

Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Lianne Borja Pimenta

Espacialização das áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará: uma avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento

Belém-PA

2018

Lianne Borja Pimenta

**Espacialização das áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola
no Estado do Pará: uma avaliação multicritério apoiada por
geoprocessamento**

Dissertação apresentada como
requisito final para obtenção do título de mestre em
Ciências Ambientais no Programa de Pós-
Graduação em Ciências
Ambientais. Universidade do Estado do Pará.

Orientador(a): Profa. Dra. Norma Ely Santos Beltrão.

Belém-PA

2018

Lianne Borja Pimenta

Espacialização das áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará: uma avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento

Dissertação apresentada como requisito final para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará.

Data da defesa: 28/02/2018

Banca Examinadora

– Orientador(a)

Prof.ª. Dr.ª. Norma Ely Santos Beltrão
Doutora em Economia Agrícola
Universidade do Estado do Pará.

– 1º Examinador(a)

Prof. Dr. Yvens Ely Martins Cordeiro
Doutor em Ciências Agrárias
Universidade Federal do Pará

– 2º Examinador(a)

Prof.ª. Dr.ª. Yvelyne Bianca Iunes Santos
Doutora em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Universidade do Estado do Pará

– 3º Examinador(a)

Prof.ª. Dr.ª. Cláudia Viana Urbinati
Doutora em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade do Estado do Pará

– Suplente

Prof. Dr. Manoel Tavares de Paula
Doutor em Agroecossistemas da Amazônia
Universidade do Estado do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

P644ePimenta, Lianne Borja

Espacialização das áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará: uma avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento./ Lianne Borja Pimenta; Orientação Norma Ely Santos Beltrão. -- Belém, 2018.

98f. : il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) -Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2018.

1. Indicadores ambientais - Pará. 2. Avaliação de riscos ambientais - Pará. 3. Planejamento urbano - Pará. I. Beltrão, Norma Ely Santos. II. Título.

CDD 577.5

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela saúde e inteligência, inspirações, e discernimento que me sustentaram ao longo da minha existência, no mestrado e para a produção desta dissertação.

Aos meus amados pais, Socorro e Arnaldo, e a minha irmã Lidiane, o meu agradecimento é infinito. Todo apoio e eterna confiança de que eu daria conta e poderia ir mais além, e por todo amor a vida toda, vocês foram mais que essenciais para a finalização deste trabalho. Amo muito vocês.

Ao meu sobrinho, João Vicente, o amor passarinho desta tia tão coruja. Você é luz e alegria na minha vida.

Em caráter mais que especial, à minha orientadora, a professora Dr^a Norma Ely Santos Beltrão, por ter acreditado na minha capacidade e me aceitado como sua orientanda. À confiança depositada, à disponibilidade na transmissão de conhecimento, paciência e amizade construída. Muito obrigada.

À Universidade do Estado do Pará, ao Centro de Ciências Naturais e da Tecnologia; ao Programa de Pós-graduação e à coordenação pela estrutura e suporte ao longo desses dois anos.

Ao NUPAD, Núcleo de Pesquisa Aplicada a Pesquisa e Desenvolvimento Regional, meu cantinho favorito.

A CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa concedida.

Aos professores titulares do mestrado e colaboradores, por todo conhecimento repassado.

À Amanda, Ana, Lisandra e Paulo, pela amizade, carinho e santos auxílios.

Aos amigos de uma vida toda e familiares, por compreenderem os motivos que levaram às inúmeras ausências nesses dois anos.

Aos amigos e colegas de turma, pelo companheirismo, espírito de sobrevivência e amizade partilhados.

*“Existem apenas dois modos de viver a vida:
Um é como se nada fosse milagre; o outro é como se
tudo fosse um milagre, Eu acredito no último.”*

Albert Einstein

RESUMO

Discussões que envolvam a temática Amazônia e que transitam nas áreas de políticas públicas, ordenamento territorial, economia regional e suas interfaces são importantes para a compreensão da atual configuração da Amazônia. A evolução e a dinâmica de ocupação territorial influenciaram sobre maneira no fracionamento ou supressão de floresta nativa ao longo da história, pois áreas ocupadas principalmente pela agricultura e pecuária, especialmente as culturas extensivas, tem aumentado a pressão sobre a floresta nativa. A temática deste estudo se insere na análise da expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará, através de ferramentas de análise espacial considerando as características biofísicas, econômicas e infraestrutura bem como as restrições naturais ou não, que condicionam o avanço das atividades agrícolas. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará considerando fatores espaciais a fim de perceber sua dinâmica, e avaliar a potencialidade do seu deslocamento sobre áreas especiais. Estudos sobre potencialidades em áreas especiais tais como assentamentos rurais, e áreas próximas a unidades de conservação são importantes para a tomada de decisão em políticas públicas, pois podem implementar instrumentos, sejam na promoção dos benefícios inerentes às atividades agrícolas ou de redução em seus possíveis impactos.

Palavras-chave: Políticas Públicas. Análise Espacial. Potencialidade agrícola.

ABSTRACT

Discussions that involve the Amazon theme and that transact in the areas of public policies, land management, regional economy and their interfaces are important for understanding the current configuration of the Amazon. The evolution and dynamics of territorial occupation have greatly influenced the fragmentation or suppression of native forest throughout history, since areas occupied mainly by agriculture and livestock, especially extensive crops, have increased the pressure on the native forest. The thematic of this study is inserted in the analysis of the expansion of the agricultural frontier in the State of Pará, through spatial analysis tools considering the biophysical, economic and infrastructure characteristics as well as the natural or not, that condition the advance of agricultural activities. In this context, the present work aims to analyze the expansion of the agricultural frontier in the State of Pará considering spatial factors in order to perceive its dynamics, and to evaluate the potential of its displacement in special areas. Studies of potentialities in special areas such as rural settlements and areas close to conservation units are important for decision making in public policies, since they can implement instruments, either in promoting the benefits inherent in agricultural activities or in reducing their possible impacts.

Key words: Políticas Públicas. Análise Espacial. Potencialidade agrícola.

LISTA DE QUADROS

LISTA DE QUADROS do ARTIGO 01

| | | |
|----------|--|----|
| Quadro1 | Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com AHP | 29 |
| Quadro2 | Categorias, autores, área de estudo e número de critérios. | 31 |
| Quadro 3 | Autores e Critérios encontrados na revisão | 32 |

LISTA DE QUADROS DO ARTIGO 02

| | | |
|---------|--|----|
| Quadro1 | Classes selecionadas, ano de publicação dos dados e fontes | 57 |
| Quadro2 | Critérios e Subcritérios | 65 |
| Quadro3 | Matriz de comparação e Pesos | 69 |

LISTA DE FIGURAS

LISTADE FIGURAS DO ARTIGO 01

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada | 30 |
|----------|--|----|

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 02

| | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Esquematisação para a escala de importância | 50 |
| Figura 2 | Hierarquização e estrutura dos critérios utilizados | 51 |
| Figura 3 | Mapas temáticos dos critérios (a) Solos, (b) Uso e cobertura da terra, (c) Precipitação anual média, (d) Declividade. | 67 |
| Figura 4 | Mapas temáticos dos critérios (e) Buffer área Urbana, (f) Buffer Rodovias. | 68 |
| Figura 5 | Mapas temáticos reclassificados | 71 |
| | Mapas temáticos reclassificados (cont.) | 72 |
| | Mapa final do potencial para expansão da fronteira agrícola | 73 |
| Figura 6 | Espacialização das áreas com potencial para expansão da fronteira agrícola no estado do Pará, excetuando-se as áreas com restrições | 74 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| AHP | Analytic Hierarchy Process |
| ARCGIS | ArcGIS |
| AIMEX | Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará |
| ARCGIS | ArcGIS |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INCRA | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| INDE | Infraestrutura de dados Espaciais |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPS | Índice de Progresso Social |
| ITTO | International Tropical Timber Organization |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| MDM | Modelo de Decisão Multicritério |
| PI | Proteção Integral |
| PRODES | Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite |
| RMB | Região Metropolitana de Belém |
| SEMAS | Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SR | Sistema de Referência |
| TI | Terras Indígenas |
| UC | Unidade de Conservação |
| UHT | Usina Hidrelétrica de Tucuruí |
| US | Uso Sustentável |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO (GERAL) | 14 |
| 1.2 | REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO (GERAL) | 20 |
| 2 | ARTIGO 1 – Processo Analítico Hierárquico (AHP) em Ambiente SIG: Temáticas e Aplicações Voltadas à tomada de decisão utilizando critérios Espaciais | 23 |
| | RESUMO | 24 |
| | ABSTRACT | 24 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO | 25 |
| 2.2 | Análise Multicritério com Fatores Espaciais | 26 |
| 2.3 | O método AHP como instrumento de tomada de decisão multicritérios | 27 |
| 2.4 | METODOLOGIA DA PESQUISA | 30 |
| 2.5 | RESULTADOS | 31 |
| 2.5.1 | Planejamento Urbano, infraestrutura e energia | 33 |
| 2.5.2 | Análise de riscos: deslizamento de terra e Inundações | 34 |
| 2.5.3 | Agricultura e Uso sustentável da terra | 35 |
| 2.5.4 | Recursos Hídricos | 36 |
| 2.5.5 | Saúde e Turismo | 36 |
| 2.6 | CONCLUSÃO | 37 |
| | REFERÊNCIAS | 38 |
| 3 | ARTIGO 2 – Classificação de áreas favoráveis para a expansão agrícola utilizando o método AHP: uma aplicação no estado do Pará | 42 |
| | RESUMO | 43 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 43 |
| 3.2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 46 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.2.1 | Conceitos de Fronteira, possibilidades em restringir ou avançar | 46 |
| 3.2.2 | O avanço da Fronteira Agrícola na Amazônia | 47 |
| 3.2.3 | Análise multicritério com dados espaciais | 49 |
| 3.3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 51 |
| 3.3.1 | Área de estudo | 51 |
| 3.3.1.1 | Características biofísicas | 51 |
| 3.3.1.2 | Características administrativas | 53 |
| 3.3.1.3 | Características econômicas | 54 |
| 3.3.2 | Levantamento e Processamento de dados espaciais | 56 |
| 3.3.3 | Modelagem dos dados | 57 |
| 3.4 | ETAPAS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP | 58 |
| 3.4.1 | Critérios Seleccionados | 58 |
| 3.4.1.1 | Tipos de Solos | 58 |
| 3.4.1.2 | Uso e Cobertura da terra | 60 |
| 3.4.1.3 | Precipitação Anual Média | 62 |
| 3.4.1.4 | Rodovias | 63 |
| 3.4.1.5 | Declividade | 63 |
| 3.4.1.6 | Áreas Urbanas | 64 |
| 3.4.2 | Matriz de decisão hierárquica | 65 |
| 3.4.3 | Mapas temáticos dos critérios seleccionados | 67 |
| 3.4.4 | Hierarquização dos critérios | 68 |
| 3.5 | RESULTADOS | 70 |
| 3.5.1 | Critérios espacializados a partir da reclassificação | 70 |
| 3.5.2 | Mapa final para expansão da fronteira agrícola | 73 |
| 3.6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 82 |
| | REFERÊNCIAS | 83 |

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| 4 | CONCLUSÕES (GERAIS) | 92 |
| | ANEXOS | 93 |
| | NORMAS DA REVISTA (ARTIGO 1) | |
| | Revista Interações | |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, discussões que envolvem o tema Amazônia transitam nas mais diversas áreas do conhecimento, especialmente nos temas políticas públicas, ocupação e ordenamento territorial, economia regional e suas interfaces. Para entender a atual configuração da Amazônia e de como isso afeta a mudança do uso da terra, e sua posterior utilização, considera-se primeiramente as ações expansionistas dos portugueses e a aliança político-matrimonial com a Espanha (MELLO-THÉRY, 2011) até o modo como foi planejada a ocupação ao longo das últimas décadas. Assim, percebe-se que a forma como a fronteira agrícola brasileira tem sido deslocada para o interior a procura de terras férteis e baratas, foi compreendida como necessária para a proteção do território e a garantia da soberania nacional (CALANDINO et al., 2012).

Segundo Souza e Pacheco (2013), a construção da primeira rodovia, integrando a região norte à do Centro oeste do Brasil iniciada em 1958, foi um marco de demarcação geopolítica de impacto nacional para dinamizar a ocupação territorial, pois influenciou na instalação dos núcleos urbanos e rurais decorrentes da abertura desta e dirimindo a ideia de “vazio demográfico” disseminada pelo governo da época. Ainda na esfera de implementação do sistema de transporte, foi construída em 1968 a BR-364 ou Cuiabá-Porto Velho, seguindo o ideal preconizado para a BR-010, que gerou também uma onda migratória excepcional devido à distribuição de terras férteis de modo gratuito pelo Governo Federal (FIORI, 2012).

Hassan e Freitas (2012) apontam que ambas as rodovias foram construídas em áreas que hoje abarcam o “Arco do Desmatamento”, apontado como sendo o ponto fulcral do desmatamento na Amazônia Legal no Brasil. O qual está localizado, segundo Gomez et al. (2015), na porção do território do Acre (ocidente), pegando uma secção transversal do sul do Estado do Amazonas, ao norte dos estados de Rondônia e Mato Grosso até fazer fronteira com o Estado Pará (abrangendo a porção sul do mesmo) e os Estados do Maranhão e Tocantins – sendo descrita pelos autores como uma área em extenso decréscimo de cobertura florestal.

Fiori (2012), Hassan e Freitas (2012) e, Souza e Pacheco (2013) são contundentes em seus estudos quando dizem que apesar do significativo avanço para o desenvolvimento do sistema de transporte e infraestrutura nacional, a construção das rodovias, as vicinais delas decorrentes, a ocupação e o

desenvolvimento de núcleos populacionais às suas margens avançou e converteu milhares de hectares de floresta, em sua grande maioria, em pastagens ou pequenos lotes para produção.

Sartori et al. (2012) reiteram em seu estudo que, o fracionamento ou a supressão de floresta nativa em decorrência da ação humana é, decididamente, produto de um encadeamento desordenado de uso e ocupação do solo, com enfoque em áreas sobremaneira beneficiadas ou alteradas. As crescentes transformações, as quais em sua maioria respondem ao atual modelo econômico, têm sido responsáveis pela forma e velocidade que tem ocorrido a mudança no uso da terra na Amazônia, com a supressão de florestas primárias para diferentes usos, tais como pastagens, agricultura, ocupação, etc. (CARVALHO et al., 2011).

Áreas ocupadas principalmente pela agricultura e pecuária, especialmente as culturas extensivas, aumentam a pressão sobre as florestas nativas, quando estas são transformadas em insumos produtivos extremamente rentáveis. Tal contexto propicia o aumento do desmatamento em algumas áreas, o abandono em outras, e a mudança no uso (quando se troca uma cultura por outra). Segundo Celentano et al., (2012), mais de 760.000 km², aproximadamente 19% da floresta Amazônica no Brasil, foi convertida para outros tipos de uso – principalmente para a agricultura e pecuária. O desenvolvimento econômico da região Amazônica e a conseqüentemente expansão de suas atividades produtivas são apontados como os principais indutores do desflorestamento na região (EMBRAPA/INPE, 2014).

Observa-se em dados levantados de órgãos vinculados ao governo como os do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto de Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) entre outros, que a região Amazônica tem passado ao longo dos anos, com significativa mudança em suas paisagens em consequência da intensificação da conversão da floresta nativa para os mais diversos usos, como pastagens, agricultura, pecuária, entre outros.

Este estudo trata da expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará, um dos nove estados pertencentes à Amazônia Legal, e um dos que mais tem alterado sua paisagem devido à dinâmica do desmatamento e ao desenvolvimento das atividades produtivas.

Até meados da década de 1950 predominava o “modus” de exploração econômica que se baseava na extração/produção de gêneros regionais, e que pouco remodelava a dinâmica da natureza e dos ambientes. No entanto, é a partir do desenvolvimento (e implementação) de novas políticas de integração nacional para a Região, que emergem nesse cenário novos forçantes que viriam a transfigurar o ordenamento e, por conseguinte, a ocupação e uso dos recursos naturais, a forma de organização política e social (VENTURIERI et al., 2010). O modo como o governo deliberou acerca da ocupação do território nacional impactou no desenvolvimento nacional e, também regional, pois decorria do atendimento primariamente das demandas econômicas externas. Lombardi e D’Antona (2015) discorrem que, a adoção de estratégias focadas na ideia de “vazio”, da existência de terras disponíveis aos que desejassem nelas fixarem habitação, que necessitassem de o mínimo de seu investimento do governo, foi o discurso de avanço e instituição da fronteira.

Comumente são observadas as formas decorrentes do modo como se tem dado a ocupação na Amazônia, bem como no Estado do Pará, que conduziram, e ainda o fazem, a um acelerado e/ou aumento do desflorestamento, os quais são a conversão da floresta nativa possivelmente depois do corte e queima, para o uso para pastagem; para plantio de culturas anuais e nos cultivos de grãos (LIMA e MAY, 2005; CELENTANO et al., 2012).

Calandino et al. (2012) observam que, a partir de 2006, a contribuição do Pará para o desmatamento tem sido elevada: nos anos de 2009 foi de 57%; em 2010 foi de 54% e, em 2011, sua contribuição foi de aproximadamente 47%, sendo este valor a contribuição de um único estado com mais da metade do total na Amazônia. Contudo, para os anos seguintes, dados do PRODES (2017) demonstram elevadas taxas de desmatamento no estado nos anos de 2013, 2015 e 2016 com 2.346 km², 2.153 km² e 2.992 km² respectivamente. Reiterando ainda que, para o ano de 2017, a estimativa levantada é de que a taxa seja de aproximadamente 2.413 km². Outros estados, que têm seguido um histórico de aumento em suas áreas desmatadas, foram Rondônia e Amazonas. O modelo macroeconômico atual e o seu crescimento, no entanto, não advém sem ônus, e a expansão agrícola tem levado à questões acerca da intensificação e velocidade de sua expansão, na mudança do uso da terra que tem auxiliado no aumento da

emissão de carbono para a atmosfera e acarretado perdas da biodiversidade (RICHARDS, 2015).

Para Lima e May (2005), este cenário de expansão deve-se a dois fatores primariamente: ao panorama econômico vigente à época e dos possíveis avanços na agricultura; e o avanço na pesquisa e desenvolvimento- o que impulsionou pólos produtores de grãos e os estimulou a expandir as áreas plantadas até regiões anteriormente intransitáveis. O Estado do Pará, por conseguinte, aliada à disponibilidade maior de terras e ao seu histórico que acompanham tal demanda, no quesito economia e uso da terra, tem sido continuamente estimulado pelo governo Federal e iniciativa privada, por exemplo, a expandir a sojicultura, a dendeicultura, o eucaliptocultura e outros.

Além das Políticas de ocupação e ordenamento do território para a Região Norte, bem como as desenvolvidas para o Estado do Pará, do histórico de supressão vegetal que acompanhou e ainda acompanha, a pecuária e a agricultura – tais fatores, que se não forem adequadamente compreendidos, não possibilitarão tomadas de decisões pertinentes às especificidades da região. Neste sentido, a análise espacial se apresenta como suporte a essa finalidade. Bouchardet et al. (2017) explicitam que já existem bastantes trabalhos acerca da modelagem voltadas à causa do desflorestamento, contudo são poucos os estudos que conduziram explicitamente uma abordagem espacial para observar minuciosamente o padrão espacial do processo de desflorestamento na Amazônia.

Na literatura, as ferramentas voltadas para a análise espacial comumente são aproveitadas para auxiliar o planejamento do desenvolvimento, ocupação e uso da terra, no estudo e seleção de áreas aptas a diferentes usos, além da aptidão ou não de áreas para implementação de construções privadas e/ou públicas (COLLINS et al., 2001).

Segundo Hansen et al. (2013), não existem informações espaciais detalhadas acerca da conversão da cobertura florestal que permitam um aprofundamento dessas análises – permitindo assim, o uso e a inserção de métodos de análise multicritérios em conjunto com o Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG). Abordagens, como as que foram feitas por Rindfuss et al. (2007), encontram-se em muitos dos trabalhos que tratam da temática, mesmo que não sejam especificamente voltados à Amazônia, pois ensejam o entendimento de quais são as

forçantes (drivers) que afetam os padrões de mudança do uso da terra dentro dos aspectos sociais e biofísicos, além das políticas públicas e outros rearranjos.

Aspectos que envolvam a análise de indicadores biofísicos como os tipos de solo, o uso e cobertura da terra, a precipitação média anual, a declividade, dentre os existentes na geologia, na geomorfologia, na climatologia e na fitogeografia, foram selecionados para esta pesquisa por possibilitarem a qualificação, avaliação e viabilizarem o monitoramento da degradação da paisagem natural (SANTOS et al., 2016), permitindo também a integração de atores e ações econômicas com os aspectos ambientais (MACEDO et al., 2016). Como exemplo desta abordagem integrada tem-se a erosão desencadeada ou acentuada pela precipitação (chuvas), a caracterização físico-química do solo, fragmentos florestais, e como aspectos positivos a biodiversidade e os benefícios dela oriundos, os quais em conjunto podem ser consideradas condicionantes para o desenvolvimento ou não das diversas atividades produtivas, dentre as quais a atividade agrícola, com os seus diferentes cultivares.

O desenvolvimento de projetos de melhoria do transporte, dentro dos fatores nomeados “infraestrutura” como as rodovias e as vicinais que acompanham os seus traçados abriram acesso a áreas nunca antes utilizadas disseminando ondas migratórias que foram marco na instalação de vilas e núcleos urbanos (FIORI, 2012; SOUZA e PACHECO, 2013) que perpetraram avanços extensivos sobre áreas de floresta nativa. Barber et al. (2014) reforçam essa situação quando destacam que uma grande parcela do percentual de supressão vegetal ocorre bastante próximo às estradas.

O fluxo migratório e os investimentos que incentivam o processo de supressão vegetal em decorrência da criação ou expansão dos centros urbanos também são considerados essenciais para o desenvolvimento e progresso na Amazônia, e por essa razão são analisados neste estudo através do uso de ferramentas de ambiente SIG em consonância com métodos multicritérios de análise (FEARNSIDE, 2008).

As Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral (PI) e as de Uso Sustentável (US) -dentro das esferas Federal e Estadual- juntamente com as Terras Indígenas (TI) são consideradas neste trabalho como fatores restritivos ao avanço das atividades agrícolas, por mais que estejam inseridas em áreas com aptidão para tal. Nessas áreas, os usos ou destinações, legislações institutivas, a biodiversidade,

os serviços ecossistêmicos prestados pela floresta em pé que são preservados pela delimitação e gestão dessas áreas (COSTANZA et al., 1997; FRAXE et al., 2017), tendem a limitar as atividades humanas de caráter extensivo, como agricultura ou pecuária.

A partir da análise dos parâmetros biofísicos e de infraestrutura que podem favorecer a expansão da fronteira agrícola do Estado do Pará, será possível verificar se a dinâmica da última década tem correspondido aos resultados encontrados, e, portanto validar o modelo a fim de traçar cenários para predição do deslocamento das áreas de atividade agrícola considerando as restrições identificadas. Estudos sobre potencialidades em áreas especiais tais como assentamentos rurais, e áreas próximas a unidades de conservação são importantes para a tomada de decisão em políticas públicas, pois podem implementar instrumentos, sejam para promover os benefícios inerentes das atividades agrícolas ou reduzir seus possíveis impactos.

Perante este cenário, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial de expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará considerando fatores espaciais a fim de oferecer subsídios para que outros trabalhos possam analisar o deslocamento desta fronteira sobre áreas especiais tais como áreas protegidas, assentamentos, entre outros. Para alcance deste objetivo geral, este trabalho de dissertação apresenta como metodologia de análise os métodos que consideram multicritérios de decisão, testando para efeito deste estudo o uso do método do Processo Analítico Hierárquico AHP (Analytic Hierarchy Process) com o uso de dados espaciais, como discutido no artigo 1: **“Processo Analítico Hierárquico (AHP) Em Ambiente SIG: Temáticas e Aplicações Voltadas à Tomada de Decisão Utilizando Critérios Espaciais”**.

Após a apresentação do método AHP, demonstra-se a aplicação deste método com apoio de ferramentas de geoprocessamento, para classificar as áreas favoráveis para a expansão agrícola considerando fatores biofísicos e de infraestrutura. Os pesos obtidos por meio da avaliação de critérios e subcritérios - etapa fundamental de alcance de objetivo de tomada de decisão proposto pelo método AHP – foram utilizados para, por meio de álgebras de mapas, produzir o mapa final de potencialidades considerando os critérios espaciais selecionados, e excluindo-se com restrições de uso, que neste estudo incluíram-se as unidades de conservação de proteção integral (esfera federal e estadual), as terras indígenas e a hidrografia. Todos os procedimentos de análise, bem como as discussões

pertinentes aos resultados obtidos estão descritos no artigo 2: **“Classificação de áreas favoráveis para a expansão agrícola utilizando o método AHP: uma aplicação no estado do Pará”**.

