na matriz energética brasileira por meio de programas governamentais. O Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel (PNPB) estimulou a produção de biocombustíveis a partir de fontes oleaginosas e, juntamente com o Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil investe para suprir a demanda brasileira por biocombustíveis (CASSOL et al., 2016; SOUSA et al., 2019).

As áreas de agropecuária, as quais abrangem regiões de agricultura e pastagem, concentram-se majoritariamente nas porções sudoeste e leste da bacia, abrangendo os municípios de Tailândia e Tomé-Açu, respectivamente. Em 2020, essa classe representou 18,77% do total da área da BHRA, representados em cerca de 2.500 km², o que traduz o modelo econômico dos municípios que compõem a bacia a partir de uma dinâmica majoritariamente rural, refletida na presença de extensas áreas de pecuária e monoculturas incentivadas por projetos, políticas e programas de cunho estatal e federal (GURGEL et al., 2017; DIAS, 2020; NAHUM et al., 2020).

Dentre os impactos causados pela expansão da agropecuária, é possível destacar: compactação do solo; erosão; impermeabilização; contaminação de rios, lagos, açudes e lençóis freáticos por agrotóxicos; perda de biodiversidade; e aparecimento de pragas (DOMINGUES et al., 2012). Devido a essa classe já ser caracterizada com processos de antropização, a ela foi atribuído o segundo maior peso (0,29).

A classe referente ao solo exposto representou 1,92% do total da área da BHRA, refletidos em 260,14 km², e corresponde às áreas que não possuem nenhuma assinatura espectral vegetativa, observadas majoritariamente nas porções sul e sudoeste da bacia, com alguns resquícios na porção leste. O desmatamento por corte raso na área da BHRA pode ser um agravante para a composição de áreas de solo exposto, visto que em 2014 a região apresentava um desmatamento acumulado de 7.555 km², saltando para 7.748 km² em 2019 (FAPESPA, 2020).

Além disso, as áreas de solo exposto também podem estar relacionadas com a abertura de estradas e novas áreas para a expansão de ocupações habitacionais. Outro fator contribuinte são as áreas que se encontram em fase de preparo do solo para a implantação de cultivos agrícolas e pastagem ou até mesmo para exploração mineral, refletidas em áreas de empréstimo como a exploração de areia e piçarra (SILVA et al., 2020a; SILVA et al., 2020b). Essa classe recebeu o maior peso (0,57), haja vista seu consolidado processo de antropização e a ausência de vegetação.

A urbanização representou apenas 2,21% do total da área da BHRA. Essa porcentagem referente à

cerca de 300 km² representa, em grande parte, as sedes municipais dos principais municípios que constituem a bacia, sendo o município do Acará, localizado na porção norte da bacia; Tailândia, localizado na porção sudoeste da bacia; e Tomé-Açú, localizado na porção leste da bacia.

De acordo com os dados fornecidos pelo anuário estatístico do Pará 2020, a BHRA vem passando por um significativo processo de urbanização nos últimos anos, onde em 2014 a BHRA apresentava uma população de 207.748 cidadãos, saltando para 228.668 cidadãos em 2020. Outro dado que demonstra o comportamento da urbanização é o aumento das unidades residenciais consumidoras na BHRA, em que no ano de 2014 havia 36.537 unidades, evoluindo para 42.980 unidades em 2019 (FAPESPA, 2020). À urbanização também foi atribuído peso “0,00”, assumindo inaptidão, haja vista sua destinação para imóveis, direito de superfície, edificações, utilizações compulsórias e entre outros (BRASIL, 2001).

As áreas de nuvem e sombra de nuvem foram desconsideradas da análise AHP, recebendo peso “0,00”, haja vista a impossibilidade de visualização da ocupação do solo onde são observadas essas classes.

Na Figura 7 é possível observar a espacialização dos tipos de solo presentes na BHRA na qual foram identificados os solos de acordo com o padrão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), de acordo com a sua ordem e subordem.

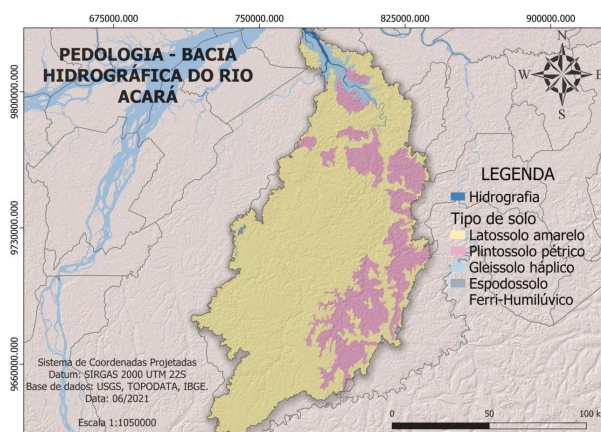


Figura 7: Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

O tipo de solo latossolo amarelo é o que ocupa a maior área na BHRA (10.289,06 km²), estendendo-se de sul à norte, ocupando, quase que integralmente, a porção central da bacia. O segundo tipo mais frequente é o plintossolo pétrico (2.828,27 km²), localizado ao norte e em toda porção leste da bacia. O gleissolo háplico localiza-se ao extremo norte, dispendo-se em torno da foz da bacia e ocupando uma área de 327,77 km². O espodossolo ferri-humilúvico foi o tipo de solo menos frequente na bacia (28,67 km²), possuindo apenas uma pequena porção localizada a extremo oeste da bacia.

