


MODELAGEM DINÂMICA DE PLANTIOS FLORESTAIS NO ESTADO DE GOIÁS¹

**DYNAMIC MODELING OF PLANTED
FORESTS IN GOIÁS STATE**


**MODELAMIENTO DINÁMICO DE PLANTACIONES
FORESTALES EN EL ESTADO DE GOIÁS**

Lázaro Gabriel de Oliveira Araújo²

 0000-0002-1060-2123

lazarogabriel@discente.ufg.br

Sybelle Barreira³

 0000-0003-1482-2411

sybelleb@ufg.br

Ano XXVIII - Vol. XXVIII - (1): Janeiro/Dezembro - 2024

CIÊNCIA
Geográfica

ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461

www.agbtauru.org.br

1 Texto derivado da dissertação de mestrado “Dinâmica de expansão da silvicultura no estado de Goiás” apresentada em março de 2019 financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2 Cientista Ambiental (UFG) mestre e doutorando em Agronegócio (UFG). Pesquisador em nível de doutorado do PPGAGRO-UFG com financiamento CAPES. Membro do Grupo de Pesquisa Cerrado do CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1060-2123>. E-mail: lazarogabriel@discente.ufg.br.

3 Professora do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Universidade Federal de Goiás (UFG) e líder do Grupo de Pesquisa Cerrado do CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1482-2411>. E-mail: sybelleb@ufg.br.

Artigo recebido em novembro de 2022 e aceito para publicação em outubro de 2023.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: O trabalho aborda os graus de influência dos elementos espaciais sobre a alocação de plantios florestais no estado de Goiás no período de 2000 a 2019 e prevê o cenário até 2030. A pesquisa foi estruturada em: i) análise exploratória, por meio de levantamento das variáveis espacialmente explícitas, diretamente ligadas à condução do fenômeno; ii) elaboração e execução do modelo de expansão de florestas plantadas para o estado entre os anos de 2000 e 2019, utilizando a plataforma *Dinamica EGO*; iii) construção de um cenário de predição até o ano de 2030. Para o cenário de predição, foram mantidos os pesos das variáveis obtidos no modelo de expansão previamente simulado. Os resultados revelaram que a alocação dos povoamentos florestais é fortemente atraída para áreas próximas à estrutura viária e a plantios já estabelecidos. Parte considerável dos plantios ocorrem em áreas de relevo ondulado e aptidão agrícola voltada ao médio nível tecnológico. O modelo de predição indicou que cerca de 75% do crescimento das florestas, até 2030, estaria associado às áreas historicamente destinadas ao cultivo de soja e pastagens.

Palavras-chave: Uso do solo. Geoprocessamento. Florestas. Cerrado.

ABSTRACT: This work aimed to know the spatial elements, as well as their degrees of influence on allocation of planted forests in Goiás State. The research was built following the structure: i) an exploratory analysis, through a survey of spatially explicit variables that conduce the phenomenon; ii) elaboration and execution of the forestry expansion model on the state, since 2000 to 2019, using the *Dinamica EGO* platform; iii) construction of a prediction scenarios of expansion until 2030. In the predict scenario, the weights of the variables, obtained in the previously simulated expansion model, were maintained. The results showed a strongly attracted for areas close to the road and stablished plantations. As for the environmental characteristics, a large of plantations occur in areas of undulating relief and agricultural aptitude aimed at medium technological level. The prediction model indicated that about 75% of growth, by 2030, would advance to soybean and pasture areas.

Keywords: Land Use. Geoprocessing. Forests. Cerrado.

RESUMEN: Este trabajo buscó conocer los elementos espaciales, así como sus grados de influencia en la asignación de plantaciones forestales en el estado de Goiás. La investigación se estructuró en: i) análisis exploratorio, a través del levantamiento de variables espacialmente explícitas, directamente vinculadas a el fenómeno; ii) elaboración y ejecución del modelo de expansión de bosque plantado entre los años 2000 y 2019, utilizando la plataforma Dinamica EGO; iii) construcción de un escenario de predicción para el año 2030. La asignación de plantaciones es fuertemente atraída hacia áreas cercanas a la red vial y a plantaciones ya establecidas. Una parte considerable de las plantaciones se desarrolla sobre relieve ondulado y adecuación agrícola de nivel tecnológico medio. La predicción indicó que alrededor del 75% del crecimiento, para 2030, avanzaría a las áreas de soja y pastos.