Por fim, apresenta-se uma conclusão geral que elenca os principais resultados e desdobramentos deste estudo, bem como comentários finais e sugestões para próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; VENTURIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2015, João Pessoa-PB. Anais... João Pessoa: INPE, 2015.

BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JR., C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, v. 177, p. 203-209, 2014.

BOUCHARDET, D. A.; PORSSE, A. A.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Analyzing the Spatial Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazon. *Geographical Analysis*, v 49, p. 23–35. 2017.

CALANDINO, D.; WEHRMANN, M.; KOBLITZ, R. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 26, p. 161-170, 2012.

CELENTANO, D.; SILLS, E.; SALES, M.; VERÍSSIMO, A. Welfare Outcomes and the Advance of the Deforestation Frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*, v. 40, n. 4, p. 850–864, 2012.

CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Contribuição das Áreas Desmatadas para o Crescimento Econômico da Amazônia Legal. Convênio URBISAmazônia, Reg. FUNCATE nº: 3.611.000.00/2011; Anexo J. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:anexo_j_estudo_metodologico_modelo_egc_amazonia_uso_terraclass.pdf. Acesso: 16/10/2016.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. *Environmental Management*, v. 28, n. 5, p. 611–621, 2001.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBERK, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.

G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387 n. 15, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (EMBRAPA e INPE) 2014. TerraClass. Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia. Sumário Executivo. Disponível: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso: 27/06/2017.

FEARNSIDE, P. M. The Roles and Movements of Actors in the Deforestation of Brazilian Amazonia. *EcologyandSociety*, v. 13, n. 1, 2008.

FIORI, M. F. BR-364: do desenvolvimento ao desmatamento. *Revista Veredas Amazônicas*, v. II, n. 1, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, 2015.

FRAXE, T. J. P.; REZENDE, M. G. G.; MACEDO, C. A.; WITKOSKI, A. C. Áreas Protegidas no Amazonas: Conservação e Sustentabilidade como preceitos ambientais indissociáveis. *Areté - Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, Manaus, v.10, n.21, p. 63–71, Número especial, 2017.

GOMEZ, V.; BEUCHLEA, R.; SHIMABUKUROA, Y.; GRECCHI, R.; SIMONETTI, D.; EVA, H. D.; ACHARD, F. A long-term perspective on deforestation rates in the brazilian Amazon. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-7/W3. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Berlin, Germany. 2015.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* v. 342, n. 850, 2013.

HASSAN, A. B.; FREITAS, M. V. (in: VILLELA, A.; FREITAS, M.; ROSA, L. P. (Orgs). Emissões de carbono na mudança de uso do solo. *Dinâmica do Uso do Solo da Amazônia*, Capítulo 5, p115. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

LOMBARDI, T. T. N.; D'ANTONA, A. O. A ocupação do território brasileiro como desdobramento da expansão da fronteira: Heranças coloniais no pensamento sobre a contemporânea relação população-ambiente. In: XII CONGRESSO LUSO-AFRO-BRASILEIRO, 2015, Lisboa. Anais... Lisboa: 2015.

LIMA, M. S. B.; MAY, P. H. A Expansão da Fronteira Agrícola no Sul do Amazonas e sua Relação com o Incremento do Desmatamento nas Áreas de Cerrados e Campos Naturais. In: VI ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 2005, Brasília (DF). Anais. Brasília: 2005.

MACEDO, R. C.; ALMEIDA, C. M.; SANTOS, J. R. Valoração ambiental e geotecnologias: integração entre ciências sociais e geociências. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 2, Edição Especial Aplicações dos SIG, p. 253-262, 2016.

MELLO-THÉRY, N. A. Território e Gestão Ambiental na Amazônia: Terras Públicas e os Dilemas do Estado. São Paulo: Ed. Annablume, 2011, 200 p.

RICHARDS, P. What drives indirect land use change? How Brazil's agriculture sector influences frontier deforestation. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 105, n. 5, p. 1026-1040, 2015.

RINDFUSS, R. R.; ENTWISLE, B.; WALSH, S. J.; MENA, C. F.; ERLIEN, C. M.; GRAY, C. L. Frontier Land Use Change: Synthesis, Challenges, and Next Steps. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 97, n. 4. 2007.

SANTOS, F. A.; PACIÊNCIA, L. G. M.; MENDES, J. M.; AQUINO, C. M. S. Indicadores biofísicos de degradação ambiental no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste – REGNE*, v. 2, 2016.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. Combinação Linear Ponderada na Definição de Áreas Prioritárias À Conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, v.36, n.6, p.1079-1090, 2012.

SOUZA, M. L.; PACHECO, R. A. A influência da Rodovia Belém-Brasília no processo de desenvolvimento das cidades do centro-norte de Goiás. *Revista Eletrônica Geoaraguaia, Barra do Garças-MT*, v. 3, n. 2, p. 246 – 262, 2013.

VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R. C. Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará – ZEE. *Diagnóstico socioambiental*, v. 1, 2010.

ARTIGO 1

Título: Processo Analítico Hierárquico (AHP) em Ambiente SIG: Temáticas e Aplicações Voltadas à tomada de decisão utilizando critérios Espaciais

Submetido à Revista Interações (interdisciplinar)

QUALIS B1

Processo Analítico Hierárquico (AHP) Em Ambiente SIG: Temáticas e Aplicações Voltadas à Tomada de Decisão Utilizando Critérios Espaciais

Hierarchical Analytical Process (AHP) in the GIS Environment: Issues and Applications for Decision Making Using Spatial Criteria

Proceso Analítico Jerárquico (AHP) En Ambiente SIG: Temáticas y Aplicaciones Volcadas a la toma de decisión Utilizando Criterios Espaciales

Processus Analytique Hierarchique (AHP) Dans L'environnement SIG: Thèmes et Applications Retour à la Prise de Décision en Utilisant des Critères Spatiaux

Resumo: Trata-se de um levantamento bibliográfico sobre a aplicação do método AHP em combinação com Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A revisão foi realizada com artigos publicados nos últimos 10 anos relacionados ao uso desse método, sob uma abordagem qualitativa. A partir da análise das 12 categorias científicas descritas neste artigo, foi possível apontar o método AHP usado com SIG como uma ferramenta eficaz para análise multicritério em diferentes cenários.

Palavras-chave: Análise Multicritério; Desenvolvimento Regional; Política Pública; Processo Analítico Hierárquico.

Abstract: This is a bibliographical survey about the application of the AHP method in combination with Geographic Information Systems (GIS). The review was carried out with articles published in the last 10 years related to the use of this method, under a qualitative approach. From the analysis of the 12 scientific categories described in this article, it was possible to point out the AHP method used with GIS as an effective tool for multicriteria analysis in different scenarios.

Key words: Multi-criteria Analysis; Regional Development; Public Policy; Analytic Hierarchy Process.

Resumen: Se trata de un levantamiento bibliográfico sobre la aplicación del método AHP en combinación con SIG. La revisión se realizó con artículos publicados en los últimos 10 años relacionados con el uso de este método, bajo un enfoque cualitativo. A partir del análisis de las 12 categorías científicas descritas en este artículo, fue posible apuntar el método AHP usado con SIG como una herramienta eficaz para análisis multicriterio en diferentes escenarios.

Palabras clave: Análisis Multicriterio; Desarrollo Regional; Política Pública; Proceso Analítico Jerárquico.

Résumé: Ceci est une enquête bibliographique sur l'application de la méthode AHP en combinaison avec les SIG. La revue a été réalisée avec des articles publiés au cours des 10 dernières années liés à l'utilisation de cette méthode, sous une approche qualitative. À partir de l'analyse des 12 catégories décrites dans cet article, il a été possible de mettre en évidence la méthode AHP utilisée avec le SIG comme outil efficace pour l'analyse multicritère dans différents scénarios.

Mots-clé: Analyse multicritère. Développement régional. Politique publique. Analyse Hiérarchique des procédés.

1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão considerando muitas variáveis é uma realidade em um contexto onde os problemas se tornam cada vez mais complexos, ao mesmo tempo que mais dados se tornam disponíveis. Problemas desta natureza demandam, em geral, a avaliação de critérios representando atributos espaciais que possam assegurar uma decisão mais adequada à realidade local.

Na análise de problemas para a tomada de decisão, as informações obtidas através do levantamento de dados geram um elevado número de variáveis ou de atributos que, durante o processo de avaliação, necessitam de critérios os quais são atribuídos pesos e valores. Assim, cria-se uma hierarquia onde para facilitar a tomada de decisão, se prioriza os que detiverem maior peso e significância (FRANCO et al., 2013). Neste processo, delimita-se o problema a ser solucionado e os atributos a serem considerados, para depois inserir quantificadores que permitem a estruturação das preferências dos tomadores de decisão (DROBNE e LISEC, 2009).

Assim, para dar suporte à tomada de decisão, com possibilidade de análise comparativa de fatores ou atributos, e de múltiplos cenários, tem surgido a partir da década de 1960, os métodos de análise multicritério (MAM), bastante utilizados em análises comparativas de projetos alternativos ou múltiplos objetivos (MEDEIROS, 2016).

Os MAM diferenciam-se entre si na especificação dos critérios que serão utilizados (escolha e níveis de preferência) e em como tais critérios e subcritérios serão categorizados ou hierarquizados, de maneira que, dependendo do objetivo, tem-se a possibilidade de um ou mais métodos para uso.

Dentre os métodos existentes, destacam-se o PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation); Método CLP - Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC); o MPO – Média Ponderada Ordenada; a Agregação pelo Operador OWA (Ordered Weighted Averaging - OWA); o ELECTRE (Elimination and Choice Translating Algorithm), e o mais conhecido, o método AHP – Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process) (FIGUEIRA et al., 2005). A maioria desses métodos utilizam a modelagem matemática para harmonizar o processo de tomada de decisão, comparando alternativas ou cenários, de modo a apontar soluções mais adequadas aos interessados e/ou tomadores de decisão (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

O objetivo deste artigo é apresentar um levantamento bibliográfico com abordagem exploratória sobre a aplicação do método AHP em combinação com o ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A partir da compreensão teórica e prática do método AHP, busca-se demonstrar os múltiplos usos encontrados na recente literatura científica e sua aplicabilidade na tomada de decisão de problemas envolvendo dados espaciais.

2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO COM FATORES ESPACIAIS

Problemas ou planejamentos na área ambiental que envolvam análise espacial visando o atendimento de um ou mais objetivos, geralmente utilizam um considerável agrupamento de variáveis múltiplas em ambiente SIG, caracterizando uma análise multicritérios (MALCZEWSKI, 2006).

A análise multicritérios com abordagem espacial têm sido comumente utilizada para planejamento do desenvolvimento, ocupação e uso da terra, no estudo e seleção de áreas aptas a diferentes usos (quais poderiam acarretar mais ou menos impactos perniciosos nos processos ambientais), em avaliações de impacto

ambiental (previsões qualitativas dos mesmos), além da aptidão ou não de áreas para implementação de construções privadas e/ou públicas (COLLINS et al., 2001).

A seleção de locais adequados para determinado fim é um problema clássico que tem utilizado os Sistemas de Informação Geográficas (SIG) como sua principal ferramenta, especialmente após a crescente oferta de softwares e linguagens de programação capazes de manusear as bases espaciais disponíveis nos mais diversos bancos de dados nacionais e internacionais. Para além dessa abordagem clássica de mapeamento SIG tem-se a incorporação dos métodos Modelos de Análise Multicritério (MAM) sendo este último uma subdisciplina de pesquisa operacional que considera explicitamente múltiplos critérios em ambientes de tomada de decisão.

O MAM integrado ao SIG fornece procedimentos de solução mais adequados para este problema, cuja seleção de locais seja baseada em critérios de decisão complexos e informações espaciais, uma vez que a seleção de locais adequados pode ser feita de forma mais abrangente com um conjunto de alternativas.

3 O MÉTODO AHP COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS

Entre os métodos de análise multicritérios mais difundidos e utilizados globalmente, o Processo Analítico Hierárquico ou em inglês Analytic Hierarchy Process (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1980 nos Estados Unidos. Trata-se de uma metodologia voltada para solução de problemas de escolha (opção), aplicada para diversas situações onde existam estruturas complexas. O método AHP analisa matematicamente comparações pareadas entre fatores em conjunto aos julgamentos e pesos de especialistas para avaliar critérios qualitativos ou intangíveis. Assim, são identificados fatores ou atributos que, quando selecionados, são organizados hierarquicamente descendentes de modo geral até o objetivo ou solução para o(os) problema(as) até o critério, subcritério e alternativas em diversos níveis (SAATY, 1990).

O método AHP tem sido utilizado em problemas espaciais de localização, na análise de adequabilidade de terras, através dos pesos que determinados critérios

têm no alcance do objetivo da análise. Trata-se de um procedimento para os tomadores de decisão que aborda a aptidão de terras através da sistematização de critérios visando a seleção do local (CHANDIO et al., 2012). Nesta abordagem, os atributos são administrados e tratados em ambiente SIG, onde dados vetoriais ou matriciais convergem para a produção de um mapa (ou produto) final que irá evidenciar as potencialidades ou fragilidades para o embasamento da solução do problema (SAATY, 2005; SAATY, 1990).

Para Saaty (1987), o método AHP é uma teoria geral de mensuração usado para derivar escalas de comparações entre pares discretos e contínuos. Estas comparações podem ser tomadas a partir de medições reais ou de uma escala fundamental que reflete a força relativa das preferências e julgamentos. Inicialmente, decompõe-se hierarquicamente para então agregar as soluções de todos os subproblemas em uma conclusão. Esse processo facilita a tomada de decisões, organizando percepções, julgamentos e informações em uma estrutura que exhibe as forças que influenciam uma decisão (SAATY, 1990). No caso simples e mais comum, as forças são organizadas a partir do mais geral e menos controlável para o mais específico e controlável, utilizando a capacidade humana inata de fazer julgamentos sobre pequenos problemas.

O método AHP, conforme apresentado por Sousa et al. (2017), consiste em três operações principais, incluindo a construção de hierarquia, análise de prioridade e verificação de consistência. Apesar de ser uma estrutura considerada normativa, ainda carrega um nível de subjetividade. Já Saaty (2008) argumenta que, mesmo a escala de preferência sendo considerada objetiva, o julgamento e as preferências por parte do decisor terão sempre um caráter subjetivo, já que essas possuem pesos proporcionais ao grau de importância dado a elas pelo tomador de decisão. Assim, os pesos serão atribuídos aos diferentes critérios e alternativas que caracterizam uma decisão, possibilitando escolher a melhor opção de alternativa ao problema.

Para prosseguir com o processo de hierarquização proposto pelo método AHP, adaptou-se a escala absoluta de Saaty (1987), que contém a intensidade (de 1 a 9), definição e a justificativa de cada um dos itens, conforme apresentado no Quadro 1.

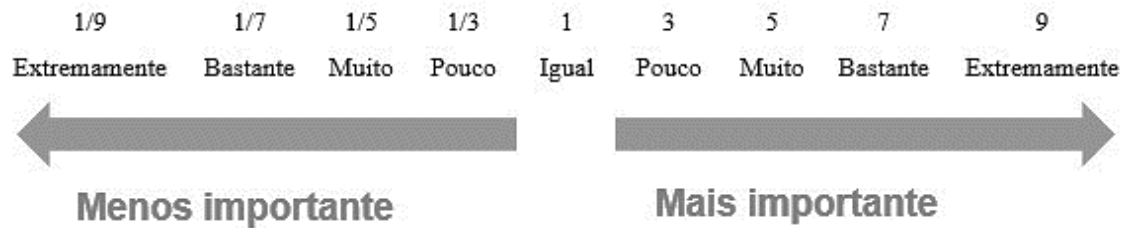
Quadro 1 – Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP.

| Intensidade da importância da escala absoluta | Definição | Justificativa |
|--|--|--|
| 1 | Igual importância | As duas atividades contribuem equitativamente para o objetivo |
| 3 | Importância moderada de um sobre o outro fator | Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra |
| 5 | Essencial ou forte importância | Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra |
| 7 | Importância muito forte | Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática |
| 9 | Importância Extrema | Evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é a mais expressiva possível na ordem de afirmação |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre os julgamentos adjacentes | Quando há necessidade de compromisso |

Fonte: Adaptado de Saaty(1987).

Em muitos casos a quantificação do julgamento do decisor entre dois critérios envolve dificuldades associadas com erros na mensuração dos atributos, imparcialidade nas avaliações e disponibilidade de informação, bem como imprecisões e ambiguidades inerentes ao procedimento da análise pareada (CHANG, CHANG e CHEN, 2009). Dessa forma, alguns estudos optam por utilizar a escala de relativa importância que, a partir da escala absoluta, a qual atribui valores de 1 a 9, tem-se uma nova escala que determina a importância relativa de uma alternativa com a outra, facilitando o processo decisório. Inicialmente o avaliador deve julgar se o critério “A” é mais importante que o “B” (menos importante e mais importante), e sendo este o caso, quanto “A” é melhor que “B”, onde insere-se os pesos utilizando-se a escala para quantificar essa percepção, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada.



Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Pautando-se no modelo de Saaty (2008), a aplicação do método AHP é composta pelas seguintes atividades:

1. Definição dos critérios (mapas temáticos) que compõe a matriz de decisão hierárquica;
2. Construção do conjunto de matrizes de comparação pareada com os atributos selecionados na etapa anterior;
3. Atribuição de julgamentos/ pesos aos critérios previamente definidos, seja com base em dados previamente levantados (data-driven) ou através de painel de especialistas.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente artigo apresenta uma revisão na literatura abrangendo artigos nacionais e internacionais relevantes publicados nos últimos 10 anos e que estivessem relacionados à aplicabilidade dos MAM's ao ambiente SIG – mais especificamente ao processo e metodologia pertinentes ao método AHP.

O levantamento bibliográfico enquanto metodologia de pesquisa foi utilizado nos estudos de Santos et al. (2017), Júnior e Silva (2017) e Vieira et al. (2016), os quais valeram-se da revisão integrativa da literatura e formulação de etapas para: decisão do tema utilizado; definição do problema ou questão norteadora; da seleção dos termos-chave a serem buscados nos artigos e periódicos e o tempo – período de tempo, que variou entre 4, 8 e 10 anos respectivamente. Artigos publicados anteriormente ao período escolhido não foram sumariamente excluídos por deterem conceitos-chave.

Palavras-chave buscadas compreenderam termos nos idiomas Português e Inglês, a fim de aumentar o raio e diversidade de artigos publicados, tais como:

“AHP”, “SIG”, “Sensoriamento Remoto”, “Análise espacial”, “Analytic Hierarchy Process”, “GIS”, “Métodos de Decisão Multicritério”, “Processo Analítico Hierárquico”.

A pesquisa desenvolvida seguindo essas etapas garantiu a abordagem qualitativa deste trabalho – uma vez que permitiu uma análise sistêmica dos dados. Lara e Molina (2011) reforçam que a abordagem qualitativa não se embasa na rigidez de etapas e estrutura pertinentes à abordagem quantitativa e, também, que a revisão de literatura acerca do tema/problema seja aprofundada para permitir adequada discussão e desenvolvimento do estudo – não obstante o uso de dados quantitativos, que podem ser complementares à pesquisa.

5 RESULTADOS

De acordo com a análise pretendida e do levantamento bibliográfico, apresenta-se o Quadro 2 com categorias, áreas e critérios de alguns trabalhos que utilizaram a AHP em ambiente SIG para solucionar seus respectivos problemas.

Quadro 2 – Categorias, autores, área de estudo e número de critérios.

| Categorias | Autores | Área de Estudo | Número de critérios |
|--|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Planejamento Urbano | (1) Dai; Lee; Zhang (2001) | Área urbana do município de Lanzhou, Noroeste da China. | 4 |
| | (2) Lima et al. (2008) | Área urbana do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. | 9 |
| Deslizamento de Terra | (3) Yalcin et al. (2011) | Município de Trabzon, nordeste da Turquia. | 7 |
| | (4) Basu; Pal (2017) | Bacia hidrográfica de Gish, oeste da Índia. | 5 |
| Turismo | (5) Bunruamkaew; Murayama (2011) | Província de Surat Thani, Tailândia. | 5 |
| | (6) Ghamgosar et al. (2011) | Área urbana do município de Langrood, Irã. | 6 |
| Irrigação | (7) Anane et al. (2012) | Região de Nabeul-Hammamet, Tunísia. | 5 |
| Serviços Ecosistêmicos | (8) Estoque; Murayama (2012) | Área urbana do município de Baguio, Filipinas. | 3 |
| Agricultura/Uso da terra | (9) Akinci; Özalp; Turgut (2013) | Distrito de Yusufeli na cidade de Artvin, Turquia. | 9 |
| | (10) Mishra; Deep; Choudhary (2015) | Município de Uttarakhand, Índia. | 6 |
| Desenvolvimento Sustentável / Encostas | (11) Chandio et al. (2014) | Município de George, Malásia. | 10 |
| Construção de estações de combate a | (12) Wei et al. (2011) | Área urbana de Pequim, China. | 3 |
| | (13) Chaudhary et al. (2016) | Região metropolitana de Kathmandu, Nepal. | 4 |

| incêndio | | | |
|--------------------|-------------------------------------|--|---|
| Energia | (14) Uyan (2013) | Região de Karapinar, Konya/Turquia. | 5 |
| | (15) Azevêdo; Candeias; Tiba (2017) | Estado de Pernambuco. | 4 |
| Risco de Inundação | (16) Roslee (2017) | Área de Penampang, Sabah/Malásia. | 8 |
| Recursos Hídricos | (17) Gdoura; Anane; Jellali (2015) | Área do aquífero raso de Nabeul-Hammamet, Tunísia. | 6 |
| | (18) Shekhar; Pandey (2015) | Distrito de Palamu, Estado de Jharkhand, Índia. | 8 |
| | (19) Pinto et al. (2017) | Bacia hidrográfica de Comoro, Timor Leste. | 8 |
| Saúde | (20) Camargo et al. (2017) | Região Metropolitana de Campinas, Brasil. | 7 |

Fonte: Autores (2018).

Os critérios utilizados nos estudos apresentados demonstram o caráter espacial da seleção dos mesmos pelos autores, visto que a maioria dos critérios se alinham com dados de distribuição espacial e de localização. O quadro 3 apresenta a diversidade de critérios utilizados na literatura consultada, especificando os resultados da presente revisão.

Quadro 3- Autores e Critérios encontrados na revisão

| Autor | Critérios Utilizados |
|------------------------------|---|
| Dai; Lee; Zhang (2001) | Topografia; Condições do Solo; Lençóis Freáticos; Risco Geológico. |
| Lima et al. (2008) | Volume de Tráfego e Classificação Funcional; Tipo de Rota; Capacidade Funcional; Capacidade Estrutural; Idade; Localização; Questões de Segurança; Questões Ambientais; Fatores Econômicos. |
| Yalcin et al. (2011) | Geologia; Declividade; Aspecto; Elevação; Cobertura da Terra; Proximidade ao Sistema ou Rede de Drenagem e Distância de Estradas. |
| Basu; Pal (2017) | Fatores Desencadeantes; Fatores Litológicos; Fatores de Superfície; Fatores Antropogênicos; Fatores Protetivos. |
| Bunruamkaew; Murayama (2011) | Paisagem; Vida Selvagem; Topografia; Acessibilidade; Características da Comunidade. |
| Ghamgosar et al. (2011) | Elevação; Declividade; Aspecto; Solo; Rocha; Uso do Solo. |
| Anane et al. (2012) | Classes de Capacidade de Uso da Terra; Conflitos de Recursos; Econômico; Ambiental. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Estoque; Murayama (2012) | Taxa Anual de Crescimento Populacional; Elevação; Declividade. |
| Akinci; Özalp; Turgut (2013) | Classes de Solo; Classes de Capacidade de Uso da Terra; Sub-classes de Capacidade de Uso da Terra; Profundidade do Solo; Erosão; Outras Propriedades do Solo; Declividade; Aspectos (Irradiação); Elevação. |
| Mishra; Deep; Choudhary (2015) | Drenagem; Rodovias; Solo; Geologia; Uso e Cobertura da Terra; Declividade. |
| Chandio et al. (2014) | Rodovia Primária, Rodovia Secundária, Elevação, Declividade, Aspecto, Terras Agrícolas, Área Florestal, Residência Existente, Terras Alagadas, Águas superficiais |
| Wei et al. (2011) | Densidade Populacional; Perdas após Incêndios Prediais; Distância da Estação de Combate a Incêndio mais Próxima. |
| Chaudhary et al. (2016) | Distâncias das Rodovias; Cobertura da Terra; Distância dos Rios; Densidade Populacional. |
| Uyan (2013) | Distância de Áreas Residenciais; Uso da Terra; Distância de Rodovias; Declividade; Distância de Linhas de Transmissão. |
| Azevêdo; Candeias; Tiba (2017) | Climático; Topografia; Ambiental; Localidade. |
| Roslee (2017) | Precipitação; Gradiente de Declividade; Elevação; Densidade de Drenagem; Uso da Terra; Texturas do Solo; Curvas de Declividade; Acúmulo de Fluxo |
| Gdoura; Anane; Jellali (2015) | Textura do Solo; Geologia; Elevação; Uso da Terra; Distância de Áreas Urbanas; Qualidade da Água Subterrânea. |
| Shekhar; Pandey (2015) | Geomorfologia; Litologia; Solo; Declividade; Densidade Linear; Densidade de Drenagem; Pluviosidade; Espessura da Zona de Resistência. |
| Pinto et al. (2017) | Densidade Linear; Uso da Terra; Declividade; Topografia; Solo; Litologia; Densidade de Drenagem; Precipitação. |
| Camargo et al. (2017) | Iluminação Pública; Pavimentação; Calçamento; Arborização; Esgoto a Céu Aberto; Lixo Acumulados; Rede Geral Distribuição de Água. |

Fonte: Autores (2018).