As áreas de monocultura de dendê consolidado, identificadas na Figura 6, localizam-se majoritariamente em áreas de latossolo amarelo na BHRA e, com menor frequência, em áreas de solo do tipo plintossolo pétrico. Não foram identificadas áreas de cultivo de dendezeiros nos solos dos tipo gleissolo háplico e espodossolo ferri-humilúvico.

Os latossolos são caracterizados por serem solos em avançado estágio de intemperização, variando de fortemente a bem drenados. Além disso, são solos bastante ácidos, constituídos por material mineral e

muito profundos, o que auxilia no desenvolvimento de raízes. Já os latossolos amarelos compartilham das mesmas características, sendo identificados pela coloração amarela em grande parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018; BORBA et al., 2020). As áreas de monocultivo de dendê estão inseridas, em sua grande parte, em latossolos amarelos presentes na BHRA, por apresentarem as características mais ideais para o desenvolvimento da palmeira, o que justifica o maior peso dado à esse tipo de solo na análise AHP (0,50).

O tipo de solo plintossolo caracteriza-se por manifestar significativos processos de plintitização. Assim como os latossolos, também é um solo expressivamente ácido, porém mal drenado devido à exposições à excesso de umidade por ocorrer, majoritariamente, em áreas planas de várzea. Todavia, podem ocorrer plintossolos bem drenados em determinadas áreas. Os plintossolo pétricos tem como especificidade o horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, o qual pode apresentar boas condições de drenagem (EMBRAPA, 2018; VILARINHO et al., 2019). Apesar das características pouco favoráveis, é possível identificar áreas de monocultivo de dendê (expostas na Figura 6) em plintossolos pétricos na BHRA, fundamentando a designação do segundo maior peso atrelado ao plintossolo (0,33).

Os gleissolos caracterizam-se por se encontrar permanentemente ou periodicamente saturados por água, permanecendo estagnada internamente ou ocorrendo por fluxo lateral. Além disso, destacam-se pelo processo de gleização, o qual implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas devido a redução e solubilização do ferro. Em geral, são solos mal ou muito mal drenados que se desenvolvem próximos à cursos d'água. Já os Espodosolos possuem horizonte B espódico e textura predominantemente arenosa com drenagem muito variável. São solos geralmente pobres em fertilidade e de moderadamente a fortemente ácidos (EMBRAPA, 2018). Além das características desfavoráveis ao cultivo do dendezeiro, nenhuma área de monocultivo foi identificada nos tipos gleissolo e espodosolo na BHRA, o que motivou a determinação dos menores pesos para esses dois tipos de solo na análise AHP (0,09).

Na Figura 8 é possível observar a espacialização da geologia presente na BHRA na qual foram identificadas: Cobertura detrito-laterítica neo-pleistocênica, formação barreiras, formação ipixuna, cobertura detrito-laterítica neogênica, depósitos aluvionares holocênicos, cobertura detrito-laterítica paleogênica e cobertura sedimentar do baixo Tocantins.

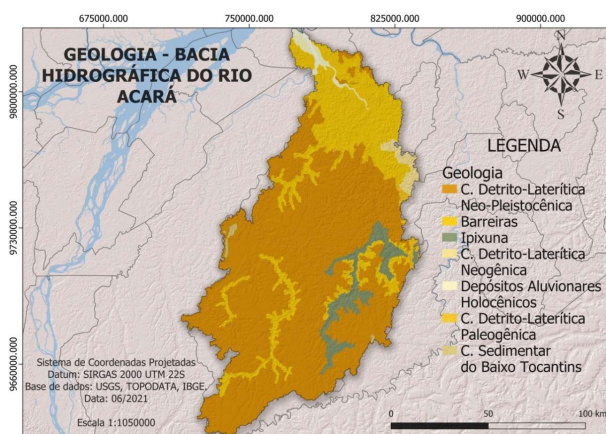


Figura 8: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

A cobertura detrito-laterítica neo-pleistocênica foi a formação geológica com maior área ocupada na BHRA (9.582,90 km²), disposta homoganeamente por toda a bacia. Essa cobertura é encontrada espalhada por toda a região amazônica, sobreposta a diferentes tipos litológicos. Além disso, é composta por sedimentos argilo-arenosos de cor amarelada, originada no pleistoceno superior (CAVALCANTE, 2005; CPRM, 2008). Essa cobertura recebeu peso 0,24 e Sob ela está a maior parte das áreas de monocultivo de dendê na BHRA.