5.1 Planejamento Urbano, infraestrutura e energia

No trabalho desenvolvido por Lima et al. (2008), foi delineado um estudo que utilizou um método de análise multicritério em ambiente SIG para auxiliar no desenvolvimento de um modelo de gestão para ações prioritárias de conservação de

vias/pavimentos na área urbana do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. Para a aplicação da AHP, foi necessário selecionar critérios relevantes no processo de análise e decisão. Os resultados em forma de índices de ações prioritárias enfatizaram que as áreas contidas nas faixas de “0.4 – 0.6” e “0.6 – 0.8” foram as que obtiveram maior peso, logo maior necessidade de reparos.

O planejamento para a construção de novas estações de combate a incêndios na área que compreende os anéis rodoviários, mais especificamente o terceiro, na área urbana de Pequim, China foi objeto do estudo de Wei et al. (2011). Com o intuito de reduzir a incerteza na identificação de áreas mais favoráveis ou adequadas, os autores utilizaram o método AHP juntamente ao ambiente SIG, selecionando três critérios. Na produção do mapa final houve a ocorrência de áreas que obtiveram, no mapa e na legenda, a coloração “Vermelha”, “Verde” e “Azul” como as regiões de importância progressiva, respectivamente.

Chaudhary et al. (2016) também desenvolveram um estudo para identificação de potencial e favorabilidade para construção de estações de combate a incêndios na região metropolitana de Katmandu, no Nepal. Com a seleção de quatro critérios trabalhados em ambiente SIG juntamente com o método AHP, foi possível produzir um mapa final que apontou que aproximadamente 13,46% da área total da cidade encontrava-se classificada como “Altamente favorável” para a construção.

Outra aplicabilidade encontrada para associação do método AHP e ambiente SIG, se refere à identificação de áreas com potencial para a instalação de usinas de energia solar para o Estado de Pernambuco, desenvolvido por Azevêdo et al. (2017). Alguns dos subcritérios encontrados na matriz de comparação eram similares aos critérios utilizados em outros trabalhos, são eles: “Declividade, Uso do solo, Distância de corpos hídricos e Áreas urbanas”. Áreas adequadas ou com favorabilidade à instalação foram reclassificadas em “Alta” e “baixa”, com faixas de transição nas cores, tanto no mapa como na legenda.

5.2 Análise de riscos: deslizamento de terra e Inundações

Yalcin et al. (2011) buscaram mapear em seu estudo as áreas suscetíveis ao deslizamento de terra no município de Trabzon, nordeste da Turquia, visando a redução de uma das maiores causas de morte do país. Para tal, foi utilizada a AHP em conjunto ao ambiente SIG, através da seleção de sete critérios ou parâmetros, que colocados na matriz de comparação, foram hierarquizados. Com isso, delimitou-

se subcritérios e obteve-se os pesos para que viabilizasse, com os dados espaciais, a produção de um mapa apontando a propensão ou não de determinadas áreas para a ocorrência de deslizamentos. A reclassificação no mapa final foi de “Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito alta suscetibilidade”.

Já o estudo desenvolvido por Roslee et al. (2017) tencionava avaliar o nível e potencial de Inundação na área de Penampang, Sabah, na Malásia. Para isso, utilizaram o método AHP (e suas respectivas etapas) aliado ao ambiente SIG para apontar quais áreas seriam mais propensas e as que não seriam à inundação, a fim de orientar o planejamento urbano e mitigar os efeitos da inundação na área de estudo. Assim, foram selecionados oito critérios considerados importantes e influentes no processo. A reclassificação dos mapas ficou em “Alta” e “Baixa”, com faixas de transição observadas no mapa e nas legendas.

5.3 Agricultura e uso sustentável da terra

O trabalho desenvolvido por Mishra et al. (2015) no município de Uttarakhand, na Índia, objetivava identificar o potencial para desenvolvimento de agricultura orgânica visando melhoria econômica da área, utilizando o método multicritério AHP em conjunto ao ambiente SIG. Os dados espaciais de seis critérios foram trabalhados e padronizados no software ArcGIS – dando origem a um mapa final com as reclassificações “Muito mais favorável, Mais, Menos e Não-favorável” ao desenvolvimento de agricultura orgânica.

Outra aplicação refere-se à combinação de uso do método AHP ao ambiente SIG, desenvolvido no estudo de Chandio et al. (2014), onde a abordagem do trabalho tencionava apontar o potencial de favorabilidade para o uso sustentável das áreas de encosta devido à escassez de terras planas na Ilha de Penang, município de George, Malásia. Notas dadas pelos especialistas e a matriz de comparação foram trabalhados no software Expert Choice (EC), além da verificação do índice de consistência (que faz parte da análise de consistência do julgamento/atribuição das notas). Nos mapas de cada um de seus critérios, a reclassificação ficou em “Altamente, Moderado, Pouco ou Inadequado” para o potencial das áreas.

5.4 Recursos Hídricos

Pinto et al. (2017) integraram ao desenvolvimento do seu estudo o método AHP, o ambiente SIG e dados de sensoriamento remoto para a delimitação de zonas e seus potenciais para exploração de águas subterrâneas de modo sustentável na Bacia Hidrográfica de Comoro, em Timor Leste. Utilizando oito critérios, produziu-se o mapa final, gerado no ArcGIS 10.1, com a reclassificação definida em “Muito pobre, Pobre, Moderado, Alto e Muito alto”.

Outro estudo, desenvolvido no distrito de Palamu, no Estado de Jharkhand, na Índia, também buscou a delimitação de áreas para exploração de águas subterrâneas. Shekhar e Pandey (2015) utilizaram a mesma associação AHP, SIG e Sensoriamento Remoto, para produzir um mapa final reclassificando o potencial para “Excelente, Muito bom, Bom, Moderado, Fraco e Muito fraco”. De acordo os autores, aproximadamente 88% do território estudado não têm potencial favorável à exploração.

5.5 Saúde e Turismo

No trabalho de Buruamkaew e Murayama (2011), a utilização do método multicritério AHP aliado ao ambiente SIG, objetivou a identificação da favorabilidade para a priorização de áreas para o ecoturismo na província de Surat Thani, na Tailândia. Os pesos foram calculados no Microsoft Excel e mapas no formato ráster foram produzidos no software ArcGIS 9.3, os quais foram manejados para a produção dos mapas de favorabilidade. No mapa final, a identificação das áreas com potencial para ecoturismo na província apresentava a seguinte classificação “Alta, Moderada, Levemente ou Não adequado”.

Outro estudo valeu-se de objetivo similar, e visou indicar o potencial de áreas para o desenvolvimento do ecoturismo na área do distrito de Langrood, Irã, aplicando-se o método AHP em consonância ao ambiente SIG (GHAMGOSAR et al., 2011). Neste trabalho, foram utilizados seis critérios considerados importantes para a análise.

A combinação do método AHP em ambiente SIG também tem sua aplicabilidade no auxílio do processo de gestão da saúde pública, como demonstra um estudo realizado na Região Metropolitana de Campinas, São Paulo, Brasil, desenvolvido por Camargo et al. (2017). Neste, o objetivo era identificar a potencialidade de áreas que integravam a Região Metropolitana de Campinas

suscetíveis à contaminação por doenças em decorrência da ausência de saneamento básico. Para a produção de um mapa final que evidenciasse tal possibilidade foram utilizados sete critérios com as faixas de reclassificação definidas em “Muito baixa, Baixa, Média e Alta” para a favorabilidade de acordo com os setores zoneados na análise.

O levantamento bibliográfico apresentado no Quadro 2 evidenciou a versatilidade e a viabilidade de aplicação do método AHP em diversas temáticas que requerem uso de dados espaciais. Trata-se, portanto, de um método que, ao produzir um mapa final com suas reclassificações e potenciais, é capaz de reduzir as incertezas de processos decisórios complexos e que envolvem diversos fatores (socioambientais, econômicos e políticos) – complexidade esta, próxima dos muitos desafios relacionados ao planejamento ambiental e de uso da terra no contexto brasileiro.

6 CONCLUSÃO

Dentro do amplo espectro de métodos de análise multicritérios existentes, é possível apontar o caráter prático do método AHP, além de sua viabilidade e versatilidade para a redução de incertezas. O processo de análise hierárquica de múltiplos critérios para tomada de decisão possui elementos capazes de avaliar as potencialidades ou restrições inerentes ao processo decisório, influenciando positivamente no planejamento. Com isso, dispõe-se de um importante subsídio à formulação de políticas públicas mais específicas e possivelmente mais eficazes, voltadas ao desenvolvimento socioambiental e econômico.

A partir dos trabalhos selecionados através de levantamento bibliográfico, foi possível identificar 12 categorias científicas com aplicação distintas, com a utilização de 122 critérios. Todos os trabalhos utilizaram o método AHP em consonância ao ambiente SIG, e apresentaram estudos realizados em diferentes países.

Apesar de certa subjetividade presente em parte do processo de análise hierárquica AHP (seleção, preferência dos critérios e julgamento pelos especialistas), o mesmo tem sido bastante disseminado academicamente e publicados em revistas com fator de impacto importante (no indexador Scopus).

Assim, no contexto do ambiente SIG, o uso do método AHP para identificar áreas com riscos, potencial ou favorabilidade, poderia contribuir na melhoria da gestão dos recursos ambientais. Ademais, configura-se como uma ferramenta capaz de auxiliar na formulação de políticas públicas; em ações de combate ao desmatamento; na proteção de unidades de conservação; no planejamento urbano; ações de segurança pública; saúde, entre outros – promovendo um desenvolvimento mais equilibrado.

Como recomendação final, e no âmbito de aplicação para políticas públicas e promoção de um desenvolvimento regional mais sustentável, sugere-se o emprego do método AHP com dados espaciais em ambiente SIG, na análise e avaliação das condições de favorabilidade para expansão da fronteira agrícola no estado do Pará. Trata-se de um desafio para o planejamento regional, tendo em vista a complexidade e extensão de área a ser analisada, o que requer a avaliação de muitos fatores e critérios, muitos dos quais apresentados em bases espaciais que necessitam ser processadas em ambiente SIG. Esta aplicação faz parte do mesmo projeto de pesquisa que originou este artigo e será apresentado posteriormente.

REFERÊNCIAS

- AKINCI, H.; ÖZALP, A. Y.; TURGUT, B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 97, p. 71-82, 2013.
- ANANE, M.; BOUZIRI, L.; LIMAM, A.; JELLALI, S. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 65, p. 36-46, 2012.
- AZEVÊDO, V. W. B.; CANDEIAS, A. L. B.; TIBA, C. Location Study of Solar Thermal Power Plant in the State of Pernambuco Using Geoprocessing Technologies and Multiple-Criteria Analysis. *Journal Energies*, v. 10, n. 7, 2017.
- BASU, T.; PAL, S. Exploring landslide susceptible zones by analytic hierarchy process (AHP) for the Gish River Basin, West Bengal, India. *Spatial Information Research*. V. 25, n. 5, p. 665-675, 2017.
- BUNRUAMKAEW, K.; MURAYAMA, Y. Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS & AHP: A Case Study of SuratThani Province, Thailand. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, v. 21, p. 269–278, 2011.

CAMARGO, D. M.; SOUZA, N. M.; PACHECO, T. C. K. F.; ALCÂNTARA, G. C.; DOTA, E. M. Modelagem geoespacial para identificação de áreas vulneráveis ao contágio por doenças relacionadas a falta de saneamento: o caso da Região Metropolitana de Campinas. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 69/3, p. 561-573, 2017.

CHANDIO, I. A.; MATORI, A. N. B.; WANYUSOF, K. B.; TALPUR, M. A. H. T.; BALOGUN, A-L.; LAWAL, D. U. GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 2012.

CHANDIO, I. A.; MATORIB, A. N.; YUSOFB, K.; TALPUR, M. A. H.; AMINUB, M. GIS-based land suitability analysis of sustainable hillside development. *Procedia Engineering*, v. 77, p. 87-94, 2014.

CHAUDHARY, P.; CHHETRI, S. K.; JOSHI, K. M.; SHRESTHA, B. M.; KAYASTHA, P. Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 53, p. 60-71, 2016.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements, *Environmental Management*, v. 28, n. 5, p. 611–621. 2001.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering geology*, v. 61, p. 257-271, 2001.

DROBNE, S.; LISEC, A. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica*, v. 33, p. 459–474. 2009.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y. Examining the potential impact of land use/cover changes on the ecosystem services of Baguio city, the Philippines: A scenario-based analysis. *Applied Geography*, v. 35, n. 1–2, p. 316-326, 2012.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of Art – Surveys. International Series in Operations Research & Management Science*. New York: Springer International Editions – Verlag, 2005.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 2013, Foz do Iguaçu-PR. *Anais...Foz do Iguaçu*: INPE, 2013.

GDOURA, K.; ANANE, M.; JELLALI, S. Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 104, p.19-30, 2015.

GHAMGOSAR, M.; HAGHYGHY, M.; MEHRDOUST, F.; ARSHAD, N. Multicriteria Decision Making Based on Analytical Hierarchy Process (AHP) in GIS for Tourism. *Middle-EastJournalofScientificResearch*, v. 10, n. 4, p. 501-507, 2011.

JÚNIOR, P. L.; SILVA, S. G. Educação em ciência e democracia: uma revisão de literatura em periódicos internacionais. In: X CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 2017 Sevilla. *Anais...* Sevilla, 2017.

LARA, A. M. B.; MOLINA, A. A. Pesquisa Qualitativa: apontamentos, conceitos e tipologias. In: TOLEDO, C. A. A. de; GONZAGA, M. T. C. (Org.). *Metodologia e Técnicas de Pesquisa nas Áreas de Ciências Humanas*. Maringá: EEduem, 2011, v. 01, p. 121-172.

LIMA, J. P.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; RAMOS, R. A. R.; LIMA, R. S. Processo hierárquico analítico na gestão da conservação de vias urbanas pavimentadas. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 2008. *Anais...* Rio de Janeiro, 2008.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **InternationalJournalofGeographicalInformation Science**, v.20, n.7, p.703-726, 2006.

MEDEIROS, A. *Análise Multicritério em SIG – Parte 1*. 2016. Disponível em: <http://www.andersonmedeiros.com/analise-multicriterio-em-sig-1/>. Acesso: 15/05/2017.

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 Sciences*, v. 18, p. 181-193, 2015.

PINTO, D.; SHRESTHA, S.; BABEL, M. S.; NINSAWAT, S. Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique. *Applied Water Science*, v. 7, p. 503-519, 2017.

ROSLEE, R.; TONGKUL, F.; SIMON, N.; NORHISHAM, M. N. Flood Potential Analysis (FPAn) using Geo-Spatial Data in Penampang area, Sabah. *Malaysian Journal Geosciences (MJG)*, v. 1, n. 1, p. 01-06, 2017.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

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.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art – Surveys*. Kluwer Academic Publishers: Springer's International Series, 2005. Cap. 9.

SANTOS, L. E. S.; SANTOS, J. S.; RIBEIRO, A. C. O.; NUNES, I. T. O.; BARROS, F. D. Cuidados de enfermagem voltados a pacientes com Acidente Vascular Encefálico: uma Revisão Integrativa de Literatura. In: INTERNATIONAL NURSING CONGRESS. Theme: Good practices of nursing representations in the construction of society. *Anais...* 2017.

SHEKHAR, S.; PANDEY, A. C. Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques. *Journal Geocarto International*, v. 30, n. 4, 2015.

SILVA, R. M., BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. In: XI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 2005. *Anais...* 2005.

SOUSA, J. V.; JERÔNIMO, T. B.; MELO, F. J. C.; AQUINO, J. T. Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. *Exacta*, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017.

UYAN, M. GIS-based solar farms site selection using Analytic Hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 28, p. 11-17, 2013.

VIEIRA, N. R. S.; DANTAS, R. A. N.; DANTAS, D. V.; SANTOS, J. J. S.; VASCONCELOS, E. F. L.; CARVALHO, I. C. T. Caracterização da Produção Científica sobre intoxicações exógenas: revisão integrativa da literatura. *Revista Saúde*, v. 10, n. 1-2, 2016.

WEI, L.; LI, H.; LIU, Q.; CHEN, J.; CUI, Y. Study and implementation of fire sites planning based on GIS and AHP. *Procedia Engineering*, v. 11, p. 486-495, 2011.

YALCIN, A.; REIS, S.; AYDINOGLU, A. C.; YOMRALIOGLU, T. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, v. 85, n. 274-287, 2011.

ARTIGO 2

Título: Classificação de áreas favoráveis para a expansão agrícola utilizando o método AHP: uma aplicação no estado do Pará

Submissão à Revista (à decidir).

QUALIS

Classificação de áreas favoráveis para a expansão agrícola utilizando o método AHP: uma aplicação no Estado do Pará

RESUMO

O avanço da fronteira agrícola no Pará tem sido relacionado a intrínsecas mudanças socioeconômicas, ambientais e na ocorrência de novas formas de organização e gestão territorial. Pela sua dimensão e alcance, as transformações resultantes da mudança do uso e ocupação da terra para fins agrícolas, especialmente grãos, ainda precisam de mais estudos para que possam efetivamente contribuir no processo de desenvolvimento regional. Desse modo, o presente trabalho objetivou analisar a dinâmica da expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará considerando fatores biofísicos, de infraestrutura e algumas restrições (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), para posteriormente construir um modelo preditivo para favorabilidade da expansão agrícola. A metodologia do trabalho está baseada no uso do método de análise multicritérios AHP (Analytic Hierarchy Process) aplicado ao ambiente SIG. Os resultados têm como base mapas temáticos reclassificados por meio de operações de álgebra de mapas, evidenciando assim as áreas com características favoráveis para expansão das atividades agrícolas no estado do Pará. Por fim, a evidenciação de áreas favoráveis à expansão será útil para auxílio em processos decisórios para formulação de políticas públicas e gestão das terras e na promoção dos benefícios inerentes às atividades agrícolas para o estado, população e meio ambiente.

Palavras-chave: Desenvolvimento regional. Fronteira agrícola. Análise multicritério.

1. INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola ao longo das quatro últimas décadas segue padrões regionais, muitos dos quais carecem de dados e metodologias capazes de auxiliar o planejamento de políticas públicas, especialmente em regiões historicamente desfavorecidas.

A ocupação da fronteira agrícola está relacionada a um contexto maior do setor e dos interesses nacionais das décadas de 1960/1970, haja vista que nesse período, o mundo vivenciou a modernização agrícola e a expansão da globalização. No Brasil, tais fatores acabaram por conduzir à redescoberta do setor agrícola como vetor de crescimento econômico, à reorganização dos espaços produtivos e ao desenvolvimento e adoção de políticas orientadas para o mercado agroexportador (WEIHS et al., 2017).

Esse modelo alterou a dinâmica agrícola principalmente nos estados da região Sul e do Nordeste, onde produziu concentração fundiária, reorientação das atividades produtivas e expulsão de mão de obra do campo. À mesma época, o governo brasileiro assumiu a ocupação da Amazônia como uma prioridade, pois serviria de "válvula de escape" para aliviar as pressões sociais ligadas à crescente concentração da terra nas outras regiões, contribuindo para a planificação de grandes projetos de ocupação agrícola (WEIHS et al., 2017).

Apesar da expansão agrícola estar geralmente associada com as causas do desmatamento nas regiões tropicais, há um movimento crescente para aumentar a sustentabilidade nas cadeias de valor de produtos agrícolas. Isso inclui a demanda para estabelecer novas plantações de colheitas e áreas de pastagem em terras já desmatadas de forma que a nova clareira para a agricultura seja minimizada (SCHROTH et al., 2016).

Percebe-se que neste contexto, a Amazônia brasileira está sendo afetada pela nova transformação geopolítica mundial que tende a uma economia global integrada. Apesar da implantação de grandes projetos em seu território, as considerações ambientais não foram adequadamente incorporadas no planejamento de uso da terra a longo prazo e essa falha deve-se, em parte, às complexidades dos arranjos institucionais intersetoriais existentes no país (TOLEDO et al., 2017).

Destaca-se neste cenário o estado do Pará, que foi cortado por uma malha rodoviária com capacidade de escoar a produção das atividades agrícolas, fato que influenciou um novo contexto populacional, ambiental e fundiário fortemente articulado pelos processos migratórios (BECKER, 2010).

Para Adami et al. (2015), a evolução da economia do Estado do Pará perpassa por diversas atividades que, para atender à crescente demanda por produtos e terras, contribui para que a fronteira agrícola se consolide e se expanda ainda mais. Embora essa expansão demonstre grande avanço econômico, ainda apresenta déficits quanto aos progressos sociais e ambientais, demonstrando assim necessidade de planejamento para integração de informações e análises visando auxiliar no processo de desenvolvimento. Neste sentido, se torna relevante compreender as dinâmicas de uso e ocupação da terra presentes em seu território e seus impactos a fim de analisar o potencial de expansão da fronteira agrícola considerando os critérios físicos e estruturais.

Vários estudos têm demonstrado que as atividades de colonização e uso da terra, podem ser perpetradas por diferentes agentes, e levam a padrões espaciais distintos na paisagem (ROSA et al., 2017). Na agricultura, a questão da sustentabilidade envolve fatores físicos, bióticos e aspectos relativos à viabilidade econômica e sociocultural (GOMES et al., 2009).

Na avaliação de conceitos complexos dessa temática, Soares et al. (2011) expõem que um dos principais problemas está na tendência de separar os fatores econômicos, sociais e ambientais nos seus processos de formulação de políticas públicas, fato este que tem implicações profundas sobre a eficiência e a sustentabilidade do desenvolvimento, necessitando assim de ferramentas que permitam monitorar a situação ambiental, o manejo dos recursos naturais, o impacto e as consequências do desenvolvimento sobre meio ambiente de maneira agregada.

Diante do estudo de situações complexas envolvendo vários fatores, tem se utilizado tanto na esfera científica como institucional, a análise multicritério que permite a comparação de vários critérios, comparando-os e transformando-os na resposta que auxilie no processo decisório de modo a atingir o objetivo almejado. Dentre essas ferramentas, Rocha e Schuler (2016) apresentam o Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP), uma metodologia de suporte à decisão multicritérios, baseada na comparação pareada das variáveis e seus atributos em função de escalas prioritárias, tendo como característica a capacidade de mensurar a consistência dos julgamentos.

Ao associar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com análise multicritério, tem-se como resultado uma metodologia investigativa mais robusta que combina diferentes variáveis, permitindo classificar o espaço de forma contínua em áreas com maior ou menor potencial para uma finalidade, tendo como produto final uma representação espacial do território que atende ao objetivo da análise. Esse modelo espacial facilita a compreensão dos problemas envolvendo espaço e território, bem como oferece a possibilidade de testar diferentes cenários visando o planejamento ou a tomada de decisão na esfera das políticas públicas.

Por fim, o presente trabalho tem por objetivo analisar a expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará considerando fatores espaciais a fim de perceber sua dinâmica, e avaliar a potencialidade do seu deslocamento sobre áreas especiais. E, de modo mais específico, propõe-se classificar áreas favoráveis para a expansão

agrícola considerando fatores biofísicos e de infraestrutura para posteriormente, em uma segunda etapa, construir um modelo preditivo da expansão agrícola a partir de fatores considerados favoráveis para a atividade agrícola, e avaliar cenários de expansão dentro do Estado do Pará.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos de Fronteira: possibilidades em restringir ou avançar.

Com relação aos conceitos que envolvem fronteira, Turner (1893) discorre a respeito como sendo a capacidade de adaptação ou fluidez de um povo (em expansão) às mudanças, as quais envolveriam da travessia de continentes, estados, no progresso, externo às condicionantes econômicas e políticas primitivas da fronteira convergindo para a complexidade da vida nas cidades. Ferrari (2014) discorre acerca das diversas terminologias que utilizam o vocábulo fronteira, tais como: “a moral, a militar, a existente entre consciente e inconsciente, linguística, etc.”, contudo, o propósito do seu trabalho era o de estudar as que foram resultado de ações antrópicas, cuja intencionalidade fosse a representação, ordenamento e/ou controle de determinado espaço territorial.

Lombardi e D’Antona (2015) observam que, o entendimento de fronteira como condição de ocupação do território é decorrente de fatores ou atores antrópicos como deslocamento de indivíduos e os processos que envolvem os assentamentos dos mesmos, os quais convergem para a mudança da paisagem, sobretudo à alteração ou substituição de áreas naturais (de modo total ou parcial de vegetação e/ou fauna nativa) em áreas voltadas ao plantio e a criação de animais.

Outro quesito que compreende a questão de ocupação e uso da terra origina-se da expansão do colonialismo Português em relação ao Brasil, quando do envio de pessoas e ordens para construção de fortes, igrejas e residências de oficiais para que expandissem o poder e constituísse território ocupado e disponível às necessidades da Coroa, por recursos naturais e, mais adiante, de recursos humanos no período escravocrata (ERTHAL, 2000).

Mais recentemente a partir da década de 60, observou-se por parte do governo federal a promoção da ocupação do território e a soberania nacional dentro do conjunto de ideias, estratégias e ações das quais faziam parte grandes obras (Belém-Brasília, Transamazônica, Cuiabá-Porto Velho, UHT de Tucuruí, entre

outras), programas e projetos. Venturieri et al. (2010) citam o Projeto de Integração Nacional (PIN) como um importante promotor e indutor da integração de regional à economia e estrutura nacional – fomentando assim, o desenvolvimento e o posterior avanço da fronteira na Amazônia, na Região Nordeste e outros.

A expansão agrícola, o crescimento populacional, e as melhorias na estrutura de transporte, são definidas como características intrínsecas da fronteira agrícola, para a real observância de mudanças no ordenamento espacial e no uso da terra. Destaca-se também neste contexto o papel da pesquisa e desenvolvimento tecnológico (na melhoria dos grãos, e promoção de estudos edafo-climáticos, etc.), e também da economia de mercado através do aumento da demanda por determinadas commodities (RINDFUSS et al., 2007).

Malanson et al. (2006) abordam a existência de pontos-chave em comum para análise da complexidade das fronteiras, considerando tanto os aspectos biológicos quanto os de ocupação humana (settlement) – com as forças extrínsecas ou intrínsecas interagindo e, também da importância dos processos e dos padrões espaciais que estão conectados e em constante feedback. A interação entre as forças tem a possibilidade de promover ou restringir o avanço da fronteira, pois podem potencializar aliado à tecnologia, o uso de terras já ocupadas ou destinadas a dadas culturas e/ou favorecer o avanço sobre terras detentoras de vegetação nativa – no continuado remodelamento da paisagem. Fatores como tipologia e aptidão edáfica, clima (precipitação média anual e/ou mensal, temperatura média), relevo (declividade, geomorfologia) e a própria mudança no uso da terra detém influência real para avanço ou não da fronteira agrícola.

2.2 O avanço da Fronteira Agrícola na Amazônia

A Amazônia, ao longo de sua história, passou por um intenso processo de transformação na sua forma e no seu conteúdo, fazendo com que diferentes elementos sociais, políticos e econômicos modificassem seu espaço. Sendo assim, através da interpretação do atual uso e cobertura da terra, é possível verificar como os diferentes atores e políticas envolvidas se associaram em cada momento específico na história e atualmente refletem no espaço (SILVA et al., 2013).

A expansão rumo ao norte do Brasil nos anos 1970 deu início a um período de intensas alterações na Amazônia. Os ciclos de ocupação impeliram ao advento

de um novo contexto de desenvolvimento populacional, ambiental e fundiário, aspectos estes que estão fortemente interligados. Desde então, o entendimento da dinâmica populacional da região é influenciado pelo referencial da ocupação de uma fronteira agrícola (CÔRTEZ e D'ANTONA, 2016).

Como argumentam Oliveira et al. (2011), há décadas prevalecem nas fronteiras amazônicas dinâmicas de ocupação do espaço baseadas em formas agressivas de exploração do ambiente, às quais se associam vários problemas. As relações historicamente estabelecidas entre sociedade e natureza nessas áreas revelam a predominância de uma visão moderna que geralmente reduz os elementos naturais existentes a uma condição de “recursos” e de uma disputa pela posse e uso dos mesmos, tendo em vista os diferentes interesses que orientam os diversos atores locais.

Atualmente, observa-se que essa diversidade ambiental existente na região vem sendo reforçada e ampliada. As transformações ocorridas no contexto socioeconômico regional nos últimos anos, as crises nos sistemas de produção decorrentes das práticas e escolha de manejos produtivos inadequados, a generalização das preocupações relacionadas à questão ambiental, entre outros fatores, tem estimulado um movimento de mudanças nas formas de exploração do meio natural e de gestão do espaço nos estabelecimentos familiares, no sentido da complexificação dos sistemas produtivos (SILVA et al., 2013).

Carvalho et al. (2016) retratam que, no processo de ocupação da região amazônica, pequenos proprietários de terra foram expandindo a fronteira agrícola, sendo, posteriormente, substituídos por uma segunda geração de proprietários, com maior capitalização e ocupando áreas maiores. Ao mesmo tempo, essa dinâmica forçou os pequenos agricultores a procurarem novas áreas de ocupação, abrindo novas fronteiras para o desmatamento. Neste contexto, a insegurança sobre os direitos de propriedade e regularização das terras, juntamente com políticas fiscais e creditícias, contribuíram para esse processo de expansão da fronteira agrícola.

Na Amazônia, o papel da pecuária ainda desponta como forçante principal do desflorestamento, sendo atualmente seguido pelo aumento do plantio de grãos, que embasados por subsídios oriundos do governo federal e incentivos na melhoria em infraestrutura para transporte da produção, acabam por intensificar o avanço sobre a floresta nativa (MARGULIS, 2003).

O progresso e melhoria na agricultura mecanizada voltada para o cultivo e produção de grãos, em destaque a soja e o milho, tem elevado o a sua importância no cenário da expansão da fronteira agrícola, no que concerne ao avanço sobre áreas de florestas. Carvalho et al. (2016) discutem que tal expansão se sobrepôs a da pecuária, que a área desmatada para fins agrícolas foi, em média, o dobro da com finalidade pecuária.

No início dos anos 2000, Sauer e Pietrafesa (2013) expõem que novas possibilidades são apresentadas ao capital a fim de conciliar frentes pioneiras, frentes de expansão e fronteiras, colocando a seu serviço planejamento, tecnologias, novas terras ainda “sem uso” e, outras já abertas à agropecuária, além de incentivos governamentais. Historicamente, a pecuária e a mineração foram as principais atividades econômicas que mais impactaram no meio ambiente amazônico. No entanto, a expansão acelerada das lavouras de grãos na região, com especial destaque para o Estado do Pará, é parte importante na incorporação de novas terras às agroestratégias regionais amazônicas, não só de pastagens, mas também com florestas secundárias, reproduzindo a lógica de exploração predatória.

Dentre os cultivares que têm expandido suas áreas de plantio, a sojicultura vem despontando no cenário econômico. Lima e May (2005) abordam que tem avançado em todas as regiões do país, mas é no Nordeste e na Amazônia Brasileira que isso tem ocorrido de modo acelerado em decorrência do preço atrativo (do grão em si e de seus subprodutos), dos subsídios governamentais (infraestrutura, financiamentos, pesquisa e desenvolvimento) que viabilizem condições para desenvolvimento.

2.3 Análise multicritério com uso de dados espaciais

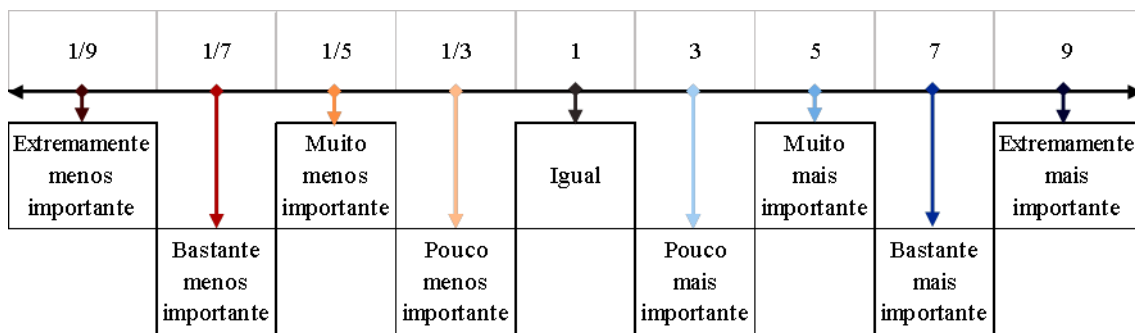
A combinação de métodos de análise multicritérios (MAM) com análise espacial e georreferenciamento é amplamente utilizada com propósito de planificar de modo satisfatório – através de diversos critérios e fatores – a ocupação e uso da terra, ao alicerçar estudos que visem selecionar áreas com aptidão para as mais diversas finalidades (SANTOS e CRUZ, 2013).

Método desenvolvido por Saaty (1987), a AHP (*Analytic Process Hierarchy*) pode contribuir na sistematização e identificação de áreas que sejam propensas a uso e ocupação da terra, após a reclassificação dos pesos obtidos (no julgamento

dos especialistas) e dos diversos critérios selecionados – hierarquizando-os em caráter de importância, na escala de importância relativa. Método este bastante útil para redução de incertezas inerentes a processos decisivos complexos (REZENDE et al., 2017).

Vê-se na Figura 1, uma esquematização dos pesos que avaliarão a importância relativa de cada critério e respectivos subcritérios, de acordo com a metodologia da AHP.

Figura 1 – Esquematização para a escala de importância relativa

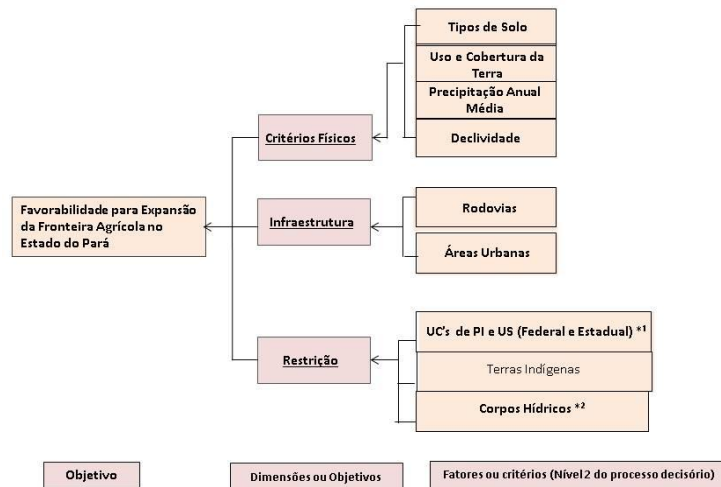


Fonte: Autores (2018).

A aplicação deste método, segundo Marins et al. (2009), ocorre em função da execução de etapas, como na construção de hierarquias, seleção dos critérios que farão parte da matriz hierárquica; na definição de prioridades: a matriz de comparação pareada é construída com os critérios/fatores previamente escolhidos; e, por fim, na aplicação lógica: serão atribuídos pesos aos critérios, através dos julgamentos de um painel de especialistas ou embasados em informações (data-driven) levantadas em bases de dados disponíveis.

Na Figura 2 apresenta-se a estrutura hierarquizada em níveis, em formato de árvore, com as características dos fatores que serão utilizados para avaliar a potencialidade para a expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará.

Figura 2 – Hierarquização e estrutura dos critérios utilizados



Fonte: Autores (2018).

Onde: *1 refere-se às Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso sustentável, nas esferas Federal e Estadual; *2 refere-se a corpos hídricos trabalhados em buffer máximo previsto pelo Código Florestal, visando zoneamento de Áreas de Proteção Permanente.

Como último passo, segundo Ghamgosar et al. (2011), os pesos relativos presentes nos elementos de decisão são agregados de modo a obter uma classificação geral para as alternativas, quando ocorrem o uso do Índice de consistência e a obtenção da classificação geral.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

3.1.1. Características biofísicas

Para análise e classificação de áreas propensas à expansão da fronteira agrícola utilizando-se o método AHP, foi selecionado o estado Pará, detentor da segunda maior extensão territorial do país (1.248.042,515 km²), localizado no centro da região norte, margeado pelo oceano Atlântico a nordeste, com o estado do Maranhão a leste, Mato Grosso ao sul, e o Amazonas a oeste (PARÁ, 2017). Possui coordenadas geográficas GSM de longitude 53W 00' 00" e latitude 4S 00' 00" (SPECIESLINK, 2017). Dos estados que compõe a região Norte, o Estado do Pará é o mais populoso e segundo estimativas do IBGE (2016) apontam para aproximadamente 8.272,724 habitantes distribuídos em 144 municípios, e destes cerca de 2,1 milhões habitantes moram na capital (Belém).

Das tipologias edáficas ocorrentes na Amazônia, citam-se aqui os tipos encontrados no estado, nas suas mesorregiões, na RMB é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (LAm) textura média (BELÉM, 2011); no Marajó, solos hidromórficos de tipo Gley (húmicos e pouco húmicos), Latossolo Amarelo, encontrando-se também os podzóis e as lateritashidromórficas (BARBOSA et al., 2012); no Nordeste do Estado encontram-se os tipos Latossolo Amarelo textura média, Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa, Podzólico Amarelo textura média/argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa cascalhenta (EMBRAPA, 1997); no Baixo Amazonas, os do tipo NeossolosFlúvicos, Gleissolos, Organossolos e Vertissolos, comumente encontrado em áreas de várzea (FAJARDO et al., 2009); no Sudeste, encontram-se os Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, NeossolosQuartzarênicos, NeossolosFlúvicos e Gleissolos (EMBRAPA, 2001).

O Estado detém clima tropical chuvoso, com temperaturas médias mensais superiores a 18°C. A precipitação ocorre de modo diferenciado na porção Sudeste, comumente uma média de 1.200mm a 1.400mm e, podendo ser de até 3.000 mm em municípios que estejam às margens das Baías de Guajará e Marajó (SEMAS, 2013). Ademais, é subdividido em seis (06) mesorregiões: a do Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste, Sudoeste e Sudeste paraense.

No relevo do estado do Pará existe o predomínio de cotas de altitudes modestas, aproximadamente 58% do território encontra-se altitudes inferiores a 250 m; contudo, distribuem-se, ao norte e ao sul do Pará, áreas mais elevadas que se encontram entre 600 a 800 m de altitude (serras de Carajás, Caximbo e Acari). Destacam-se as seguintes paisagens geomorfológicas: planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas (DANTAS e TEIXEIRA, 2013; PARÁ, 2017).

Quanto à hidrografia foram estabelecidas macro-regiões, que seguiram critérios afins para sua elaboração, tais como geomorfologia, geologia, hidrologia, solos, etc., ficando assim estabelecidas são: Costa Atlântica-Nordeste, Tocantins-Araguaia, Xingu, Portel-Marajó, Tapajós, Baixo Amazonas e Calha Norte (PARÁ, 2012). Dentre as quais, os principais rios o Amazonas, rio Tapajós, rio Tocantins, rio Xingu, rio Jari e rio Pará (PARÁ, 2017).

A diversidade florística do estado é percebida através das diferentes formações florestais encontradas, como a Floresta Ombrófila Densa (FOD) que é caracterizada por estar ligada a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas e de elevada pluviosidade distribuída durante o ano; a Floresta Ombrófila Aberta (FOA), encontrada predominantemente nas depressões rasas, geralmente encharcadas na época das grandes chuvas e a Campinarana, cujo tipo de vegetação ocorrendo em áreas de acumulações lixiviadas e planícies com Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2012).

3.1.2. Características administrativas

As unidades federativas (ou estados) concebidos através de subdivisões elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) onde são denominadas de mesorregiões. As quais agregam municípios que detêm similaridades geográficas e socioeconômicas. O Estado do Pará é subdividido em seis (06) mesorregiões: Região Metropolitana de Belém (RMB), Sudeste Paraense, Marajó, Baixo Amazonas, Sudoeste e Nordeste Paraense. A Mesorregião da RMB detém uma área de aproximadamente 6.890,222 km² e é composta por onze (11) municípios: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Castanhal, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará, Barcarena, Santo Antônio do Tauá, Bujaru e Inhangapi (BELÉM, 2017). Já a mesorregião do Sudeste Paraense compreende uma área de aproximadamente 297.367,20 Km² e é composta por trinta e nove (39) municípios: Paragominas, Breu Branco, Novo Repartimento, Jacundá, Tucuruí, Abel Figueiredo, Goianésia do Pará, Ulianópolis, Dom Eliseu, Rondon do Pará, Bannach, São Félix do Xingú, Cumaru do Norte, Tucumã, Ourilândia do Norte, Água Azul do Norte, Pau D'arco, Rio Maria, Xinguara, Redenção, Sapucaia, Conceição do Araguaia, Santana do Araguaia, Floresta do Araguaia, Brejo Grande do Araguaia, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Itupiranga, Marabá, Nova Ipixuna, Palestina do Pará, Parauapebas, Piçarra, São Domingos do Araguaia, São Geraldo do Araguaia, São João do Araguaia, Bom Jesus do Tocantins e Eldorado dos Carajás (TC, 2017).

Na mesorregião do Marajó estende-se a uma área de aproximadamente 104.606,90 Km² e é composta por dezesseis (16) municípios: Afuá, Anajás, Bagre, Breves, Cachoeira do Arari, Chaves, Curralinho, Gurupá, Melgaço, Muaná, Ponta de Pedras, Portel, Salvaterra, São Sebastião da Boa Vista, Soure e Santa Cruz do Arari. (TC, 2017). Com uma área de aproximadamente 317.273,50 Km², a

mesorregião do Baixo Amazonas, é composta por quinze (15) municípios: Alenquer, Mojuí dos Campos, Placas, Porto de Moz, Almeirim, Belterra, Curuá, Faro, Juruti, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha, Santarém e Terra Santa (TC, 2017). Catorze (14) municípios compõem a mesorregião do Sudoeste do Estado, são eles: Altamira, Itaituba, Uruará, Rurópolis, Pacajá, Medicilândia, Novo Progresso, Anapu, Brasil Novo, Trairão, Aveiro, Jacareacanga, Vitória do Xingú, Senador José Porfírio e, abrangem uma área, aproximadamente, de 415 789 km² (ANDRADE, 2014). Por fim, a mesorregião do Nordeste Paraense, que compreende uma área, aproximadamente, de 86.753,49 km², sendo composta por quarenta e nove (49) municípios. São eles Aurora do Pará, Cachoeira do Piriá, Capitão Poço, Concórdia do Pará, Garrafão do Norte, Ipixuna do Pará, Irituia, Mãe do Rio, Nova Esperança do Piriá, Ourém, Santa Luzia do Pará, São Domingos do Capim, São Miguel do Guamá, Tomé-Açú, Abaetetuba, Acará, Augusto Corrêa, Baião, Bragança, Cametá, Capanema, Curuçá, Igarapé-Açu, Igarapé-Miri, Limoeiro do Ajuru, Maracanã, Marapanim, Santarém-Novo, Nova Timboteua, Quatipuru, São Francisco do Pará, Terra Alta, Mocajuba, Moju, Oeiras do Pará, Salinópolis, Santa Maria do Pará, Tailândia, Bonito, Primavera, Tracuateua, Vigia, Viseu, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, Magalhães Barata, Colares, Peixe Boi e São João de Pirabas (IBGE-Cidades, 2017).

Segundo o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal – IFDM, da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, os municípios paraenses mais desenvolvidos nos quesitos “Emprego e renda”, “Educação” e “Saúde” são: Canaã dos Carajás, Parauapebas, Altamira, Belém, Castanhal, Marabá, Paragominas, Santarém, Ananindeua e Tucuruí (FIRJAN, 2015).

3.1.3. Características econômicas

Observando o desenvolvimento econômico do estado entende-se que além da avaliação da gestão pública, o Extrativismo Mineral e Vegetal, Pecuária e Turismo despontam como propulsores da economia paraense (PARÁ, 2017). Dentre os estados brasileiros e o Distrito Federal e segundo o ranking sobre a capacidade competitiva, desenvolvido pelo Centro de Liderança Pública (CLP, 2016), o estado do Pará ocupa a 21^a posição quando analisado alguns parâmetros como Educação, Infraestrutura, Meio Ambiente, etc.

O extrativismo mineral no estado do Pará é bastante forte devido à localização das duas maiores jazidas minerais da Região Norte, a da Serra dos Carajás, no sudeste do estado, e a de Oriximiná, na mesorregião do Baixo Amazonas, e a diversidade de minérios encontrados no estado como um todo (Ferro, Cobre, Níquel, Bauxita, Caulim, Manganês, Silício e Ouro). Em 2015, 84,3% das exportações do Pará correspondiam ao setor mineral, respondendo assim a 20% do Produto Interno Bruto paraense (SIMINERAL, 2017).

No Brasil, mais especificamente no mercado de produtos florestais, o volume de madeira serrada exportada saiu do Patamar de 32.200 m³ em 2016 (Junho) para 33.700 m³ em 2017 (mesmo período de análise); arrecadando para o setor 14,6 milhões e 15,1 milhões de dólares respectivamente, onde as espécies que detinham o m³ mais valorizado, em 2017, Ipê e Jatobá com 928 e 466 dólares respectivamente (ITTO, 2017).

Mesmo com o mercado brasileiro tendo crescido nesse setor, dados da Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará (AIMEX) já evidenciam uma pequena redução, apontam que houve um decréscimo na exportação madeireira no Estado do Pará, analisando os anos de 2015, 2016 e 2017. No subproduto “madeira serrada”, a produção saiu em 2016 de 38.183.970 Kg para 33.9987.978 Kg em 2017, no período de janeiro a junho dos respectivos anos; onde o retorno financeiro saiu de 23.566.919 dólares (2016) para 20.864.298 (2017) aproximadamente (AIMEX, 2017). Contudo, não é explicitada a origem da madeira analisada e nem a possível disparidade com os dados do PRODES para os referidos anos, onde o desmatamento e percentual de acumulação aumentaram, mesmo para o ano de 2017 que foi considerado como estimativa.

Ainda acerca da extração vegetal, para produtos madeireiros (Madeira em tora), segundo dados do IBGE (2015), a quantidade produzida foi de 4.150.193 m³ com o valor da produção estimado em 994.206 Mil reais. À parte a ótica econômica, que foi considerável para o setor, legislações e novas certificações (que exijam saber todos os passos dos produtos florestais) podem vir a refrear ou até causar deflação se não forem bem planejadas e executadas.

Segundo dados recentes, o rebanho bovino nacional contava com 218.225.117 milhões de cabeças em 2016, e deste total o Pará detinha 20.476.787 de cabeças, seguindo um crescente no total de cabeças deste tipo de rebanho por três anos consecutivos. E dentre os 144 municípios São Félix do Xingu e Marabá, no

ano de 2016, foram os que mais se destacaram por deterem os rebanhos mais expressivos, sendo de 2.200.338 e 1.072.999 cabeças respectivamente (SIDRA, 2017). Tais dados coincidem com o aumento da taxa do desmatamento registrada pelo PRODES no mesmo período.

3.2. Levantamento e Processamento de dados espaciais

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas as fontes de dados secundários retirados do IBGE, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); Portal do Governo do Estado do Pará; Ministério do Meio Ambiente; Portal Territórios da Cidadania, Portal Progresso Social, INDE (Infraestrutura de Dados Espaciais - Visualizador da INDE (VINDE)), além de boletins e artigos científicos pertinentes ao assunto abordado. Um adendo, atualmente o INDE tem sua base de dados alimentada por todas as instituições que detém dados espaciais.

Para a análise espacial foi utilizado o software de geoprocessamento ArcGis (versão 10.5.1), cujas extensões e ferramentas disponíveis (buffers, recortes, interpolação, tabelas de atributos, calculadora ráster etc.) foram utilizadas na produção dos mapas temáticos para cada critério selecionado.

Os arquivos *shapefile(.shp)* das bases de dados cartográficos (vetoriais) que correspondem aos dados espaciais de cada critério, foram retirados de ambientes digitais integrados ao INDE, onde foram encontrados dados em dois tipos distintos de Sistemas de Referências de Coordenadas (SRC), em WGS-84 e SIRGAS 2000.

Para manipulação dos dados em ambiente GIS, todos os dados foram colocados em formato *ráster* com projeções redefinidas para SIRGAS 2000 UTM Zone 22S, com tamanho de pixel 100 m. Todos os produtos gerados, ou seja, espacialização dos critérios, mapas reclassificados, representação das áreas excluídas, e mapa final tiveram como referência a mesma projeção e mesmo tamanho de pixel (100m), o que em termos espaciais significa que cada pixel corresponde a 1 ha de área. As operações de geoprocessamento no ArcGis foram realizadas com apoio da extensão SpatialAnalyst.