A formação barreiras foi a segunda unidade com maior área ocupada na bacia (2.837,55 km²), localizada ao norte da BHRA. Essa formação do mioceno caracteriza-se por se configurar em forma de tabuleiros e falésias, estendendo-se desde a região amazônica até o estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2008; FÉ, 2014). A formação barreiras foi a segunda unidade onde mais foram observadas áreas de monocultivo de dendê na BHRA, identificadas na Figura 6, recebendo peso 0,23.

A formação ipixuna ocupa cerca de 640 km² na BHRA, sendo a terceira mais frequente, localizando-se na porção leste da bacia. Essa formação caracteriza-se por constituir uma sucessão de arenitos e siltitos, e é a unidade mais antigo presente na área da bacia, pertencendo ao cretáceo (RODRIGUES, 2001; CPRM, 2008). A formação Ipixuna foi atribuída com peso 0,21 na comparação pareada, e nas porções que a compreendem foi possível identificar poucas áreas de monocultivo de dendê detectadas na Figura 6, na BHRA.

A cobertura detrito-laterítica neogênica está localizada na porção nordeste da bacia, ocupando uma área de 169,86 km². Proveniente do mioceno, essa unidade é caracterizada por constituir argilominerais, além de possuir em sua camada superior, geralmente, a presença de solos argilo-arenosos (CPRM, 2008; JESUS et al., 2019). Essa formação recebeu peso 0,19, e identificaram-se algumas poucas áreas de monocultivo de dendê sob ela, observadas na análise de uso e ocupação do solo (Figura 6), na BHRA.

Os depósitos aluvionares holocênicos apresentam-se como a unidade mais recente da BHRA, pertencente ao holoceno. Localizam-se ao extremo norte da bacia, em torno da foz do rio Acará, ocupando uma área de 142,15 km². Já a cobertura detrito-laterítica paleogênica, pertencente ao oligoceno, localiza-se no extremo leste da bacia, ao lado da formação ipixuna, e ocupa uma área de 69,17 km². Por fim, a cobertura sedimentar do baixo Tocantins, pertencente ao pleistoceno, representa apenas 33,19 km², localizados no extremo oeste da BHRA. Ao observar a Figura 6 e a Figura 8, não foram identificadas áreas de monocultivo de dendê em nenhuma das três unidades descritas, as quais receberam peso 0,04.

Em pesquisa feita por Mishra et al. (2015) no estado de Uttarakhand, na Índia, os autores atribuíram à geologia o segundo menor peso na identificação de áreas aptas à agricultura familiar. Assim como na pesquisa dos autores citados, o critério geologia também obteve o menor peso (Tabela 4) na identificação das áreas aptas à expansão da dendeicultura na BHRA, pois a geologia não influencia expressivamente no desenvolvimento do dendezeiro (MULLER, 1980; BARCELOS, 1987; LIMA et al., 2000).

Áreas aptas à expansão da dendeicultura

Na Figura 9 é possível observar o mapa de aptidão para a expansão da dendeicultura na BHRA, com

a identificação dos dendezaís consolidados na qual foram identificadas as classes: sem aptidão, baixa aptidão, moderada aptidão, boa aptidão e excelente aptidão.

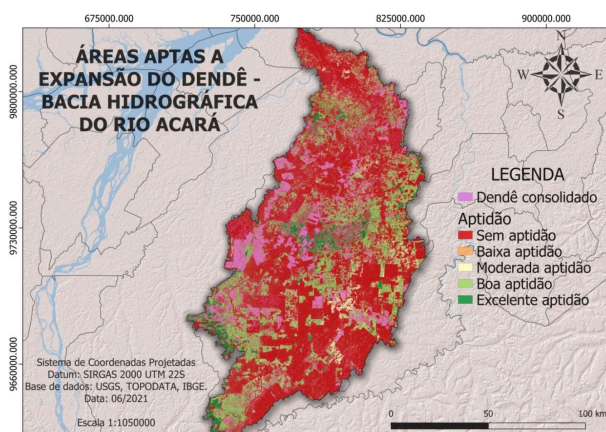


Figura 9: Mapa de aptidão para a expansão da dendeicultura na Bacia Hidrográfica do Rio Acará.

Na Tabela 5 é possível observar a área ocupada (em km² e %) por cada classe de aptidão na BHRA.

Tabela 5: Área (em km² e %) ocupada por cada classe de aptidão na BHRA.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Dendeicultura	2.290,10	16,92
Sem aptidão	6.889,02	50,90
Baixa aptidão	11,31	0,08
Moderada aptidão	663,14	4,90
Boa aptidão	3.157,62	23,33
Excelente aptidão	523,91	3,87
Total	13.535,09	100

As áreas com excelente aptidão ocuparam uma área de 523,91 km², representando 3,87% do total da área que corresponde a BHRA. Essa classe corresponde às condições ideais para a expansão da dendeicultura, no que concernem os critérios determinados. Grande parte está localizada na porção central da bacia, em torno da PA-256, abrangendo os municípios do Acará e Tomé-Açú. Outra porção localiza-se ao sudoeste e sul da bacia, compreendendo o município de Tailândia e próxima à PA-150. Uma mancha menor pode ser observada ao norte da bacia, incorporada ao município do Acará e em torno da PA-252.