Com relação a simbologia dos mapas, todas as representações de cores seguiram padrões RGB já consolidados e em muitos casos já adotados como referência na própria base de dados, tais como as cores dos mapas de Solo e de Relevo que podem ser encontrados em mapas de fontes oficiais brasileiras, como o

IBGE. As cores representativas da escala de potencial foram padronizadas para todos os mapas que apresentam essa propriedade, especialmente os reclassificados após a atribuição dos pesos relativos a cada critérios e subcritério analisados na matriz de comparação.

3.3. Modelagem dos dados

Neste trabalho, o uso do método AHP aplicado ao ambiente SIG buscou a hierarquização dos critérios, onde os julgamentos qualitativos efetuados através das comparações pareadas foram representados em forma de pesos dos critérios e subcritérios obtidos através da resolução da matriz de decisão.

No quadro 1 encontram-se os critérios selecionados para análise de aptidão à expansão, o ano de publicação dos dados vetoriais e suas respectivas fontes.

Quadro 1 – Classes selecionadas, ano de publicação dos dados e fontes.

| Critério | Ano | Fonte |
|--------------------------|------------|--|
| Tipos de Solos | 2012 | IBGE-Diretoria de Geociências (IBGE/DCG) |
| Uso e Cobertura da Terra | 2016 | Diretoria de Geociências (IBGE-DGC) |
| Precipitação anual média | 2016 | Agência Nacional de Águas - ANA |
| Rodovias | 2016/2013 | Diretoria de Geociências (DGC)/Coordenação de Cartografia (CCAR) |
| Declividade | 2010 | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM |
| Áreas Urbanas | 2008 | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE |

Fonte: Autores (2018).

Para o julgamento, utilizou-se os mapas temáticos para cada critério considerado neste estudo como fator influenciador na expansão da fronteira agrícola no estado do Pará. A partir destes mapas, foram determinados os subcritérios (classes) que foram transportados para a matriz de decisão, a fim de que realizar o julgamento através de comparação pareada utilizando-se a escala relativa de Saaty. Desta forma, foram determinados a importância e prioridade de cada critério com base em revisão bibliográfica e na avaliação dos pesquisadores envolvidos neste estudo. Ao fim, com a matriz preenchida, obteve-se a contribuição (peso) de cada critério (biofísicos e de infraestrutura) na espacialização do potencial de expansão da fronteira agrícola.

Em seguida, os pesos foram aplicados nos mapas temáticos já em formato *ráster*, e processados através de álgebra de mapas (*rástercalculator*, do ArcGis) produzindo um mapa reclassificado para cada critério espacial com as respectivas reclassificações (baixo (1), moderado (2), alto (3) e muito alto (4)) (OUMA e TATEISHI, 2014; GHAMGOSAR et al, 2011; KARNATAK et al., 2007).

Os mapas reclassificados foram reunidos em um só para determinação do potencial considerando todos os critérios, onde a somatória dos potenciais permitiu o ranqueamento das áreas mais favoráveis para expansão das atividades agrícolas no estado do Pará, considerando as mesmas faixas de valores utilizados nos mapas temáticos, para representar o potencial, ou seja: baixo (1), moderado (2), alto (3) e muito alto (4). Após a produção deste mapa de potencialidade para todo o estado, procedeu-se a retirada das áreas consideradas restritas para atividades agrícolas, que neste estudo foram: unidades de conservação de proteção integral (federal e estadual), terras indígenas e hidrografia. Com isso, obteve-se o mapa final para representar o potencial de expansão da fronteira agrícola no estado do Pará.

4. ETAPAS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

4.1. Critérios selecionados

4.1.1. Tipos de Solos

Dentre fatores que possam limitar ou restringir o avanço da fronteira agrícola, além da paisagem natural e do clima, Rodriguez et al.(2010), citam o “Impedimento à mecanização” como estando diretamente ligado ao relevo do solo e às características físicas e químicas dos mesmos. No entanto, visando entender a relação entre as tipologias edáficas ocorrentes no estado e suas respectivas características com a aptidão para expansão, precisa-se observar quais são estas características e como influenciam.

Solos do tipo “Argissolo” também são bastante bem distribuídos nacionalmente, detém teor de argila na camada mais inferior elevado (propício à retenção hídrica), possuindo geralmente pouca profundidade, bastante ácidos – mas, culturas como abacaxi, caju, chá e borracha, toleram este tipo de solo, mais comuns em relevo como topografia ondulante (FAO, 2015). Os do tipo “Cambissolo”, encontrados comumente em regiões de serras ou montanhas, vão de rasos a

profundos, sua drenagem (acentuada a imperfeita), coloração diversa, texturalmente podem ser pedregosos, cascalhentos e, também, serem classificados como rochosos. Dependendo da condição do relevo onde esteja esse tipo de solo, preferencialmente no tipo “Suave” e com reduzida pedregosidade, se favorece a mecanização (IBGE, 2007).

Os “Espodossolos” são classificados como mineralogicamente empobrecidos, imperfeitamente drenados, profundidade variando de “pouco profundo” a “profundo” - na Amazônia, podendo ser superior a 3 metros- excessivamente arenoso; o horizonte que o compõe compreendem cores em escalas de cinza, branca, amarelado a avermelhado – sendo encontrados ao longo da costa brasileira, consideravelmente na região Amazônica (Amazonas, Roraima e, também no Pará) – quando de alguma atividade neste tipo de solo, há o pastoreio extensivo com rebanho bovino (IBGE, 2007; VALENTE et al., 2011).

Outra tipologia edáfica bem distribuída no território, os “Gleissolos” (Háplico, Sáfico e Tiomórfico), são solos minerais hidromórficos próprios de regiões alagadas ou sujeitas (vegetação de floresta de várzea); encontrados comumente em relevo plano, material constituinte pouco consolidado e recente, de profundidade média e textura argilo-siltosa, coloração permeando cinzas, azuladas ou esverdeadas – fertilidade variando entre alta ou baixa e, devido à má drenagem, seu maior fator limitante para usos agrícolas (FAO, 2015; VALENTE et al., 2011; IBGE, 2007).

Os “Latosolos” são encontrados em quase toda a extensão do território, sendo diferenciados basicamente por sua cor e o quanto ao seu teor de ferro (Brunos, Amarelos, Vermelho, Vermelho-Amarelo). Contudo, apesar de serem amplamente utilizados para a agricultura, possuem boa drenagem, detêm, comumente, baixa fertilidade natural e necessitam de correções químicas para serem aptos para a mecanização da agricultura (de grãos) e pastagens plantadas (IBGE, 2007). Rodrigues et al., (2010), definem este tipo de solo como detentores de qualidades muito propícias para cultivares de ciclos curtos e longos, aptos ao uso de mecanização e adequada capacidade de retenção de água. Assim, entende-se que os Latossolos são terras favoráveis, em sua grande maioria, ao uso agrícola. Os “Neossolos” (Flúvio, Litólico e Quartzarênico) originam-se da deposição de aluviais (lacustres e marinhos também) sendo sazonalmente inundados (margeiam corpos hídricos); minerais hidromórficos ou não, textura considerada arenosa; relevo plano

e comumente associado aos “Espodosolos” e aos “Gleissolos”; vegetação de floresta hidrófila de várzea (FAO, 2015; VALENTE et al., 2011). Sendo este tipo de solo, mais especificamente o “NeossoloLítico”, bastante encontrado no Estado, como pode ser observado na figura 2(a).

O “Nitossolo Vermelho” (Terras Roxas Estruturadas e Terras Roxas Estruturadas Similares) é uma tipologia edáfica cuja textura argilosa ou muito argilosa; acidez (moderada); se forem encontrados em relevos de suave a ondulado são considerados favoráveis à mecanização e para destinação agrícola em cultivares de ciclos longos e curtos – capacidade para reservar água elevada e drenagem considerada boa (FAO, 2015; RODRIGUES et al., 2010). Por fim, dentre os tipos de solo, os “Plintossolos” (Argilúvico, Háplico e Pétrico) são os que são constituídos significativamente por um elemento rico em Ferro (Plintita) e pobre em matéria orgânica; detém latente potencial para destinação agrícola; são mais bem drenados, contudo deve-se tomar cuidado com a drenagem, para que não endureça de modo irreversível quando alterada a dinâmica hídrica do mesmo. Os platôs Amazônicos e grandes extensões nos planaltos localizados na Região Centro-Oeste detém este tipo de solos (FAO, 2015; DANTAS e TEIXEIRA, 2013).

Como exemplo da importância dos tipos de solos, os que ocorrem no Oeste do Estado do Pará (Latosolos e os Argissolos) cuja tendência à fertilidade natural, mesmo sendo classificada como baixa, de suas características serem boas – para que sejam considerados APTOS e extremamente favoráveis à destinação agrícola – necessitam de melhoramento, manejo e conservação para que deem suporte às lavouras, evitando deslocamento para outras áreas e avanço sobre áreas de floresta nativa (SZLAFSZTEIN et al., 2010).

4.1.2. Uso e Cobertura da Terra

Sauer e Pietrafesa (2013) discutem em seu trabalho, que aborda as agroestratégias para as novas fronteiras agrícolas no Estado do Pará, corroborado por estudos de Benatti (2003) e Paixão Jr. (2012, p. 65), que ainda não tem como afirmar a relação direta entre o crescente na lavoura de soja e o desmatamento, pois muitos plantios iniciam-se em áreas previamente degradadas ou preparadas anteriormente para a pastagem/agricultura por demandarem investimentos financeiros em menor escala e de facilidade de acesso do maquinário – do que se o plantio fosse iniciado em áreas com floresta nativa. Assim, quando do esgotamento

das terras já alteradas, não seria impeditivo ou imutável que se avançasse sobre as florestas e se fizesse a supressão da vegetação. Segue ainda relacionando impactos perniciosos decorrentes de extensas áreas destinadas a monoculturas, encontram-se comumente, níveis de contaminação de corpos hídricos (rios, lagos, igarapés), nascentes em decorrência do uso de agrotóxicos (SAUER e PIETRAFESA, 2013). Assim, observa-se que o ritmo seguido pelo desflorestamento na Amazônia não é de um todo coeso, existindo variação cronológica, no acumulado (relacionado a área), nos atores envolvidos e na demanda (externa e interna) pelos recursos (PIMENTA et al., 2016). Entre as décadas de 2000 e 2010, aproximadamente 16 milhões de hectares de floresta foram perdidos na Amazônia, sendo os estados de Mato Grosso, Rondônia e Pará, os que lideram essa significativa conversão de florestas nativas para outros usos – adendo, a maior parcela de emissões de gases de efeito estufa está relacionada ao Brasil (79%); seguido da Bolívia, Peru e Colômbia (SONG et al., 2015). O que serve para reiterar a necessidade de redução mais acentuada das taxas de desmatamento, pois há severo comprometimento dos serviços ecossistêmicos prestados pela floresta em pé, como provisão hídrica para a agricultura, regulação climática, controle biológico, entre outros (COSTANZA et al., 1997); logo, permeando em prejuízo às atividades humanas (OMETTO et al., 2014).

Segundo Rodrigues et al. (2009), as causas prementes ao desmatamento devem-se a mecanização da agricultura e a mudança no uso e na cobertura da terra por novos migrantes (além dos que já habitam em áreas adjacentes) os quais são seduzido pelo elevado retorno aos seus investimentos e no seu bem-estar. Laurance et al., (2001) detém forte argumento quando da conversão da floresta nativa para outra destinação, pois a remoção de um hectare de floresta nativa, confere uma liberação elevada de aproximadamente 200 toneladas métricas de Dióxido de carbono (CO₂).

Entende-se que a classe “Uso e cobertura da terra” é dominada ainda pela categoria “Pastagem”, com seu numeroso rebanho, degradação de áreas próximas às nascentes e suas respectivas matas ciliares, o avanço de monoculturas (soja, milho, arroz, etc.) favorecem o processo erosivo que, por conseguinte, pode levar à perda de fertilidade, acidificação ou endurecimento do solo e, também ao assoreamento de cursos d’águas que servem para abastecimento humano e

dessedentação de animais, uso e acesso previstos em lei (UMETSU et al., 2012). Pois, como enfatizam Celentano et al. (2012) o desmatamento é amplamente perpetrado por investidores que almejam lucros máximos que continuem a alimentar o avanço dos mercados nacional e internacional dos grãos (soja, por exemplo), do madeireiro e do bovino – soja (preço) e bovino (teve um acréscimo no seu crescimento em até cinco vezes), em média, são os que mais demandam grandes extensões de terra (NEPSTAD et al., 2017).

Dados do desmatamento no Estado do Pará, segundo mapeamento do Projeto TerraClass (EMBRAPA/INPE, 2014), indica que só no acumulado de 2014 foram 4.452,89 km² de florestas suprimidas; e que, observando a Figura 2(b), podem ter sido destinadas à áreas de pastagens plantadas, mosaicos de vegetações com áreas agrícolas e alguns pontos de área totalmente descoberta e, evidenciando também, as áreas agrícolas propriamente ditas. Bem como podem avançar sobre áreas próximas a nascentes e comprometer o abastecimento de água (NASCIMENTO e FERNANDES, 2017).

4.1.3. Precipitação Anual Média

Compreensões acerca do clima e das necessidades dos cultivares pretendidos é importantíssimo para assegurar o sucesso do mesmo, pois existem plantas que aceitam menos e outras que aceitam mais diferentes níveis de radiação/insolação, os totais pluviométricos anuais com períodos de estiagem ou excedente, humidade e outros são fatores que podem impulsionar ou levar ao fracasso do cultivar, da pastagem, etc (BASTOS, 1982; DUARTE, 2004). Notadamente, estudos abordam que o clima desempenha importante papel na atividade agrícola, mas é necessário saber até que ponto influencia na questão da produtividade. Dentre os componentes climáticos que podem ser avaliados, escolheu-se a “Precipitação Média Anual” que, segundo definição de Almeida (2000), é o elemento ou fator climático que mais afeta a agricultura por ser irregular, eventual ou sazonal e diferentemente distribuída espacialmente, fomentando riscos à produtividade agrícola. Ainda sobre sua irregularidade, Ferreira (2010), discorre que as variações causadas pelas mudanças também podem ser consideradas fatores de risco e bastantes limitantes, devido à possibilidade de redução extremada da precipitação durante período de floração e desenvolvimento dos cultivares,

onerando o preço e disponibilidade alimentar dos mesmos e a sobrevivência dos que dependem da produção.

4.1.4. Rodovias

No estudo de Barber et al., (2014) é enfatizado o efeito que aberturas de estradas têm em relação ao desmatamento na Amazônia quando é salientado o elevado percentual de desmatamento, 95% do total mapeado, ocorrido de um raio de aproximadamente 5,5 km das estradas. A conversão de grandes extensões de floresta nativa em plantio de pastagem e a proximidade às rodovias, nas últimas duas décadas, evidencia a modificação da paisagem, pois é um avanço que proporciona infraestrutura para escoamento produtivo, além do pecuário, de grãos e mobilidade populacional, corroboram a influência que vem quando da construção das mesmas, para o desenvolvimento regional (PEREIRA et al., 2010). Observam-se municípios do Estado, mais especificamente na zona oeste, que alguns estão beneficiando e se desenvolvendo nas proximidades de rodovias, como Belterra, Santarém e Uruará (RODRIGUES et al., 2010). Laurance et al., (2001) afirmam que os padrões de perda florestal à nível espacial vem mudando e reforçam que a construção de novas rodovias, projetos que visem a exploração madeireira e os projetos de colonização governamentais e os ocupação irregular avançam sistematicamente sobre áreas que não eram alteradas.

4.1.5. Declividade

Sendo um elemento que subordina sobremaneira o solo ao uso ou não da mecanização, a declividade é considerada um critério bastante importante, por deter capacidade para afetar a velocidade de deslocamento e a estabilidade do maquinário utilizado; na forma como a radiação incide sobre as encostas; no desenvolvimento do sistema de escoamento superficial e drenagem hídrica-edáfica (que pode indicar resistência ao peso do maquinário), além de influenciar no risco de compactação do solo (HÖFIG e ARAÚJO-JR., 2015). Assim, por ocorrência de relevos mais suaves e/ou suaves ondulados, características que favorecem normalmente à mecanização, pode vir a ocorrer e, até a intensificar, processos de compactação e erosão (hídrica) por emprego de maquinário em caráter intensivo. De tal modo, colaborando com a redução da “vida útil” do solo utilizado, além de outros fatores (uso de agrotóxicos, monoculturas, corte e queima etc.) que pode vir a resultar numa redução de produtividade ou esgotamento total da área de plantio.

Bem como reforçado pelo estudo de Hadlich (2006) que discute que dentre os aspectos físicos e característicos, a declividade se destaca neste tipo de análise, pois terrenos elevados influenciam no escoamento superficial, na erodibilidade e nos processos de percolação hídricos no solo, não contribuindo para o plantio.

A análise para a declividade e suas características (Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado), estas que estão fortemente relacionadas a menor ou maior erodibilidade ou inaptidão em sua aptidão agrícola na Amazônia partiu dos dados vetoriais exportados do INDE/IBGE(2017) no formato shapefile. Para a análise de declividade pode-se destacar com o auxílio de modelos digitais de elevação (MDEs), os quais possibilitam a mensuração da superfície de uma determinada área, indicando sua elevação e vindo a enquadrar na representação de qualquer superfície (topograficamente) (CARVALHO, 2009).

Souza e Pacheco (2013), Fiori (2012) e Hassan e Freitas (2012), não são os primeiros autores que são assertivos quanto à contribuição da construção das estradas, rodovias e das vicinais que dela derivam para o incentivo para a ocupação e o desenvolvimento de núcleos populacionais às suas margens, resultou na conversão de milhares de hectares de floresta primária em pastagens ou lotes destinados à produção dos pequenos produtores. Este critério necessita de atenção, bem como os outros selecionados, no entendimento do quão limitante pode ser para um determinado cultivar e não para outro e, em dependendo de onde o cultivo for realizado ser bastante favorável. Assim, como exemplificado pela EMATER-MG (2016) para o cultivo do milho, os solos que detiverem a declividade de até 12% serão os mais indicados, por viabilizarem melhor acesso de equipamentos e máquinas de grande porte; já, à medida que vai aumentado o percentual de declividade, é maior a probabilidade de erosão e mais investimentos e práticas de manutenção, onerando ou inviabilizando a produção. Cita-se o milho, por este, ser uma cultura em franca expansão no estado do Pará e por aproveitar-se o relevo encontrado.

4.1.6. Áreas Urbanas

Planos de desenvolvimento econômico, grandes projetos, construções de rodovias e áreas destinadas a projetos de assentamentos fizeram com que a população distribuída no estado passasse de 1,1 milhões de pessoas para 7,6 milhões, entre as décadas de 1950 a 2010 (ADAMI et al., 2015). Assim, o fluxo

migratório detém mais impacto que o crescimento vegetativo da população no âmbito do desmatamento, pois não envolve somente a migração em si, mas também agrega estreita relação com os investimentos que incentivam fortemente esse processo (FEARNSIDE, 2008). O acesso a novas áreas de florestas, por meio de rodovias como a BR-163, a Transamazônica e a Cuiabá-Porto Velho (VENTURIERI et al., 2010), projetos de assentamentos populacionais do governo, levaram a inicialização de construção de pequenas vilas (geralmente ao longo das mesmas) que progrediam, ao longo do tempo, para centros urbanos. Os quais, à medida que sua população cresce, demandam cada vez mais serviços (educação, segurança, entre outros) e recursos – naturais e alimentares (arroz, milho, soja, etc.) – e essas questões precisam ser atendidas (BARBOSA et al., 2013). De tal modo, o impacto das áreas urbanas é expressivo devido ao seu quantitativo populacional ser cada vez maior, uma vez que, segundo dados disponibilizados pelo IBGE, a população urbana está contando com aproximadamente 85,43% contra apenas 14,53% da rural (IBGE, 2017).

4.2. Matriz de decisão hierárquica

Para colaborar com a construção da matriz de decisão hierárquica do presente trabalho elencou-se os critérios e seus respectivos subcritérios observados no Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios e Subcritérios

| Critérios | Subcritérios |
|--|---------------------------------|
| Tipos de Solos | Afloramento de Rochas |
| | Argissolo |
| | Cambissolo |
| | Espodossolo |
| | Gleissolo |
| | Latossolo |
| | Neossolo |
| | Nitossolo |
| | Plintossolo |
| | Uso e Cobertura da Terra |
| Mosaico de vegetação campestre com Áreas Agrícolas | |
| Mosaico de vegetação florestal com Áreas Agrícolas | |
| Pastagem natural | |

| | |
|---------------------------------|---------------------------|
| | Pastagem plantada |
| | Silvicultura |
| | Vegetação Campestre |
| | Vegetação Florestal |
| Precipitação Anual Média | 0 - 700 mm |
| | 700 - 1400 mm |
| | 1500 - 1900 mm |
| | 2000 - 2500 mm |
| | 2600 - 3100 mm |
| Rodovias | < 2 km |
| | 2 - 5 km |
| | 5 - 10 km |
| | > 20 km |
| Declividade | Plano (0 a 3%) |
| | Suave Ondulado (3 a 8%) |
| | Ondulado (8 a 20%) |
| | Forte Ondulado (20 a 45%) |
| | Montanhoso (45 a 75%) |
| | Escarpado (> 75%) |
| Áreas Urbanas | < 3 km |
| | 3 - 10 km |
| | 10 - 20 km |
| | > 20 km |

Fonte: Autores (2017).

4.3 Mapas temáticos dos critérios selecionados

Figura 3 – Mapas temáticos dos critérios (a) Solos, (b) Uso e cobertura da terra, (c) Precipitação anual média, (d) Declividade.

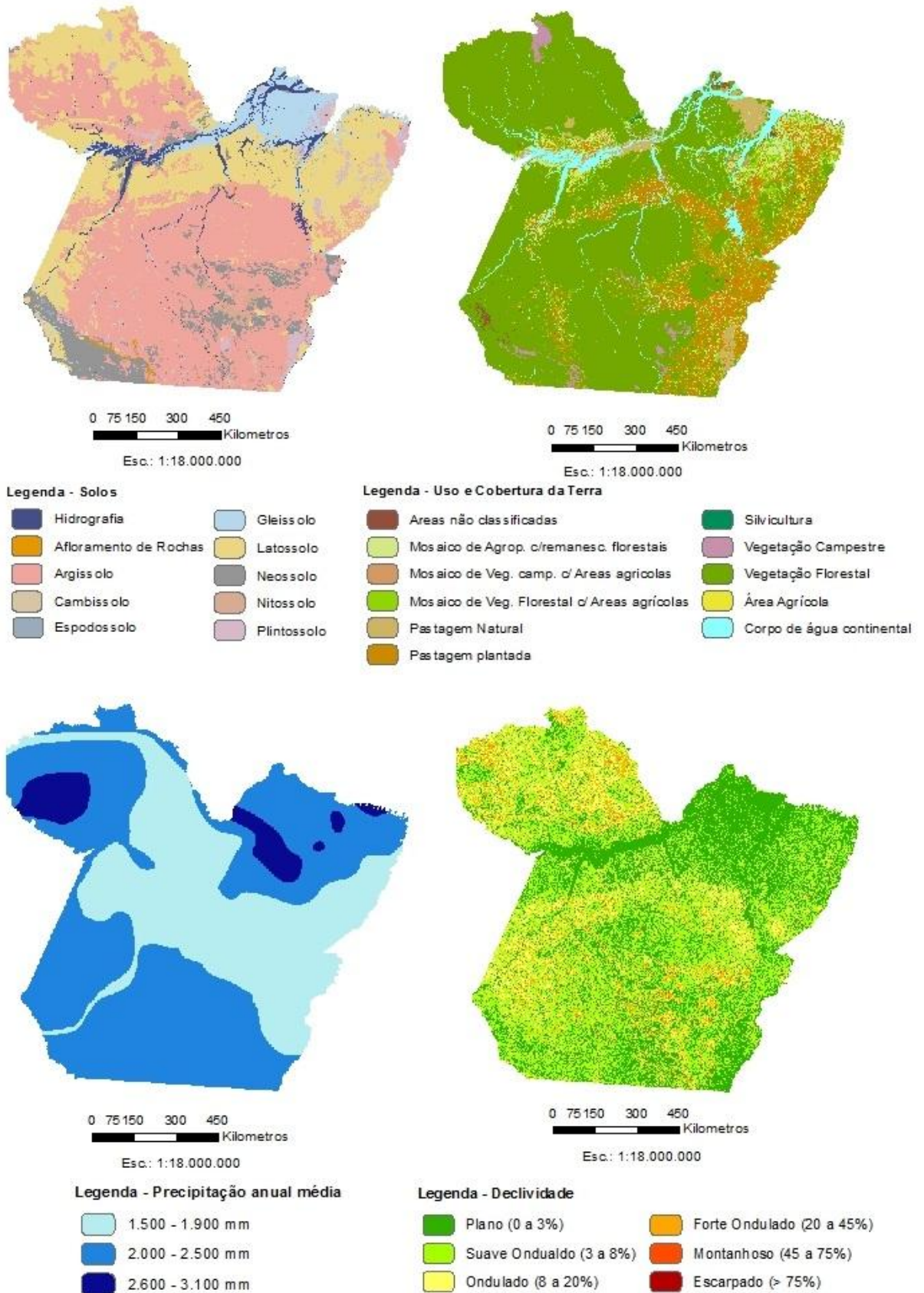
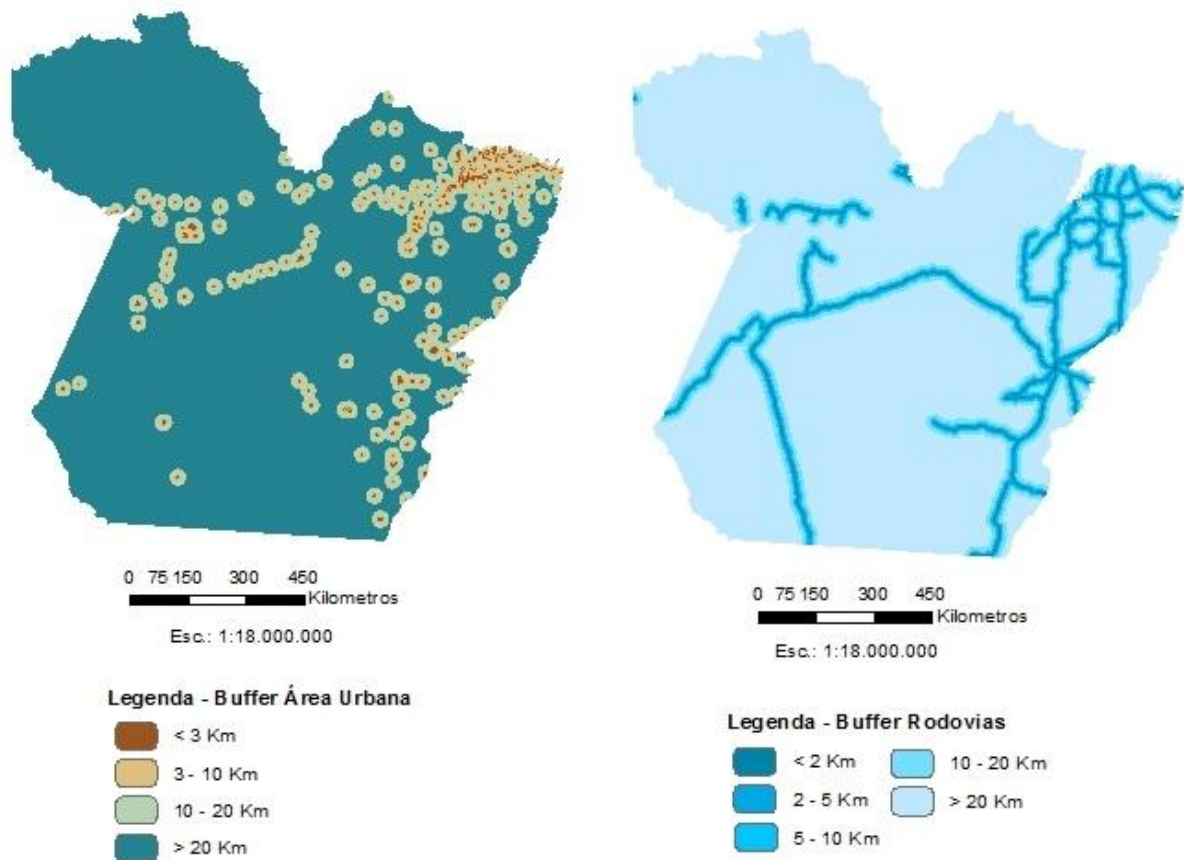


Figura 4 – Mapas temáticos dos critérios (e) Buffer área Urbana, (f) Buffer Rodovias



4.4. Hierarquização dos critérios

Após a hierarquização do objetivo, juntamente com os critérios e subcritérios selecionados, foi construída a matriz de comparação ou matriz de julgamento, onde realizou-se a comparação paritária dos fatores quando todos os componentes hierarquizados foram comparados entre si, par a par. A relação de importância entre cada um dos critérios ou alternativas em relação aos outros estão expressos numericamente com base na escala relativa concebida por Saaty (1987).

Aplicando-se o método AHP, indagou-se qual seria a importância do item da linha (a partir da primeira da matriz) em relação ao item em cada uma das colunas, atribuindo notas a cada um destes pares. Dada a natureza recíproca da matriz de julgamentos, a diagonal principal da matriz contém o valor “1” por corresponder à comparação do elemento com ele mesmo.

O propósito das comparações pareadas foi determinar matematicamente o grau de preferência de um subcritério sobre o outro dentro dos critérios,

| | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|---|---|------|
| (3) 5 - 10 km | 1/4 | 1/3 | 1 | | | | 0.23 |
| (4) 10 – 20 km | 1/6 | 1/5 | 1/3 | 1 | | | 0.03 |
| (5) >20 km | 1/6 | 1/5 | 1/3 | 1 | | | 0.02 |
| Declividade | | | | | | | |
| (1) Plano (0 a 3%) | 1 | | | | | | 0.33 |
| (2) Suave Ondulado (3 a 8%) | 1/2 | 1 | | | | | 0.29 |
| (3) Ondulado (8 a 20%) | 1/3 | 1/3 | 1 | | | | 0.19 |
| (4) Forte Ondulado (20 a 45%) | 1/4 | 1/4 | 1/2 | 1 | | | 0.12 |
| (5) Montanhoso (45 a 75%) | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1 | | 0.04 |
| (6) Escarpado (> 75%) | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1 | 1 | 0.03 |
| Distância das Áreas Urbanas (Buffer) | | | | | | | |
| (1) < 3 km | 1 | | | | | | 0.07 |
| (2) 3 - 10 km | 5 | 1 | | | | | 0.24 |
| (3) 10 - 20 km | 7 | 4 | 1 | | | | 0.30 |
| (4) > 20 km | 8 | 8 | 6 | 1 | | | 0.39 |

Fonte: Autores (2018)

Os pesos foram obtidos através da resolução da matriz de julgamentos com o cálculo das médias geométricas ponderadas e normalizadas. Esta forma de resolução das matrizes construídas a partir da aplicação do método AHP tem sido bastante utilizada na literatura destacando-se os trabalhos de Pamplona (1999), Wang et al., (2008) e Sousa (2017).

5. RESULTADOS

5.1 Critérios espacializados a partir da reclassificação

Os pesos dos critérios e subcritérios foram utilizados para reclassificar os mapas temáticos de acordo com o potencial para favorecer a expansão da fronteira agrícola no estado do Pará: *baixo (1)*, *moderado (2)*, *alto (3)* e *muito alto (4)*. Após essa etapa, todos os mapas temáticos reclassificados foram consolidados em apenas um mapa final do estado do Pará, excluindo as áreas protegidas, com o mapeamento espacial das áreas favoráveis à expansão considerando os critérios espaciais utilizados neste trabalho.

Figura 5 – Mapas temáticos reclassificados

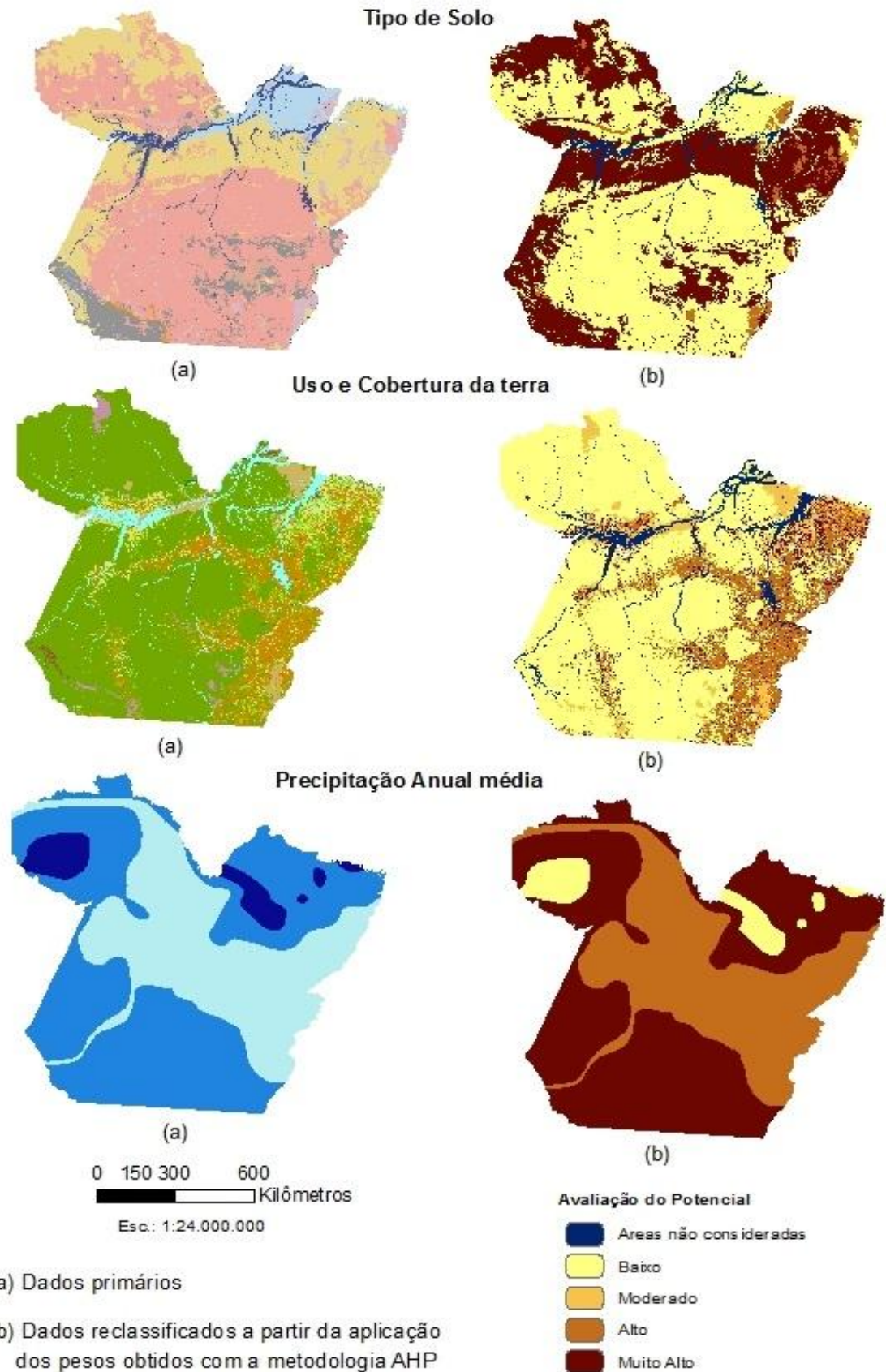
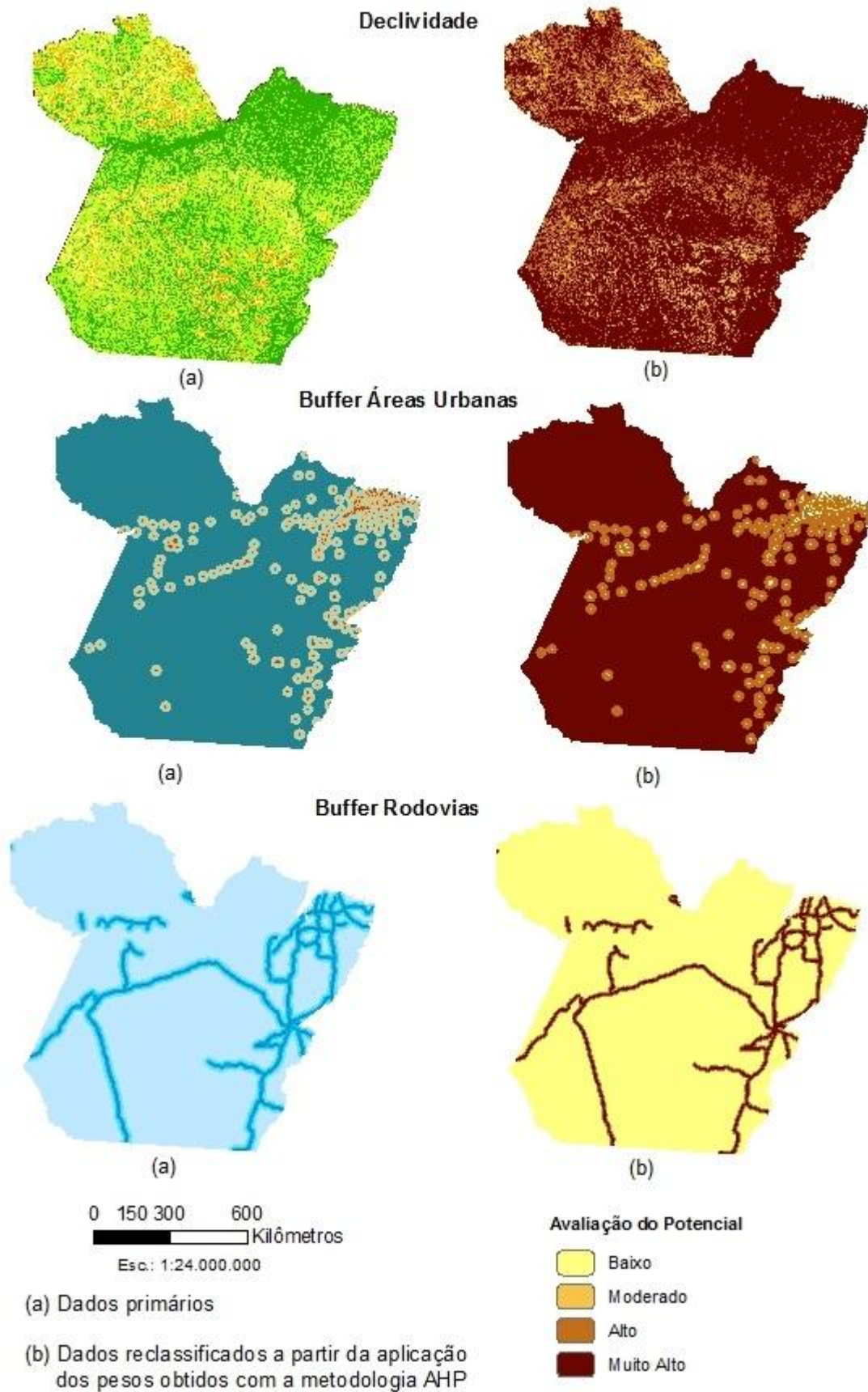


Figura 5 – Mapas temáticos reclassificados (Cont.)



5.2 Mapa final do potencial para expansão da fronteira agrícola

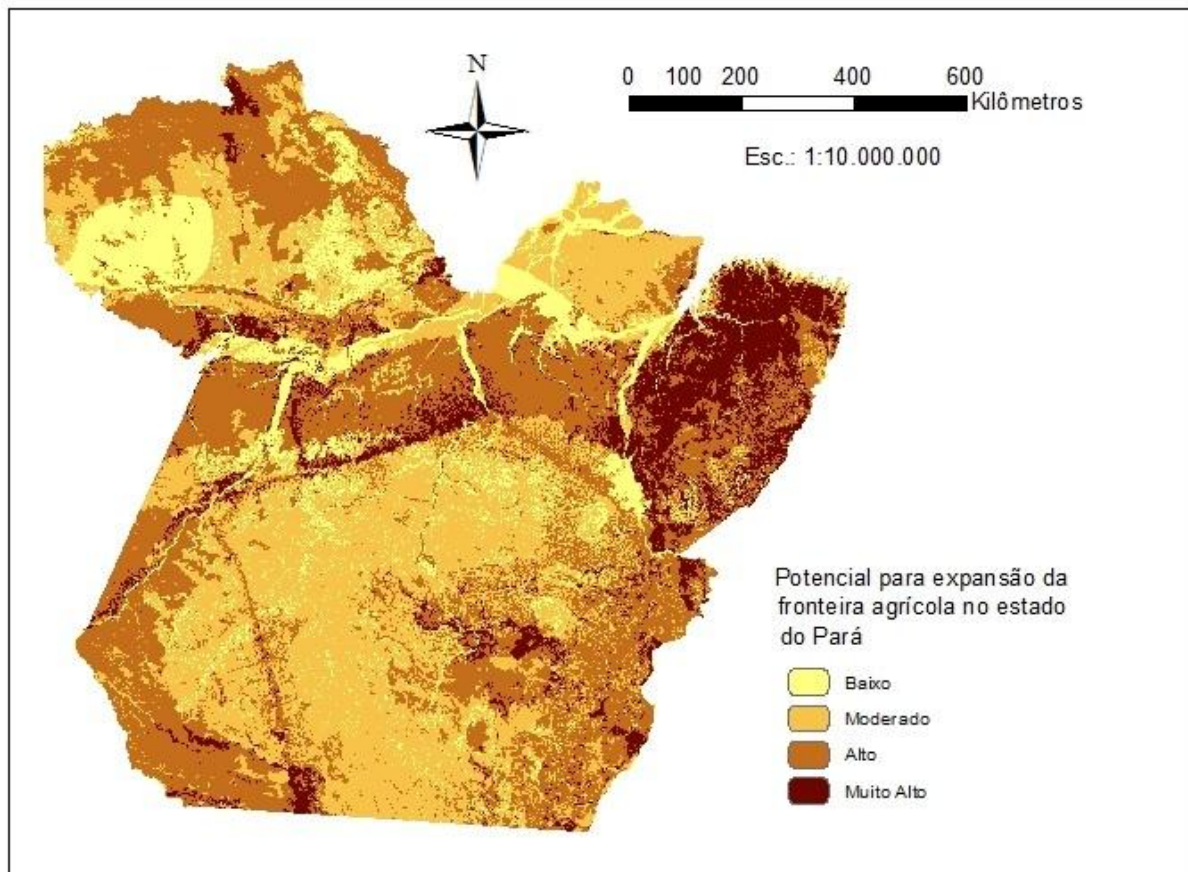
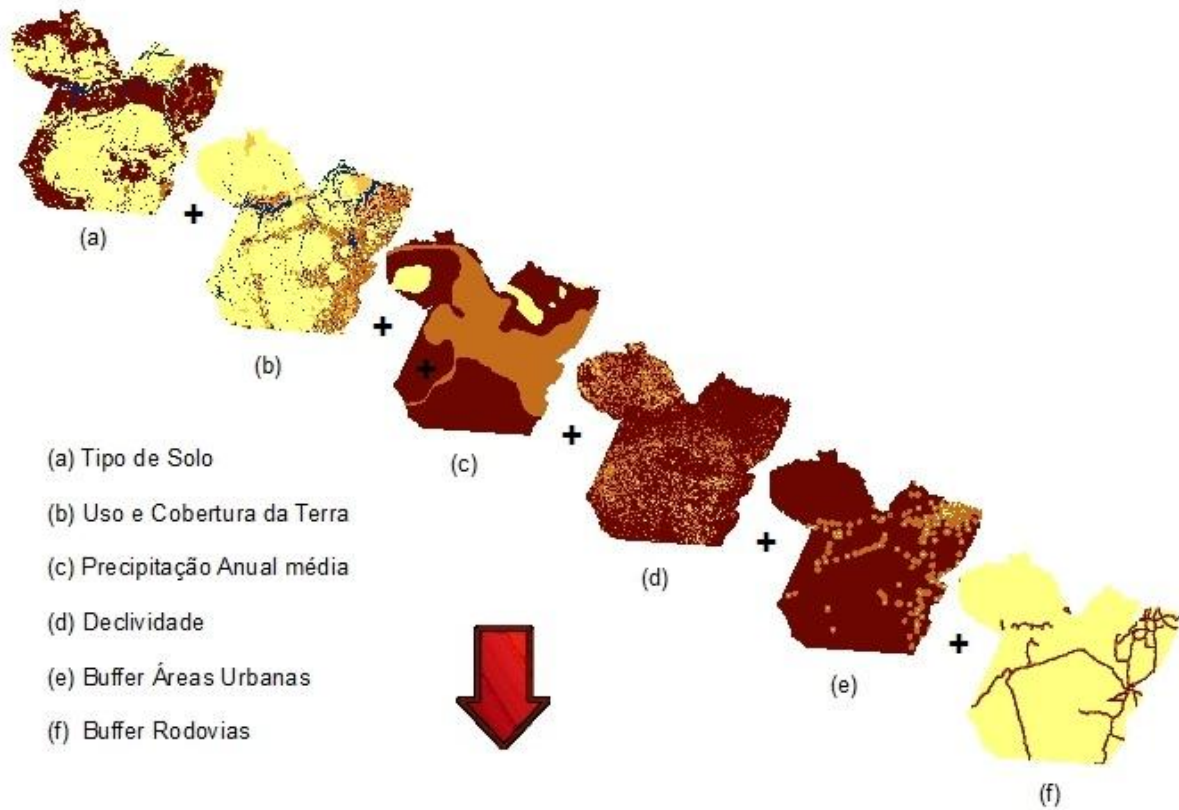
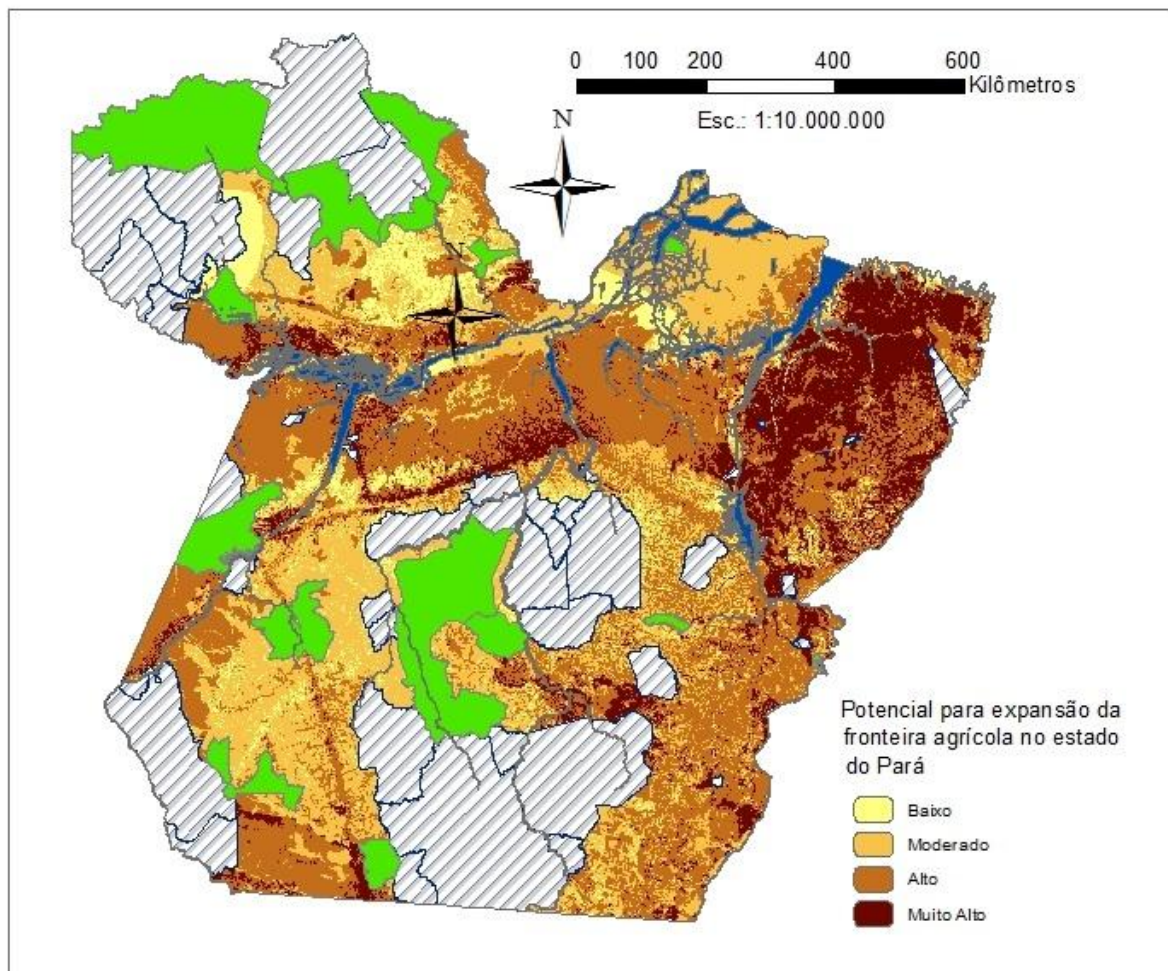
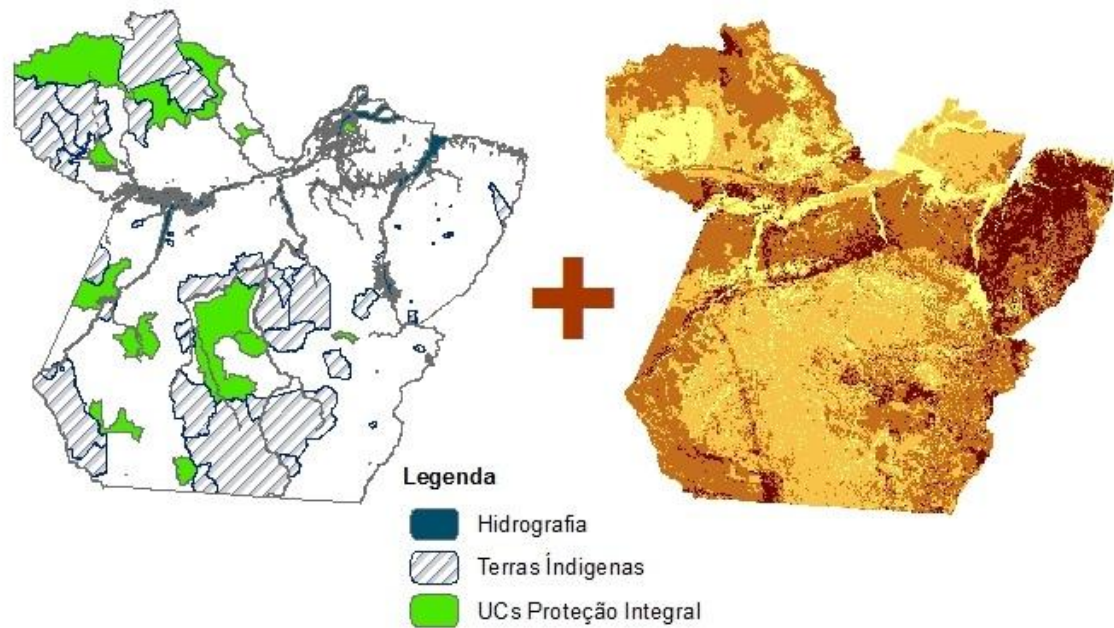


Figura 6 – Espacialização das áreas com potencial para expansão da fronteira agrícola no estado do Pará, excetuando-se as áreas com restrições.