A classe referente à excelente aptidão dispõe das áreas inseridas em regiões de solo exposto e agropecuária, sendo compreendidas em solos do tipo latossolo. Além disso, localizam em distâncias maiores que 15 km da hidrografia, e estando dentro das faixas de até 5 e 10 km de proximidade das estradas, e fora das áreas protegidas (floresta primária, hidrografia, urbanização, assentamentos e terras indígenas).

As áreas classificadas com boa aptidão apresentaram área de 3157,62 km², representando 23,33% da BHRA. As áreas que compreendem essa classe irradiam das áreas de excelente aptidão, sendo observadas nas mesmas porções, onde grande parte está localizada na porção central e a leste, no município de Tomé-Açú. As outras porções estão localizadas a sudeste, no município de Tailândia, e ao norte, no município do Acará.

As áreas com boa aptidão também englobam regiões de solo exposto e agropecuária compreendidas em solos do tipo latossolo e plintossolo. Entretanto, algumas áreas localizam-se entre as faixas de 5 a 10 km

de distância da hidrografia e mais distantes das estradas, nas faixas acima de 15 km. Ainda assim, localizam-se fora das áreas protegidas (floresta primária, hidrografia, urbanização, assentamentos e terras indígenas).

As áreas de moderada e baixa aptidão ocuparam 663,14 km² e 11,31 km², representadas em 4,9 e 0,08%, respectivamente. Já as áreas classificadas como 'sem aptidão' ocuparam a maior área na BHRA, com 6.889,02 km², representando 50,90% do total correspondido à área da bacia. Os territórios sem aptidão são observados de forma bem espacializada sob a área de drenagem da BHRA, sendo possível observar dois grandes grupos, um ao norte e outro ao sul da bacia, divididos pela porção central da área classificada com excelente aptidão.

As áreas sem aptidão compreendem, majoritariamente, as áreas protegidas referente à floresta primária, APP's, urbanização, assentamentos e terras indígenas. Além disso, a classe sem aptidão também dispõe dos subcritérios atribuídos com os menores pesos, ou seja, são áreas localizadas mais distante das estradas, mais próximas de rios, situadas em solos menos propensos ao desenvolvimento da cultura e em áreas com declividades mais acentuadas.

As terras indígenas possuem proteção prevista em lei, a qual garante a sua preservação, havendo posse direta pela comunidade indígena (BRASIL, 1973). Já os assentamentos dispõem de usos restritos e específicos referentes aos Programa Nacional de Reforma Agrária, previsto em lei (BRASIL, 1993).

Os dendezaís consolidados ocupam 2.290,10 km² na BHRA, o que representa 16,92% do total da área. As maiores áreas de monocultivo de dendê estendem-se na porção oeste e na porção central da bacia, no município de Tailândia, apesar de ser possível identificar vários remanescentes dispersos ao longo da bacia. Além disso, percebe-se que grande parte dos dendezaís consolidado encontram-se próximo a áreas de floresta primária e assentamentos.

Em pesquisa realizada por Dias (2019) na BHRA, o autor pode observar que no ano de 2017 a dendecultura representava cerca de 11% da área da bacia, refletidos em 1.455 km². Além disso, o monocultivo do dendê foi responsável por ocupar cerca de 15% das zonas ripárias da bacia, as quais são responsáveis pela atenuação do impacto das chuvas no solo, evitando a erosão e o assoreamento, além de auxiliar na infiltração e recarga de água subterrânea.

Em 2010 a EMBRAPA publicou o Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo na Amazônia (ZAE-palma de óleo). Esse zoneamento teve como objetivo subsidiar mecanismos de orientação à implantação da cadeia produtiva de palma de óleo em áreas desmatadas, identificadas pelo INPE, da Amazônia Legal, buscando a sustentabilidade na esfera social, econômica e ambiental (RAMALHO FILHO, 2010).

Na concepção do zoneamento, foram determinados critérios para a aptidão agrícola das terras e critérios para a aptidão climática. A avaliação da aptidão agrícola das terras foi feita a partir dos níveis de manejo, tendo como base a análise dos solos a partir dos critérios: deficiência de água, excesso de água, impedimento às raízes, suscetibilidade à erosão, impedimento à mecanização e deficiência de fertilidade. De acordo com os autores, os três últimos critérios foram regularmente mais responsáveis pela diferenciação

da aptidão. Quanto à avaliação da aptidão climática, os especialistas utilizaram os critérios: precipitação, brilho solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar (RAMALHO FILHO, 2010).

A partir da combinação da aptidão agrícola e aptidão climática os autores obtiveram a aptidão pedoclimática, a qual foi subtraída as áreas legalmente protegidas (parques nacionais, estaduais e reservas indígenas). Os resultados obtidos pelo zoneamento indicam que 585.885 km² são aptos para o cultivo da palma de óleo, representando 12,59% da área desmatada da Amazônia Legal (RAMALHO FILHO, 2010).

Entretanto, assim como os resultados obtidos nesta pesquisa, os resultados do zoneamento agroecológico para a cultura da palma de óleo feita pela EMBRAPA (RAMALHO FILHO, 2010) não indica a real disponibilidade das terras. As áreas classificadas como aptas, destacadas nas duas metodologias, podem se encontrar, atualmente, sob diferentes usos e níveis de produtividade, tornando-as indisponíveis.

Na Figura 10 observa-se o mapa do Zoneamento Agroecológico para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia Legal, recortado para a BHRA.

A classe preferencial identificada pela ZAE-palma de óleo na BHRA obteve área de 2.223,5 km² e representa áreas com alto potencial para a expansão da palma de óleo, incluindo terras sem limitações significativas e com déficit hídrico menor que 200 mm. A classe regular obteve uma área de 5164,3 km² e está relacionada às áreas com médio potencial, as quais incluem limitações moderadas para a produção e com déficit hídrico variando de 200 a 350 mm. A classe inapta obteve 339 km² e corresponde às áreas com potencial muito baixo, limitações muito fortes e clima desfavorável. As áreas não mapeadas obtiveram área de 5.809,5 km² e referem-se às áreas de proteção ambiental, terras indígenas e áreas não desmatadas (RAMALHO FILHO, 2010).

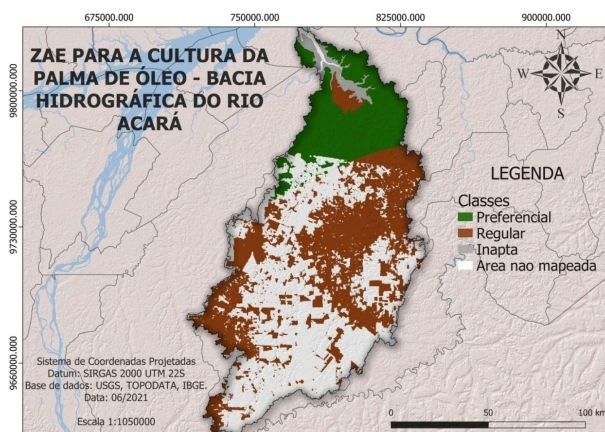


Figura 10: Zoneamento Agroecológico para a Cultura de Palma de óleo recortado para a Bacia Hidrográfica do Rio Acará. **Fonte:** Ramalho Filho (2010).

Foi possível observar que as áreas classificadas como preferencial pela ZAE-palma de óleo na BHRA estão dispostas sobre áreas de hidrografia, APP's, floresta primária e urbanização, além de considerarem áreas onde já existem dendezais consolidados, indicando imprecisões no mapeamento das áreas aptas. Entretanto, observaram-se áreas classificadas com excelente aptidão identificadas pela metodologia AHP nas áreas classificadas como preferenciais pela ZAE-palma de óleo, especificamente na porção ao norte da bacia, sob a PA-252, a qual engloba majoritariamente áreas de solo exposto.

As áreas classificadas como regulares também compartilham de imprecisões espaciais na BHRA, englobando áreas de floresta primária, urbanizações, hidrografia, APP's e áreas já existentes de dendeais consolidados. Ao comparar com o resultado obtido nesta pesquisa, observou-se que as áreas classificadas com excelente aptidão localizadas na porção central, sob a PA-256, e na porção sul da bacia, sob a PA-150 encontram-se incorporadas nas áreas regulares identificadas pela ZAE-palma de óleo.

Sabe-se que a aplicação das duas metodologias, tanto da ZAE-palma de óleo quanto a desta pesquisa, não compartilham da utilização dos mesmos critérios, apesar de os critérios suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização, utilizados pela ZAE-palma de óleo, estarem intimamente relacionados à declividade, a qual foi critério utilizado nesta pesquisa. Entretanto, infere-se que a metodologia aplicada pelo AHP, apesar da diferença na escolha de critérios, apresentou maior precisão na identificação das áreas aptas em comparação ao ZAE-palma de óleo, na BHRA, expondo maior abundância de detalhes.

Entretanto, essas imprecisões nos resultados da ZAE-palma de óleo já são previstas, haja vista a grande escala de informações utilizadas. Por esses motivos, os autores consideram a ZAE-palma de óleo como base para a execução de projetos complementares mais detalhados na concepção de planos de ordenamento territorial (RAMALHO FILHO, 2010).