>> Tipos de solo (a)

No mapa de reclassificação do critério “Tipos de solo” (b), a ocorrência dos subcritérios “Latosolo” – bem distribuído e bastante utilizado para fins agrícolas; “Neossolo” – não tão bem distribuído, porém quando encontrado em relevo *suave ondulado* (3 a 8%) poderá ser utilizado para a agricultura (ambos encontrados em todas as mesorregiões); e, o “Nitossolo” – pouco especializado no território, foram enquadrados e reclassificados com potencial “Muito alto”. Apesar de deter algumas características físico-químicas distintas, a realização de investimentos, pesquisa e manutenção destes tipos edáficos, poderá tornar o processo produtivo não tão oneroso ao produtor – e continuar a movimentar os mercados internacional e nacional de commodities agrícolas.

Como intermediário na questão da potencialidade, o “Plintossolo”, tem porções representativas em todas as mesorregiões; com perfil de ricos em ferro e um pouco carentes de matéria orgânica, foram reclassificados com potencial “Alto” (coloração laranja) – pela proximidade com as áreas de potencial *muito alto* – e por suas correções, manejo e se bem conservados/utilizados, podem vir a contribuir para o uso adequado e sustentável dos mesmos.

Já os subcritérios “Argissolo” – bastante bem distribuído nas mesorregiões, exceto a do Marajó; mesmo retendo bastante água em suas camadas inferiores, detém um caráter mais ácido – foi reclassificado no mapa (b) com “Baixo” potencial de favorabilidade à expansão. “Afloramentos de rocha” (rocha bruta) e “Gleissolo” (encontrado na maior parte da mesorregião do Marajó), sua fertilidade é muito variada e a má drenagem; foram reclassificados também com “Baixo” potencial. Ainda de acordo com suas condições físico-químicas e possíveis correções, investimentos e manutenção, os subcritérios “Cambissolo” e “Espodossolo”, encontrados no Sudeste e Sudoeste respectivamente, foram enquadrados na reclassificação com potencial “Baixo”, tais tipologias edáficas que necessitam de mais intervenções que outros, podem vir a onerar o processo produtivo.

>>Uso e cobertura da terra (b)

Dentro do critério *Uso e cobertura da terra*, o mapa de potencialidades (b) evidencia que áreas com os subcritérios “Mosaico de vegetação florestal com áreas agrícolas – MVF-Áreas Agrícolas”, “Mosaico de agropecuária com remanescentes florestais – MA-RFlorestais” e alguns pontos com “Áreas agrícolas”, obtiveram o potencial para “Muito alto”(de coloração vermelho escuro) no mapa. Nas

mesorregiões do Nordeste e Sudeste paraense, além de pontos na do Baixo Amazonas (à oeste do estado) e no que corresponde ao traçado das rodovias BR-230 (Transamazônica), BR-165 (Cuiabá-Santarém) e da BR-158 (no Sudoeste e Sudeste), encontram-se áreas com esta potencialidade. Por decorrer assim, uma maior facilidade de mudança no uso da terra para finalidades agrícolas, por já serem previamente alteradas.

Já em áreas identificadas como “Pastagem plantada”, alguns pontos de “MVF-Áreas agrícolas” e “MA-RFlorestais” o potencial foi delineado como “Moderado” (de coloração laranja no mapa), mais concentrados. Este potencial é bastante visualizado no Nordeste e Sudeste paraense, bem como no acompanhamento do traçado das rodovias federais BR-230 e BR-165 e das estaduais (PA-279 e Pa-259); está nesta classificação também pela facilidade de acesso e uso de terras/áreas previamente alteradas por atividades de agricultura, pecuária e/ou da extração de madeira em si (legal ou ilegal).

Nas áreas de “Vegetação campestre”, “Pastagem natural” e em alguns pontos próximos às rodovias, perto do Rio Amazonas e do Rio Araguaia-Tocantins – a coloração (amarelo escuro) no mapa refere-se ao potencial “Moderado” para a favorabilidade – por estarem próximas a áreas muito alteradas, pelos tipos de árvores/arbustos encontrados.

Além das reclassificações supracitadas, tem-se a de potencial “Baixo”, que compreende as áreas de “Vegetação florestal” – bastante bem distribuída nas mesorregiões do Baixo Amazonas, Sudoeste e porção da Sudeste. Considera-se “baixo” potencial, mesmo estando evidenciado no mapa, as UC’s de PI.

>> Precipitação Anual Média (c)

No que diz respeito ao mapa potencial produzido para o critério “Precipitação Anual Média”, os três subcritérios foram reclassificados em faixas de potencialidades distintas. A faixa de “1.500 – 1.900 mm” foi reclassificada e está delineada como de “Alto” potencial, encontrada/visualizada na coloração Laranja, em grande parte dos municípios localizados nas mesorregiões do Baixo Amazonas, do Marajó, do Nordeste e Sudoeste paraense.

Já na faixa “2.000 – 2.500 mm”, quando reclassificada de acordo com os pesos trabalhados na metodologia AHP, obteve potencial “Muito alto”, em coloração vermelho escuro. Pressupõe então a possibilidade de disponibilidade hídrica favorável, podendo vir a reduzir o uso de máquinas ou sistemas de irrigação, na

redução de captação de águas subterrâneas em períodos de grande pluviosidade no Estado – vindo a gerar economia de investimentos e no uso dos recursos hídricos superficiais – obviamente, dependendo do cultivar escolhido.

Por conseguinte, na faixa “2.600 – 3.100 mm”, ao ser reclassificado de acordo com a metodologia da AHP, apresentou potencial “Baixo” para a favorabilidade à expansão da fronteira, pois fatores como *excesso de água* pode ser danoso em etapas críticas de desenvolvimento de alguns cultivares e *escoamento superficial* pode carrear importantes nutrientes das plantas por meio da lixiviação do solo. Ademais, no mapa reclassificado, é encontrado na forma de quatro “manchas” de coloração *amarelo claro*, dentro das mesorregiões do Baixo Amazonas, Marajó e Nordeste paraense.

>> Declividade (d)

Dentro do mapa trabalhado com os dados primários para o critério “Declividade”, os subcritérios “Plano (0 – 3%)” e “Suave ondulado (3 a 8%)”, na coloração vermelho escuro, estão dentre os tipos de relevo, mais abundantemente distribuídos no território do Estado do Pará – comumente detendo características que os tornem bastantes aptos ao uso e sustentação de maquinário agrícola de grande porte em suas áreas, tornando suas áreas bastante valorizadas para esta finalidade – excetuando aos rios.

No subcritério “Ondulado (8 a 20%)”, a reclassificação o enquadrado com potencial “Alto” no mapa (coloração laranja no mapa), sendo bastante distribuído no território; tal angulação ainda detém bastante favorabilidade ao uso de maquinário e infraestrutura para armazenamento e do escoamento produtivo de um grande número de cultivares que se desenvolvem neste tipo de relevo.

Já não sendo este o potencial do subcritério “Forte ondulado (20 a 45%)”, que foi classificado como “Moderado” (coloração amarelo escuro) no mapa, pois o número de cultivares capazes de adaptarem-se a este tipo de relevo reduz-se, restringindo acesso e uso de maquinário nas propriedades situadas nessas áreas.

Por fim, as áreas dos subcritérios “Montanhoso (45 a 75%)” e “Escarpado (>75%)” foram inclusos na reclassificação para o potencial “Baixo” (coloração amarelo claro) quanto à favorabilidade à expansão – pois quanto maior for o percentual de declividade maior é a possibilidade processos erosivos de encostas; reduzem-se possibilidade de manutenção e das práticas para instalação e manutenção dos cultivares.

>> Buffer de Áreas Urbanas (e)

Em relação ao critério Áreas Urbanas, seus subcritérios “<3 km” (menor que 3 km), “3 – 10 km” (entre 3 e 10 km) e “>20 km” (maior ou a partir de 20 km), após a reclassificação, evidenciam que quanto maior a distância de áreas e centros urbanos maior a potencialidade. O potencial da faixa “<3 km” está delineado como “Baixo” na análise, pois elevada proximidade aos centros urbanos já consolidados, é restritivo à possibilidade de expansão da fronteira. Já nos subcritérios “3 – 10 km” e “10 – 20 km”, eleva-se a possibilidade de aumento na disponibilidade de terras para fins agrícolas – salvaguardando exceções, como UC’s de PI e de TI’s) – de caráter intensivo.

Assim, na medida em que se distancia de centros e áreas urbanas consolidadas, a importância do subcritério “>20 km” aumenta e seu potencial acompanha tal lógica; evidência observada no mapa reclassificado, onde esta faixa deteve potencial “Muito alto” (coloração *Vermelho escuro*).

Reitera-se assim que, quanto maior for a distância de áreas e centros urbanos maior a favorabilidade à expansão, pois há a possibilidade de aumento na disponibilidade de acesso e uso de tais áreas para fins agrícolas.

>> Buffer das Rodovias (f)

É possível no mapa de potencialidade para as *Rodovias* que os subcritérios “<2 km” (menor que 2 km) e “2 – 5 km” (entre 2 e 5 km) obtiveram, após a reclassificação, a recomendação de potencial considerado “Muito alto”. Mapa este, cuja coloração *Vermelho escuro*, reforça a ideia de que quanto maior for a proximidade das rodovias maior será sua importância na compreensão da dinâmica de expansão para a fronteira, podendo resultar na otimização e eficácia de transporte para outros municípios ou para outros estados. Facilidade de acesso do maquinário e de pólos industriais ou de transformação também reforçam a importância do potencial destas faixas.

Já as faixas dos subcritérios “5 – 10 km” (entre 5 e 10 km) e “10 – 20 km” (entre 10 e 20 km) estão classificadas com potencial “Alto”, de coloração *laranja*, por já compreenderem a noção de uma faixa intermediária ainda considerada muito importante, porém com a possibilidade de uma possível dificuldade de acesso de maquinário e infraestrutura precária.

Por conseguinte, o subcritério “>20 km” (maior ou a partir de 20 km), no processo de reclassificação, deteve o potencial “Baixo” (de coloração amarelo claro); corroborando a ideia de quanto maior for a distância, menor a importância na dinâmica – cenário de aumento na dificuldade de acesso de maquinário, dispensando maior tempo para escoamento produtivo; no encarecimento do processo de abertura de novas estradas e vicinais.

MAPA FINAL DAS POTENCIALIDADES

Os critérios “Tipos de solo” e “Uso da terra” obtiveram os maiores pesos, ambos com 0.25; “Declividade”, em sequência, obteve 0.20; sendo considerados os de maior importância – evidenciando a influência pertinente à importância na favorabilidade à expansão. “Precipitação” com peso 0.15 e “buffer das Rodovias” com 0.10, são considerados um pouco menos importantes. Por fim, o critério “Áreas urbanas”, que obteve o menor 0.05, bem menos importantes na produção do mapa.

Muito Alto

Foi realizada a ponderação dos critérios e a soma de todos os mapas potenciais dos mesmos, de modo à espacializar a favorabilidade dentro do Estado do Pará para a expansão da fronteira agrícola, que pode ser observada na figura 5.2.

Fica muito evidente o potencial “Muito alto” (coloração vermelho escuro) na mesorregião do Nordeste paraense, onde estão localizados muitos municípios que converteram áreas significativas de seus territórios para a agricultura, como Paragominas, Rondon do Pará, Ulianópolis, Dom Eliseu, Moju e Ipixuna do Pará – bem como da porção superior da mesorregião do Sudeste paraense, onde têm-se destacado os municípios de Jacareacanga, Uruará e Marabá.

A BR-010 (Belém-Brasília), que corta o nordeste paraense, mais uma porção da BR-230 (Transamazônica) que corta a região, no delineado de seus traçados reforçam também o potencial “Muito alto” observado, pela possibilidade de otimização e maior eficiência no escoamento da produção; porções de áreas de floresta fragmentadas e aptidões dos tipos de solo reforçam este potencial, por ainda existir disponibilidade de terras para esses fins.

Na mesorregião do Baixo Amazonas, no traçado da rodovia estadual PA-254, e mais ainda no acompanhamento do traçado do Rio Amazonas, da BR-230 (Transamazônica) – que perpassa por Jacareacanga, Itaituba, Altamira e também

por Marabá; além de suas vicinais- obtiveram no mapa o potencial “Muito alto” para a expansão.

Porções no Sudoeste paraense podem ser observadas nos municípios de Jacareacanga e Novo Progresso – cujos solos identificados nestes locais detiveram alto potencial também; além de outros pontos que estão seguindo o traçado da PA-279 (na altura de São Félix do Xingu e municípios próximos); no final da BR-163, que vai de Santarém a Novo Progresso, ademais alguns pontos ao longo de seu traçado; foram áreas que obtiveram reclassificação de favorabilidade á expansão da fronteira agrícola de “Muito alto”.

Alto

A favorabilidade com potencial “Alto” (coloração laranja) obteve bastante representatividade no mapa final, sendo observado em todas as mesorregiões paraenses. Abrangendo boa parte do Baixo Amazonas, coincidindo com áreas de ocorrência do tipo de solo “Latosolo”; em áreas de fronteira com o Estado do Amazonas e ao longo do Rio Amazonas; e na margem oposta, forte ocorrência de área com este potencial – estendendo-se à porções na região Nordeste, áreas fragmentadas, remanescentes florestais já entremeadas com áreas agrícolas; e, também, na mesorregião do Marajó, onde plantios de arroz e soja são encontrados.

No Sudeste paraense, o potencial “Alto” é bastante observado nas áreas dos municípios de Jacareacanga (pegando trecho da BR-230), Itaituba e em Novo Progresso – nestas partes coincidindo com os tipos de solo “Latosolo” e “Neossolo”, de muito alto potencial para fins agrícolas. Ademais, são identificadas porções com o potencial “Alto”, e ao longo da BR-163 e na extensão da BR-230. Após o somatório dos mapas e ponderações, bastantes áreas no sudeste paraense (e áreas fronteiriças ao Estado do Tocantins) despontaram também na reclassificação com esta favorabilidade. Influência da rodovia estadual PA-279 (que vai à altura de São Félix do Xingu à Xinguara) e no seu traçado, também angariaram este potencial (Alto) para a favorabilidade à expansão da fronteira agrícola no estado do Pará.

Moderado

O potencial “Moderado” (de coloração amarelo escuro) no mapa final encontra-se distribuído em quase totalidade da mesorregião do Sudoeste paraense e porções consideráveis na Sudeste; coincidindo estas áreas com o tipo de solo “Argissolo”, que retém bastante água em suas camadas inferiores, profundidade

relativa e acidez acentuada; mas que com correções, investimento e manejo adequados – detém potencial de áreas (exceto as UC's de PI) favoráveis ao uso agrícola.

Na mesorregião do Marajó, predomina a favorabilidade “Moderado”; onde boa parte de seu solo é do tipo “Gleissolo” – próprio de regiões alagadas ou sujeitas, de material constituinte pouco consolidado- tipologia esta com peso relativamente mais baixo na análise.

A ocorrência conjunta das tipologias “Latossolo” e “Argissolo”, na mesorregião do Baixo Amazonas, contribuiu para que estes subcritérios também apresentassem potencial “moderado” de favorabilidade à expansão.

Baixo

Apesar de ocorrência conjunta das tipologias edáficas “Latossolo” e “Argissolo” ter sido reclassificado com potencial moderado, existem áreas que em decorrência de uma faixa de precipitação anual média elevada (“2.600 – 3.100 mm”), das tipologias edáficas, distância de rodovias, obtiveram potencial “Baixo”. Os rios foram reclassificados como áreas não consideradas nesta análise, e também obtiveram potencial “Baixo”. Evidencia-se a influência da precipitação anual também na mesorregião do Marajó, em pequenas porções. Ressaltando nestas áreas que a combinação de fatores hídricos (precipitação anual média), de solos e de acesso às rodovias influenciou sobremaneira para obtivessem tal potencial.

No mapa final de favorabilidade, em sua porção central, é observada uma extensa área com potencial “Moderado” quanto à expansão, contudo a presença de UC's de proteção integral e TI's restringe esta possibilidade em decorrência da instituição legal destas áreas impedirem a destinação para fins agrícolas. O mesmo acontece com as mesorregiões do Sudoeste e do Baixo Amazonas, que mesmo reclassificadas com potencial diferente (“Alto”), não possibilita o avanço da fronteira; mais evidente no Baixo Amazonas, uma boa extensão é designada com UC's e TI's.

Não são somente as UC's de proteção integral e as TI's que são considerados fatores restritivos do potencial, pois os rios (corpos hídricos) inviabilizam fisicamente tal possibilidade de avanço da fronteira “sobre” a água. Sem adentrar no mérito da importância da disponibilidade de tais recursos para a agricultura em si.

De acordo com dados analisados para as reclassificadas propostas, os potenciais “Baixo” e “Muito alto” são os que são encontrados em menores proporções, com áreas estimadas em 7.059.855 ha (9,13%) e 12.372.210 ha

(15,99%) respectivamente. O potencial “Moderado” vem em seguida com 24.208.433 ha ou 31,29% - bastante evidente no mapa final da favorabilidade. Ademais, o potencial “Alto” é o que detém maior representatividade de área, com 33.725.119 ha ou 43,59%. Tais áreas e percentuais são significativos quando observadas as possibilidades de uso e disponibilidade, além das restrições, pela indicação para uma melhor gestão dos recursos disponíveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela análise dos resultados alcançados, percebe-se o método AHP como uma ferramenta eficiente para a seleção e análise dos critérios necessários para analisar o problema proposto. Ao ser testado como ferramenta metodológica para alcance dos objetivos deste estudo, mostrou-se apropriado para atribuir pesos em critérios e subcritérios visando a reclassificação dos mapas temáticos. Com isso, foi possível produzir um mapa final que classificou espacialmente as áreas favoráveis à expansão da fronteira agrícola no território Paraense.

Em ordem de importância, os que demonstraram maior relevância no estudo foram os critérios “Tipos de solo”, “Uso e cobertura da terra”, “Declividade” e “Rodovias” para a reclassificação de áreas com potenciais “Muito alto” e “Alto”. Já os que tiveram importância intermediária foram os de “Precipitação anual” e “Áreas urbanas”.

Por conseguinte, os resultados apontaram as mesorregiões Sudoeste e Baixo Amazonas como áreas detentoras de potencial “moderado”, excetuando a possibilidade de avanço sobre as UCs de proteção integral, terras indígenas e corpos hídricos.

Recomenda-se, portanto, mais estudos e que utilizem outros critérios visando aprofundar ainda mais esta análise, sugerindo-se a comparação com outros métodos de análise multicritério disponíveis – com a finalidade de compreender os mais diversos e complexos cenários e atores envolvidos na questão do avanço da fronteira agrícola no estado.

Por fim, a AHP em ambiente SIG para o Pará, poderá contribuir na formulação de políticas públicas melhor direcionadas para um desenvolvimento agrícola respeitando as características da região, e assim, buscar uma gestão pautada no desenvolvimento regional em consonância com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; VENTURIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2015, João Pessoa-PB. *Anais...João Pessoa-PB*: INPE, 2015.
- AIMEX. Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará. Estatísticas de Exportação. Disponível em: <http://www.tetodigital.com.br/clientes/aimex/estatisticas-anteriores/>.
- ALMEIDA, I. R. *Variabilidade pluviométrica interanual e produção de soja no Estado do Paraná*. 130 f. (Dissertação Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2000.
- ANDRADE, P. S. A. *Ocupação do Sudoeste Paraense Desafios Sociais e Riscos Ambientais*. Dissertação - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS, Brasília – DF, 2014.
- BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JR., C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, v. 177, p. 203-209, 2014.
- BARBOSA, A. L. N. H.; MENEZES, T. A.; ANDRADE, B. C. *Demanda por produtos alimentares nas Áreas Rurais e Urbanas do Brasil*. Texto para discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de Janeiro, 2013.
- BARBOSA, M. J. S.; EID, F.; SANTOS, M. A. R.; CARVALHO, K. F.; GUEDES, L. P. F.; SANTOS, R. A. S.; CRUZ, W. C.; SOUZA, E. J. L.; FÉLIX, O. D. L. *Relatório Analítico do Território do Marajó*. Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2012.
- BASTOS, T. X. *Avaliação do clima do Estado de Rondônia para desenvolvimento agrícola*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1982.
- BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?. *Parcerias Estratégicas*, v. 6, n. 12, p. 135-159, 2010.
- BELÉM. Anuário Estatístico do Município de Belém – 2011. *Caracterização do Território*. Disponível: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf. Acesso: 14/03/2017.
- BELÉM. *Revisão do Plano Diretor do Município de Belém*. Dados da cidade. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/paginas/brasao.php>. Acesso: 10/03/2017.

BENATTI, J. H. A soja na Amazônia e o ordenamento territorial. In: SEMINÁRIO: A GEOPOLÍTICA DA SOJA NA AMAZÔNIA. Anais... Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 18 e 19 de Dezembro de 2003.

CARVALHO, T. M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. In: SANTOS-SILVA, E. N.; SCUDELLER, V. V. (Orgs.). *Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Manaus: Editora UEA Ltda, v. 2, 2009.

CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. *Estudos Econômicos*, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 499-531, 2016.

CELENTANO, D.; SILLS, E.; SALES, M.; VERÍSSIMO, A. Welfare Outcomes and the Advance of the Deforestation Frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*, v. 40, n. 4, p. 850–864. 2012.

CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA (CLP) *Ranking de Competitividade dos Estados 2016*. Disponível em: <<http://conteudo.clp.org.br/ranking-de-competitividade-dos-estados-2016?gclid=CMziv9bD2NICFQGBkQodY84Bsg>> .Acesso: 15/03/2017.

CHANDIO, I. A.; MATORI, A. N. B.; WANYUSOF, K. B.; TALPUR, M. A. H. T.; BALOGUN, A-L.; LAWAL, D. U. GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 2012.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements, *Environmental Management*, v. 28, n. 5, p. 611–621. 2001.

CÔRTEZ, J. C.; D'ANTONA, Á. D. O. Agricultural frontier in contemporary Amazonia: rethinking the paradigm on the basis of population mobility in Santarém, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 11, n. 2, p. 415-430, 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBERK, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, 1997.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das Paisagens. In: JORGE JOÃO, X. da S.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (Orgs.). *Geodiversidade do estado do Pará*. Belém: CPRM, 2013.

DUARTE, M. L. R. *Cultivo da pimenta-do-reino na Região Norte*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.

EMATER-MG. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. *A cultura do milho*. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/doc%5Csite%5Csereviceoseprodutos%5Clivraria%5CCulturas%5CCultura%20do%20Milho.pdf>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Caracterização Físico-Hídrica de Cinco Perfis de Solos do Nordeste Paraense*. Embrapa, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Caracterização dos Solos da Área do Planalto de Belterra, Município de Santarém*. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (EMBRAPA e INPE) 2014. TerraClass. *Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia*. Sumário Executivo. Disponível: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso: 27/06/2017.