Ressalta-se que, na aplicação da metodologia AHP para a identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na BHRA concedida nesta pesquisa, não foram considerados critérios climáticos e pedológicos da mesma forma em que foi aplicado no ZAE-palma de óleo. Ao mesmo tempo, a metodologia aplicada pelo ZAE-palma de óleo desconsiderou o critério proximidade das rodovias, relacionada ao menor gasto logístico no escoamento do produto; a distância dos cursos d'água, relacionado ao potencial alterador da qualidade da água, os quais foram considerados nesta pesquisa; e a geologia.

CONCLUSÕES

Foi realizada a identificação e quantificação das áreas aptas à expansão do monocultivo do dendê na Bacia Hidrográfica do Rio Acará. As áreas classificadas com excelente aptidão representaram 3,87% do total da BHRA, refletidas em 523,91 km². Já as áreas classificadas com boa aptidão obtiveram 3157,62 km², representando 23,33% da área de drenagem da BHRA. Assim, constata-se que a BHRA apresenta um significativo potencial para a expansão do monocultivo do dendê, a qual pode ser colocada em prática ao mesmo tempo em que se promove a sustentabilidade na área.

A combinação da metodologia AHP com a aplicação de técnicas de geoprocessamento demonstrou-se extremamente útil na identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na BHRA. O resultado obtido pode ser adotado como ferramenta de auxílio e otimização em processos de tomada de decisão no que concerne o planejamento e gestão ambiental da cadeia produtiva do dendê na BHRA. Além disso, a análise demonstra que é possível promover a expansão da cadeia produtiva do dendê ao mesmo tempo em que se proporciona a preservação do meio ambiente, das comunidades tradicionais e das ocupações urbanas, na BHRA, aplicando a sustentabilidade já prevista na legislação.

Além disso, os resultados têm o potencial de serem mais refinados a partir da inclusão de mais critérios para a geração do modelo. Critérios climáticos como precipitação pluviométrica e temperatura podem colaborar para o desenvolvimento de resultados mais precisos. Ressalta-se, ainda, que o método AHP é baseado na determinação de pesos a partir da comparação pareada entre critérios e subcritérios, os quais são definidos pelo analista, possuindo cunho subjetivo até certo ponto. Dessa forma, qualquer julgamento equivocado pode comprometer o resultado final, por isso deve-se estipular as importâncias de forma cuidadosa.

Por fim, a metodologia desenvolvida pode ser utilizada para a identificação de áreas aptas de diferentes tipos de cultura em outras regiões geográficas. Para isso, basta adaptar a escolha dos critérios e subcritérios necessários, com a atribuição adequada de seus pesos, para a concepção do objetivo que se deseja atingir pelo pesquisador.

AGRADECIMENTOS: A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (PROPED) pelo apoio financeiro, ao Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (ISARH) e ao Centro de Tecnologia Agropecuária (CTA) pela infraestrutura, e ao projeto 'Desenvolvimento local: a geração de trabalho, renda e alimentos em comunidades do vale do Acará, Pará, Brasil'.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, C. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D.. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. *Acta Amazonica*, v.40, n.2, p.289-301, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200007>

ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb-Sistema de Informações Hidrológicas**. Inventário Pluviométrico/Fluviométrico. ANA, 2021.

BARBOSA, I. C.; SOUSA, A. M. L.; SILVA, E. R. M.; SILVA, H. J. F.; VITORINO, M. I.; SILVA COSTA, L. G.. Variáveis físico-geográficas e as implicações sobre vulnerabilidade ambiental na Sub-Bacia do Rio Guamá, Pará, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.3, p.264-291, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0022>

BARCELOS, E.; PACHECO, A. R.; MULLER, A. A.; VIEGAS, I.; TINOCO, P. B.. **Dendê**: informações básicas para seu cultivo. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 1987.

BARROS, C. S. N.; REATEGUE, G. G.; ARAÚJO, B. B.; MARCELINO, E. P. N.; COSTA, J. P. O.; SOUZA, Z. P.; SÁNCHEZ, X. J. G.. Aspectos gerais sobre as rodovias na Amazônia e sua discussão geopolítica. *Revista Geopolítica Transfronteiriça*, v.2, n.1, p.13-32, 2020.

BELATO, L. S.; SERRÃO, S. L. C.. Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Tomé-Açu, Estado do Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.1,

p.131-145, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0011>

BISPO, C. O.; LISTO, F. D. L. R.; FALCÃO, N. A. M.; SILVA, D. G.. Previsão de escorregamentos no município de Maceió (AL) a partir do modelo AHP. *Revista Do Departamento De Geografia*, v.39, p.88-101, 2020. DOI: <http://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.161388>

BORBA, J. O. M.; OLIVEIRA, F. P.; SILVA, P. L. F.; MARTINS, A. F.; TAVARES, D. D.; CAMPOS, M. C. C.. Qualidade física de um Latossolo Amarelo sob gramíneas e mata nativa no Brejo da Paraíba. *Research, Society and Development*, v.9, n.9, p.e564997522-e564997522, 2020. DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7522>

BRASIL. **Lei n.10257 de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: DOU, 2001.

BRASIL. **Lei n.12651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: DOU, 2012.