ERTHAL, R. A colonização portuguesa no brasil e a pequena propriedade. *Revista GEOgraphia*, ano II, v. 4, 2000.

FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G.; ALFAIA, S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amazônica*, v. 39, n. 4, p. 731-740, 2009.

FEARNSIDE, P. M. The Roles and Movements of Actors in the Deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, v. 13, n. 1, 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). *IFDM 2015 - Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal*. Sistema FIRJAN, 2015.

FERRARI, M. As noções de fronteira em geografia. *Revista Perspectiva Geográfica*, Unioeste, v. 9, n.10, 2014.

FERREIRA, D. B. *Análise da variabilidade climática e suas consequências para a produtividade da soja na Região Sul do Brasil*. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010.

FIORI, M. F. BR-364: do desenvolvimento ao desmatamento. *Revista Veredas Amazônicas*, v. II, n. 1, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Roma, 2015.

GHAMGOSAR, M.; HAGHYGHY, M.; MEHRDOUST, F.; ARSHAD, N. Multicriteria Decision Making Based on Analytical Hierarchy Process (AHP). *GIS for Tourism: Middle-East Journal of Scientific Research*, v. 10, n. 4, p. 501-507, 2011.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; MANGABEIRA, J. A. D. C. Estudo da sustentabilidade agrícola em município amazônico com análise envoltória de dados. *Pesquisa Operacional*, v. 29, n. 1, p. 23-42, 2009.

HADLICH, G. M. Análise de relações entre declividade e uso do solo com auxílio do geoprocessamento, município de Sombrio, SC. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. 2006, Goiânia. *Anais...* Goiânia, 2006.

HASSAN, A. B.; FREITAS, M. V. Emissões de carbono na mudança de uso do solo. In: VILLELA, A.; FREITAS, M.; ROSA, L. P. (Orgs). *Dinâmica do Uso do Solo da Amazônia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. cap. 5.

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

INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS (INDE) /IBGE – Visualizador da INDE (VINDE). Disponível: <http://www.visualizador.inde.gov.br/>. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - @ESTADOS. **Pará**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pa>. Acesso: 21/10/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - @ESTADOS. **Pará**. *Extração Vegetal e Silvicultura*. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=pa&tema=extracaovegetal2015> . Acesso: 15/03/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - @PAÍSES. **Brasil**. **População**. Disponível em: <http://paises.ibge.gov.br/#/pt/pais/brasil/info/populacao>. Acessado: 26/06/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manuais Técnicos em Geociências, Nº 1- **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual Técnico de Pedologia*. 2ª edição. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção Pecuária Municipal*. 2014. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2014/default_xls_brasil.shtm. Acesso: 15/03/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - @Cidades. **Belém**. Disponível em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=_EN&coduf=15&search=para Acesso: 10/03/2017.

ITTO. International Tropical Timber Organization. Tropical Timber Market Report. Volume 21 Number 14, 16th – 31st July 2017. Disponível em: http://www.itto.int/mis_detail/id=5180.

KARNATAK, H. C.; SARAN, S.; BHATIA, K.; ROY, P. S. Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. *Geoinformatica*, v. 11, n. 4, p. 407–429, 2007.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMBONICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The Future of the Brazilian Amazon. *Science*, v. 291, 2001.

LIMA, M. S. B.; MAY, P. H. A Expansão da Fronteira Agrícola no Sul do Amazonas e sua Relação com o Incremento do Desmatamento nas Áreas de Cerrados e Campos Naturais. In: VI ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 2005, Brasília (DF). *Anais...* Brasília: 2005.

LOMBARDI, T. T. N.; D'ANTONA, A. O. A ocupação do território brasileiro como desdobramento da expansão da fronteira: Heranças coloniais no pensamento sobre a contemporânea relação população-ambiente. In: XII CONGRESSO LUSO-AFRO-BRASILEIRO, 2015, Lisboa. *Anais...* Lisboa, 2015.

MALANSON, G. P.; ZENG, Y.; WALSH, S. J. Landscape frontiers, geography frontiers: Lessons to be learned. *The Professional Geographer*, v. 58, n. 4, p. 383-396, 2006.

MARGULIS, S. *Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira*. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.39, n.1, p. 170-178, 2017.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; SEROA DA MOTTA, R.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M. C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*, v. 344, n. 6188, 2014.

OLIVEIRA, M. C. C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. M. S. Diversificação dos sistemas produtivos familiares: reflexos sobre as relações sociedade-natureza na Amazônia Oriental. *Novos Cadernos NAEA*, v. 14, n. 2, 2011.

OMETTO, J. P.; AGUIAR, A. P.; ASSIS, T.; SOLER, L.; VALLE, P.; TEJADA, G.; LAPOLA, D. M.; MEIR, P. Amazon forest biomass density maps: tackling the uncertainty in carbon emission estimates. *Climatic Change*, v. 124, p. 545-560, 2014.

OUMA, Y. O.; TATEISHI, R. Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assesment. *Water*, v. 6, p. 1515-1545, 2014.

PAIXÃO Jr., P. R. C. *Uso do território e gênero de vida na Amazônia: Reprodução camponesa e agronegócio no Planalto Santareno*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPA. Belém. 2012.

PAMPLONA, E. O., Avaliação Qualitativa de Cost Drivers pelo método AHP. VI ABCus-tos, São Paulo (SP), julho de 1999.

PARÁ. *Economia*. Disponível em: http://www.pa.gov.br/O_Para/economia.asp. Acesso: 15/03/2017.

PARÁ. *Estado do Pará*. Disponível em: http://www.pa.gov.br/O_Para/opara.asp. Acesso: 10/03/2017.

PARÁ. *Política de Recursos Hídricos no Estado do Pará*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém. Disponível em: http://www.sema.pa.gov.br/download/SISTEMA_DE_GERENCIAMENTO_DE_RECURSOS_HIDRICOS_PA.pdf. 2012.

PEREIRA, C. L. O.; ROCHA, G. M.; CASTRO, E. M. R.; SÁ, M. E. R.; SANTOS, R. A. O. Capítulo 2. (in: *ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará. Volume 2*). Embrapa Amazônia Oriental. Belém. 2010.

PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. S.; FARIAS, M. H. C. S. Os assentamentos rurais no município de Uruará (PA) e sua contribuição na mudança do uso da terra. In: V SIMPÓSIO DE PESQUISAS E CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA. 2016, Belém. *Anais...* Belém, 2016.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de Modelo e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para mapeamento de risco a inundação em área urbana. *Caminhos de Geografia*. Uberlândia. V. 18, n. 61 Março/2017 p. 01–18.

RINDFUSS, R. R.; ENTWISLE, B.; WALSH, S. J.; MENA, C. F.; ERLIEN, C. M.; GRAY, C. L. Frontier Land Use Change: Synthesis, Challenges, and Next Steps. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 97, n. 4, 2007.

ROCHA, A. P.; SCHULER, C. A. B. Avaliação Espaço Temporal Da Suscetibilidade A Movimentos De Massa Utilizando Ortofotocartas E Modelagem Espacial Multicritério Na Dinâmica De Áreas De Risco Nas Microrregiões Do Jordão E Ibura, Recife-Pe. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 9, 2016.

RODRIGUES, A. S. L., EWERS, R. M., PARRY, L., SOUZA JR, C., VERÍSSIMO, A., BALMFORD, A. Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier. *Science*, v. 324, n. 5933, p. 1435-1437, 2009.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, B. N. R.; SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; DARIVA, T. A.; JESUS, A. A. S.; VENTURIERI, A. Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. In: VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R. C. (ed.). *Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará. Volume 01*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. Cap. 9.

ROSA, I. M.; GABRIEL, C.; CARREIRAS, J. M. Spatial and temporal dimension of landscape fragmentation across the Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*, p. 1-13, 2017.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

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.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art – Surveys*. Kluwer Academic Publishers: Springer's International Series, 2005. Cap. 9.

SANTOS, L. F.; CRUZ, R. B. C. O Uso do Método AHP na Tomada de Decisão para Seleção de Sistemas de Lajes de Edifícios Comerciais. *Engenharia Estudo e Pesquisa*. ABPE, v. 13 - n. 1 - p. 39-52 - jan./jun. 2013.

SAUER, S.; PIETRAFESA, J. P. Novas fronteiras agrícolas na amazônia: expansão da soja como expressão das agroestratégias no Pará. *Acta Geográfica*, p. 245-264, 2013.

SCHROTH, G.; GARCIA, E.; GRISCOM, B. W.; TEIXEIRA, W. G.; BARROS, L. P. Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agroforestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Para. *Sustainability Science*, v. 11, n. 2, p. 277-293, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SEMAS); DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS (DIREH-Gesir). *Tabela das Precipitações Mensais no Estado do Pará - Relatório Técnico*. 2013.

SILVA, M.; NASCIMENTO, C. P.; COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C. A., VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. *Novos Cadernos NAEA*, v. 16, n. 1, 2013.

SILVA, P. A. S. da. *Metodologia Para Tomada de Decisão Multicriterial no processo de Restabelecimento Automático de Energia Elétrica*. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pampa. 2011.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ (SIMINERAL) *Mineração*. 2017. Disponível em: <http://simineral.org.br/mineracao/mineracao-para>. Acesso: 15/03/2017.

SLAFSZTEIN, C. F.; THALES, M.; SERRUYA, N. M.; VENTURIERI, A. Vulnerabilidade Natural à Erosão. Capítulo 3. In: VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R. C. *ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>. Acesso: 15/03/2017.

SOARES, A. B.; SILVA FILHO, J. C. L.; ABREU, M. C. S.; SOARES, F. A. Revisando a Estruturação do Modelo DPSIR como Base para um Sistema de Apoio à Decisão

para a Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 4, n. 3, 2011.

SONG, X.; HUANG, C.; SAATCHI, S. S.; HANSEN, M. C.; TOWNSHEND, J. R. Annual Carbon Emissions from Deforestation in the Amazon Basin between 2000 and 2010. *Plosonejournal*, 2015.

SOUSA, J. V.; JERÔNIMO, T. B.; MELO, F. J. C.; AQUINO, J. T. Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. *Exacta*, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017.

SOUZA, M. L.; PACHECO, R. A. A influência da Rodovia Belém-Brasília no processo de desenvolvimento das cidades do centro-norte de Goiás. *Revista Eletrônica Geoaraguaia*, Barra do Garças-MT, v. 3, n.2, p 246 – 262, 2013.

SPECIESLINK. *Geoloc*. Disponível em: <http://smlink.cria.org.br/geoloc>. Acesso: 10/03/2017.

TERRITÓRIOS DA CIDADANIA (TC). *Baixo Amazonas*. Disponível em: http://www.territoriosdacidadania.gov.br/dotlrn/clubs/territoriosrurais/baixoamazonaspa/one-community?page_num=0. Acesso: 10/03/2017.

TERRITÓRIOS DA CIDADANIA (TC). *Marajó*. Disponível em: http://www.territoriosdacidadania.gov.br/dotlrn/clubs/territoriosrurais/marajpa/one-community?page_num=0. Acesso: 10/03/2017.

TERRITÓRIOS DA CIDADANIA (TC). *Sudeste Paraense*. Disponível em: http://www.territoriosdacidadania.gov.br/dotlrn/clubs/territoriosrurais/sudesteparaensepa/one-community?page_num=0. Acesso: 10/03/2017.

TOLEDO, P. M.; DALLA-NORA, E.; VIEIRA, I. C. G.; AGUIAR, A. P. D.; ARAÚJO, R. Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 26, p. 77-83, 2017.

TURNER, F. J. *The Significance of the Frontier in American History*. Excerpts. American Historical Association. World Columbian Exposition. 1893. Disponível em: <http://nationalhumanitiescenter.org/pds/gilded/empire/text1/turner.pdf>. Acesso: 17/05/2017.

UMETSU, R. K.; PEREIRA, N.; CAMPOS, E. M. F. P.; UMETSU, C. A.; MENDONÇA, R. A. M.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, M. F. Análise Morfométrica e Socioambiental de uma Bacia Hidrográfica Amazônica, Carlinda, MT. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.1, p.83-92, 2012.

VALENTE, M. A.; SILVA, L. G. T.; OLIVEIRA, R. R. S.; PIMENTEL, G. M.; NASCIMENTO, D. L. O. Mapeamento de solos das áreas de duas Mesobacias Hidrográficas no Nordeste Paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: v. 33, 2011.

VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R. C. *Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará – ZEE: Diagnóstico socioambiental*. Vol. 1. Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

WANG, Y., SUN, Y., GENG, X., WU, X., Research of AHP Model on Combination between the Social Responsibility and the Economic Benefits in Corporation. *Business and Information Management*. International Seminar, Dec. 2008

WEIHS, M.; SAYAGO, D.; TOURRAND, J. F. Dinâmica da fronteira agrícola do Mato Grosso e implicações para a saúde. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 323-338, 2017.

4. CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho objetivou analisar a expansão da fronteira agrícola no Estado do Pará, considerando fatores espaciais trabalhados no método AHP, a fim de perceber sua dinâmica, e avaliar a potencialidade do seu deslocamento sobre áreas especiais. Fatores biofísicos, de infraestrutura e os critérios restritivos, foram espacializados e deram origem a mapas com seus respectivos potenciais.

Assim, o método AHP, com sua hierarquização e múltiplos critérios para tomada de decisão, foi bastante importante na consecução deste trabalho, ao espacializar as potencialidades ou restrições inerentes na formulação de mapas reclassificados; e, ainda mais relevante, na elaboração do mapa final das potencialidades agrícola no território Paraense.

Como ponto a ser ressaltado, a espacialização de áreas com potencialidade de “muito alto” e “alto”, cujos subcritérios que detiveram maior importância relativa para esta análise foram os “Tipos de solo”, “Uso da Terra”, “Declividade” e “Rodovias”; em seguida, vindo os subcritérios “Precipitação anual” e “Áreas Urbanas”. Sendo considerados conjuntamente, excetuando as UC's, as TI's e dos corpos hídricos, notórios indicativos para direcionar investimentos, cultivares mais aptos e usos adequados em tipologias edáficas – além de desenvolvimento de pesquisa e desenvolvimento.

Por fim, o desenvolvimento deste trabalho, com o uso da AHP, tencionou minimizar o desafio de um planejamento regional sustentável, não olvidando a complexidade e extensão de área analisada – de modo a fomentar o uso do potencial para expansão da fronteira agrícola no Estado, embasando cientificamente os gestores responsáveis pelos processos decisórios.

ANEXOS

NORMAS DA REVISTA INTERAÇÕES (ARTIGO 1)

Critérios para publicação

INSTRUÇÕES AOS AUTORES - CRITÉRIOS PARA PUBLICAÇÃO REVISTA INTERAÇÕES

Art. 1º - *Interações*, Revista Internacional do Programa de Desenvolvimento Local da Universidade Católica Dom Bosco, destina-se à publicação de matérias que, pelo seu conteúdo, possam contribuir para a formação de pesquisadores e para o desenvolvimento científico, além de permitir a constante atualização de conhecimentos na área específica do Desenvolvimento Local.

Art. 2º - A periodicidade da Revista será, inicialmente, semestral, podendo alterar-se de acordo com as necessidades e exigências do Programa; o calendário de publicação da Revista, bem como a data de fechamento de cada edição, serão, igualmente, definidos por essas necessidades.

Art. 3º - A publicação dos trabalhos deverá passar pela supervisão de um Conselho de Redação composto por três professores do Programa de Desenvolvimento Local da UCDB, escolhidos pelos seus pares.

Art. 4º - Ao Conselho Editorial caberá a avaliação de trabalhos para publicação.

Parágrafo 1º - Os membros do Conselho Editorial serão indicados pelo corpo de professores do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Local, entre autoridades com reconhecida produção científica em âmbito nacional e internacional.

Parágrafo 2º - A publicação de artigos é condicionada a parecer positivo, devidamente circunstanciado, exarado por membro do Conselho Editorial.

Parágrafo 3º - O Conselho Editorial, se necessário, submeterá os artigos a consultores *ad hoc*, para apreciação e parecer, em decorrência de especificidades das áreas de conhecimento.

Parágrafo 4º - O Conselho Editorial Internacional poderá propor ao Conselho de Redação a adequação dos procedimentos de apresentação dos trabalhos, segundo as especificidades de cada área.

Art. 5º - A Revista publicará trabalhos da seguinte natureza:

I - Artigos inéditos, que envolvam, sob forma de estudos, abordagens teóricas ou práticas referentes à pesquisa em Desenvolvimento Local, e que apresentem contribuição relevante à temática em questão.

II - Traduções de textos fundamentais, isto é, daqueles textos clássicos não disponíveis em língua portuguesa, que constituam fundamentos da área específica de Desenvolvimento Local e que, por essa razão, contribuam para dar sustentação e densidade à reflexão acadêmica, com a devida autorização do autor do texto original.

III - Entrevistas inéditas sobre trabalhos relevantes e voltados para o Desenvolvimento Local.

IV - Resenhas de obras inéditas e relevantes que possam manter a comunidade acadêmica informada sobre o avanço das reflexões na área do Desenvolvimento Local.

Art. 6º - A entrega dos originais para a Revista deverá obedecer aos seguintes critérios:

I - Os artigos deverão conter **obrigatoriamente**:

a) título em português, inglês, francês e espanhol;

b) nome do(s) autor(es), identificando-se em rodapé as respectivas instituições, endereços eletrônicos, dados relativos à produção do artigo, bem como possíveis auxílios institucionais;

c) cada artigo deverá conter, no máximo, **três autores**, os quais, pela simples submissão do artigo, assumem a responsabilidade sobre autoria e domínio de seu conteúdo;

d) resumo em português, inglês, francês e espanhol com, no máximo seis linhas ou 400 caracteres, rigorosamente corrigidos e revisados, acompanhados, respectivamente, de palavras-chave, todas em número de três, para efeito de indexação do periódico;

e) texto com as devidas remissões bibliográficas no corpo do próprio texto;

f) referências.

II - Os trabalhos devem ser encaminhados para acdorsa@ucdb.br, dentro da seguinte formatação:

a) arquivo no padrão Microsoft Word;

b) autorização para publicação (Art. 7º), devidamente assinada pelo(s) autor(es), digitalizada, bem como **endereço completo para correspondência**, para o recebimento dos exemplares;

c) O texto deverá ter entre 10 e 18 páginas redigidas em espaço 1,5;

d) caso o artigo traga gráficos, tabelas ou fotografias, o texto deverá ser reduzido em função do espaço ocupado por aqueles;

e) a fonte utilizada deve ser a *Times New Roman*, tamanho 12;

f) os caracteres itálicos serão reservados exclusivamente a títulos de publicações e a palavras em idioma distinto daquele usado no texto, eliminando-se, igualmente, o recurso a caracteres sublinhados, em negrito, ou em caixa alta; todavia, os subtítulos do artigo virão em negrito;

III - Todos os trabalhos devem ser elaborados em qualquer língua, com texto **rigorosamente corrigido e revisado**.

IV - Eventuais ilustrações, fotos, imagens e tabelas com respectivas legendas devem ser contrastadas e apresentadas separadamente, em formato TIFF, JPG, WMF ou EPS, com indicação, no texto, do lugar onde serão inseridas. Todo material fotográfico será, preferencialmente, em preto e branco.

V - As referências e remissões deverão ser elaboradas de acordo com as normas de referência da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - 6023).

VI - As opiniões e conceitos emitidos pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade.

VII - Os limites estabelecidos para os diversos trabalhos somente poderão ser excedidos em casos realmente excepcionais, por sugestão do Conselho Editorial e a critério do Conselho de Redação.

Art. 7º - O(s) autor(es) deverá(ão) enviar declaração de elaboração, domínio do conteúdo e autorização para publicação do artigo (disponível no *site* do periódico).

Art. 8º - Não serão aceitos textos que não obedecerem, rigorosamente, os critérios estabelecidos. Os textos recusados serão devolvidos para os autores acompanhados de justificativa

Art. 9º - A simples remessa de textos implica autorização para publicação e cessão gratuita de direitos autorais.

Art. 10º - Os autores que publicarem artigos na Interações só poderão publicar novamente após um período de dois anos.

Art. 11º - Em um mesmo número da Revista não será permitido constar mais de um artigo do mesmo autor, mesmo que em coautoria.

Art. 12º - Ao autor de trabalho aprovado e publicado será fornecido, gratuitamente, um exemplar do número correspondente da Revista.

Art. 13º - Uma vez publicados os trabalhos, a Revista reserva-se todos os direitos autorais, inclusive os de tradução, permitindo, entretanto, a sua posterior reprodução como transcrição, com a devida citação da fonte.

Para fins de apresentação do artigo, considerem-se os seguintes exemplos (as aspas delimitando os exemplos foram intencionalmente suprimidas):

a) Remissão bibliográfica após citações:

In extenso: O pesquisador afirma: "a sub-espécie *Callithrix argentata*, após várias tentativas de aproximação, revelou-se avessa ao contato com o ser humano" (SOARES, 1998, p. 35).

Paráfrase: como afirma Soares (1998), a sub-espécie *Callithrix argentata* tem se mostrado "avessa ao contato com o ser humano"...

b) Referências:

JACOBY, Russell. *Os últimos intelectuais: a cultura americana na era da academia*. Tradução de Magda Lopes. São Paulo: Trajetória/Edusp, 1990.

SANTOS, Milton. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Hucitec, 1996.

_____. A redefinição do lugar. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia, 1995, Aracaju. *Anais...* Recife: Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia, 1996, p. 45-67.

_____. *O espaço do cidadão*. São Paulo: Nobel, 1987.

SOJA, Edward. *Geografias pós-modernas: a reafirmação do espaço na teoria social crítica*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993.

SOUZA, Marcelo L. Algumas notas sobre a importância do espaço para o desenvolvimento social. In: *Revista Território* (3), p. 14-35, 1997.

WIENER, Norbert. *Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos*. 9. ed. São Paulo: Cultrix, 1993.

c) Emprego de caracteres em tipo itálico: os programas de pós-graduação *stricto sensu* da universidade em questão...; a sub-espécie *Callithrix argentata* tem se mostrado..

Forma e preparação de manuscritos

A **INTER** destina-se à publicação de matérias que, pelo seu conteúdo, possam contribuir para a formação de pesquisadores e para o desenvolvimento científico, além de permitir a constante atualização de conhecimentos na área específica do Desenvolvimento Local. A entrega dos originais para a Revista deverá obedecer aos seguintes critérios:

I - Os artigos deverão conter **obrigatoriamente**:

a) título em português, inglês, francês e espanhol;

b) nome do(s) autor(es), identificando-se em rodapé as respectivas instituições, endereços eletrônicos, dados relativos à produção do artigo, bem como possíveis auxílios institucionais;

c) cada artigo deverá conter, no máximo, **três autores**, os quais, pela simples submissão do artigo, assumem a responsabilidade sobre autoria e domínio de seu conteúdo;

d) resumo em português, inglês, francês e espanhol com, no máximo seis linhas ou 400 caracteres, rigorosamente corrigidos e revisados, acompanhados, respectivamente, de palavras-chave, todas em número de três, para efeito de indexação do periódico;

e) texto com as devidas remissões bibliográficas no corpo do próprio texto;

f) referências.

II - Os trabalhos devem ser encaminhados para acdorsa@ucdb.br, dentro da seguinte formatação:

a) arquivo no padrão Microsoft Word;

b) autorização para publicação (Art. 7º), devidamente assinada pelo(s) autor(es), digitalizada, bem como **endereço completo para correspondência**, para o recebimento dos exemplares;

c) o texto deverá ter entre 10 e 18 páginas redigidas em espaço 1,5;

d) caso o artigo traga gráficos, tabelas ou fotografias, o texto deverá ser reduzido em função do espaço ocupado por aqueles;

e) a fonte utilizada deve ser a *Times New Roman*, tamanho 12;

f) os caracteres itálicos serão reservados exclusivamente a títulos de publicações e a palavras em idioma distinto daquele usado no texto, eliminando-se, igualmente, o recurso a caracteres sublinhados, em negrito, ou em caixa alta; todavia, os subtítulos do artigo virão em negrito;

III - Todos os trabalhos devem ser elaborados em qualquer língua, com texto **rigorosamente corrigido e revisado**.

IV - Eventuais ilustrações, fotos, imagens e tabelas com respectivas legendas devem ser contrastadas e apresentadas separadamente, em formato TIFF, JPG, WMF ou EPS, com indicação, no texto, do lugar onde serão inseridas. Todo material fotográfico será, preferencialmente, em preto e branco.

V - As referências e remissões deverão ser elaboradas de acordo com as normas de referência da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - 6023).

VI - As opiniões e conceitos emitidos pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade.

VII - Os limites estabelecidos para os diversos trabalhos somente poderão ser excedidos em casos realmente excepcionais, por sugestão do Conselho Editorial e a critério do Conselho de Redação.



Universidade do Estado do Pará Centro
de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado Tv.
Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100_
www.uepa.br/paginas/pcambientais