BRASIL. **Lei n.6001 de 19 de dezembro de 1973**. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Brasília: DOU, 1973.

BRASIL. **Lei n.8629 de 25 de fevereiro de 1993.** Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Brasília: DOU, 1993.

BRASIL. **Lei n.9433 de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU, 1997.

CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C.. Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos-São João, no Estado do Rio de Janeiro-Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.04, p.1415-1430, 2019. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>

CASSOL, H. L. G.; MELO, L. C.; SILVA, F. M.; FONSECA, R.; SANQUETTA, C. R.. Redução de emissões de CO2 pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia brasileira. **Floresta**, v.46, n.1, p.135-144, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v46n1.41516>

CAVALCANTE, L. M.. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasília:** Acre. Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E), 2005.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M.; ALMEIDA, C. D. N.; LIMA, E. R.; RIBBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S.. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.64-72, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100009>

COSTA, A. A. D.; GALVANIN, E. A.; NEVES, S. M. A. S.. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso-Brasil. **Geosul**, v.35, n.74, p.483-500, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do estado do Pará.** Escala 1:1.000.000. CD-ROM. CPRM, 2008.

CRUZ, R. H. R.; FARIAS, A. L. A.. Impactos socioambientais de produção de palma de dendê na Amazônia Paraense: uso de agrotóxicos/Socio-environmental impacts of oil palm production in the Paraense Amazon: use of agrochemicals. **Revista GeoAmazônia**, v.5, n.10, p.86-109, 2018.

DIAS, F. G.; LIMA, A. M. M.; SILVA, E. V.; SOUZA, H. E. N.. Diagnóstico geoambiental da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Acará, Amazônia oriental. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.9, n.3, p.320-342, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020320-342>

DIAS, F. G.. **Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Acará, Amazônia Oriental:** subsídios ao planejamento ambiental. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C.. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, v.15, n.2, p.1-22, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Zoneamento agroecológico cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal 1:600.000.** Brasília: Embrapa, 2010.

FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Anuário Estatístico do Pará.** Belém, 2020.

FÉ, M. M. M.. Barreiras: série, grupo ou formação?. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.06, p.1055-1061, 2014. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v7.6.p1055-1061>

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A.. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.5, p.3800-3808, 2014. DOI: <http://doi.org/10.5902/2236130814674>

GURGEL, R. S.; FARIAS, P. R. S.; OLIVEIRA, S. N.. Land use and land cover mapping and identification of misuse in the permanent preservation areas in the Tailândia Municipality-PA. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.3, p.1145-1159, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1145>

HAN, Y.; WANG, Z.; LU, X.; HU, B.. Application of AHP to road selection. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v.9, n.2, p.86, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijgi9020086>

HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, v.10, n.2, p.195-203, 2015.

HOMMA, A. K. O.. **Cronologia do cultivo do dendezeiro na Amazônia.** Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2016.

IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. D. S.; AJAYI, A. E.; GUIMARÃES, P. T. G.; ABREU JÚNIOR, Á. A.. Influence of field slope and coffee plantation age on the physical properties of a RedYellow Latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.107-117, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100010>

JESUS, V. C.; BARRETO, H. N.; PEREIRA, E. D.. Processos denudacionais em domínios de chapadas areníticas no centro sul do Maranhão. **Revista Equador**, v.8, n.2, p.309-331, 2019.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R.. **Klimate der Erde.** Wall-map 150cmx200cm. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G.. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977. DOI: <http://doi.org/10.2307/2529310>

LIMA, S. M.; FREITAS FILHO, A. D.; CASTRO, A. D.; SOUZA, H. R. D.. Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal. In: **Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.** 2000. p.251-288.

LINGNER, D. V.; SCHORN, L. A.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. D.; MEYER, L.; VIBRANS, A. C.. Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina-Brasil: agrupamento e ordenação baseados em amostragem sistemática. **Ciência Florestal**, v.25, n.4, p.933-946, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5902/1980509820595>

MARAN, J. C.; ROSOT, M. A. D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LACERDA, A. E. B.. Ordenamento florestal por talhões: metodologia apoiada em SIG e silvicultura para o manejo de florestas nativas. **Advances in Forestry Science**, v.7, n.2, p.997-1008, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34062/afs.v7i2.8379>

MISHRA, A. K.; DEEP, S.; CHOUDHARY, A.. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.18, n.2, p.181-193, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.005>

MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R.; COLAÇO, A.. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

MÜLLER, A. A.. **A cultura do dendê**. Embrapa Amazônia Oriental-Séries anteriores (INFOTECA-E), 1980.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B.. O boom do dendê na microrregião de Tomé-Açu, na Amazônia paraense. **Confins. Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n.25, 2015. DOI: <http://doi.org/10.4000/confins.10536>

NAHUM, J. S.; SANTOS, L. S.; SANTOS, C. B.. Formação da dendeicultura na Amazônia Paraense. **Mercator**, Fortaleza, v.19, p.1-14, 2020. DOI: <http://doi.org/10.4215/rm2020.e19007>

NASCIMENTO, T. V.; CHAVES, J. R.; SOUSA, L. P. A.; PESSOA, F. C. L.; GOMES, A. B. B.; LIRA, B. R. P.; RODRIGUES, D. C.; CASTRO, L. R. C.; LOPES, L. N. A.. Variabilidade da precipitação e sua relação com a produtividade agroindustrial do dendê no município do Acará, Estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, 2021. DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12134>

NAVIN, M. S.; AGILANDEESWARI, L.. Land use land cover change detection using k-means clustering and maximum likelihood classification method in the javadi hills, Tamil NADU, India. **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**, v.9, n.1, p.51-56, 2019. DOI: <http://doi.org/10.35940/ijeat.A1011.1291S319>

OLIVEIRA, A. D.; LADWIG, N. I.; CONTO, D.. Mapeamento temático na análise da paisagem: bacia hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina, Brasil. **Geosul**, v.35, n.75, p.418-440, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p418>

OLIVEIRA, F. P.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L. D.. Mapeamento de fragmentos florestais com monodominância de aroeira a partir da classificação supervisionada de imagens RapidEye. **Revista Árvore**, v.37, p.151-161, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100016>

PAPA, J. P.. **Classificação supervisionada de padrões**

utilizando floresta de caminhos otimos. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – UNICAMP, Campinas, 2008.

PEIXOTO, R. A. O.; FERNANDES, J. C.; SCHIMDT, M. A. R.; PEREIRA, C. E.. Análise multicritério com uso da AHP para avaliação temporal na vulnerabilidade ambiental: estudo de caso na bacia hidrográfica do Uberabinha, MG. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.8, n.3, p.141-158, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019141-158>

PRODES, P.. Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. **Inst. Nac. De Pesqui. Espac. Proj. Prodes**, n.25, 2013.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. D.; FREITAS, P. D.; TEIXEIRA, W. G.. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

REGO, A. K. C.; KATO, O. R.. Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v.20, n.3, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v20i3.3482>

RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L.; ROLIM, P. A. M.; SANTOS, E.; REGO, R. S.; SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; GAMA, J. R. N.. Caracterização e classificação dos solos do Município de Tomé-Açu, PA. Embrapa Amazônia Oriental-Documents (INFOTECA-E), 2001.

SAATY, T. L.. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v.48, n.1, p.9-26, 1990. DOI: [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E.. Análise Multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do córrego do Lenheiro. **Caminhos de Geografia**, v.18, n.64, p.60-77, 2017.

SILVA, E. R. M.; ROCHA, E. J. P. D.; BARBOSA, I. C. D. C.; SILVA, H. J. F. D.; COSTA, L. G. D. S.. Diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Apeú através de fatores geoambientais e climáticos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.3, p.138-154, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0013>

SILVA, K. C. L.; CARVALHO, W. V.; VIEIRA, I. C. G.; COSTA, D. C. T.. Usos da terra e potencial de regeneração natural da vegetação nativa na bacia do rio Apeú, Castanhal, Pará. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.63, 2020b. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2020.3176>

SOUZA, A. C.; GEMAQUE, A. M.; BELTRÃO, N. E. S.. Integração da dendeicultura à agricultura familiar: um estudo dos impactos socioambientais e econômicos no polo de produção Concórdia, Pará. **Holos**, v.2, p.1-22, 2019. DOI: <http://doi.org/10.15628/holos.2019.7015>

SOUZA, R. B.; MACEDO, C. O.. Agronegócio do dendê e campesinato no Pará. **Geosul**, v.34, n.71, p.525-549, 2019. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p525>

SOUZA, R. R. N.; VIANA, L. S.; JÚNIOR, A. P.. Avaliação de

Impacto Ambiental na Dendeicultura e Agricultura Familiar no município de Acará-Pará (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.5, n.1, 2019.

STRAHLER, A. N.. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, v.38, n.6, p.913-920, 1957. DOI: <http://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

VILARINHO, M. K. C.; NASCIMENTO, J. C.; SILVA, T. J. A.; ISQUIERDO, E. P.; CALDEIRA, D. S. A.; OLIVEIRA, C. P.. Velocidade de Infiltração Básica de um Plintossolo Pétrico Situado em Áreas de Pastagem e Cerrado. **Revista Brasileira**

de Agricultura Irrigada, v.13, n.2, p.3336, 2019. DOI: <http://doi.org/10.7127/rbai.v13n2001042>

WAYDZIK, F. A.; SELEME, R.; ASSIS SILVA, W.; MLENEK, D.. Análise de roteirização aplicada ao transporte multimodal para escoamento da produção agrícola do estado do mato grosso. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.9, p.66120-66138, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv6n9-154>

ZIMMERMANN, C. L.. Monocultura e transgenia: impactos ambientais e insegurança alimentar. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.12, 2009. DOI: <http://doi.org/10.18623/rvd.v6i12.21>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.