Palabras clave: Uso del suelo. Geoprociamiento. Bosques. Cerrado.

INTRODUÇÃO

O valor da produção florestal brasileira atingiu recorde de R\$ 30,1 bilhões com alta de 27,1% em 2021, na comparação com o ano anterior, e está presente em 4.884 municípios. O valor de produção das florestas plantadas, continua superando o da extração vegetal. A silvicultura manteve a trajetória de retomada do crescimento com aumento de 26,1%, alcançando R\$ 23,8 bilhões em 2021. Já a extração vegetal avançou 31,5%, atingindo R\$ 6,2 bilhões (IBGE, 2022).

A silvicultura é a ciência que trata do cultivo de árvores, referindo-se às práticas relativas à produção de mudas, plantio, manejo, exploração e regeneração dos povoamentos (Daniel, 2007). Este modo de produção se apresenta como alternativa para atender a grande demanda por produtos florestais. Dessa forma, o eucalipto e o pinus são fontes de matéria prima para suprir os setores moveleiros e de construção civil, bem como para atender a produção de carvão vegetal, celulose, papel, óleos, aglomerados, entre outros produtos (Moura, Zaidan, 2017).

Segundo Pinheiro e Ladislau (1957), toda exploração florestal deve reunir da melhor maneira possível, os cuidados silviculturais e princípios econômicos, já que terão impactos na comunidade onde estiver localizado o plantio. Dessa forma, o planejamento de plantios e ações silviculturais tem efeito irrevogável em termos de produtividade e qualidade final do produto.

De acordo com a IBÁ (2022), em 2021, a área ocupada com florestas plantadas no Brasil totalizou 9,93 milhões de hectares, um aumento de 1,9% em relação a 2020. O eucalipto lidera com 75,8%, sendo 7,53 milhões de hectares, seguido pelo pinus 19,4%, com aproximadamente 1,93 milhão de hectares. Além desses cultivos, existem cerca de 475 mil hectares povoados com seringueira, acácia, teca, paricá, entre outras espécies.

Segundo Cabral (2017), em 2015 o estado de Goiás contabilizava 162.516 hectares de florestas plantadas, sendo 58% deste total concentrado na mesorregião sul do Estado. Para Reis *et al.* (2018), a produção de madeira no estado atende demandas, em especial, ligadas ao agronegócio e a empresas de mineração. Porém, é necessário ressaltar que ainda se trata de uma produção de baixo valor agregado, revelando que o estado carece de apoio para a implantação de empresas que garantam agregação de valor e a conquista de novos mercados.

Em geral, os cultivos florestais são priorizados para áreas marginais, que não comprometam a produção de alimentos, já que são espécies menos exigentes em termos de fertilidade do solo. O estado de Goiás possui um enorme contingente de terras e pastagens degradadas e/ou inutilizadas por outras culturas que poderiam ser destinadas para fins silviculturais, desde que bem ordenados e realizados de forma sustentável (Reis *et al.*, 2015).

A compreensão sobre a complexidade do meio e a forma de integração entre os diversos temas é crucial para a integração dos elementos espaciais e seus sistemas de monitoramento quando se trata de planejamento ambiental. Para tal integração, a maioria dos planejamentos utiliza métodos espaciais associados a mapas, sendo o geoprocessamento ferramenta fundamental nesse processo (Santos, 2004). A utilização do sensoriamento

remoto no setor florestal brasileiro oferece maiores subsídios à quantificação de recursos e ao monitoramento de áreas com potencial para o reflorestamento.

O geoprocessamento tem sido empregado em diversas áreas da ciência, dentre as quais podem-se citar: a Cartografia, a Geografia, a Agricultura e Floresta, e a Geologia. Todas estas áreas têm contribuído para estudos de planejamento urbano e rural, meios de transporte, comunicação e energia (Moreira, 2007). De modo complementar, os modelos de simulação espacial visam auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, e assim determinar como eles evoluem diante de diferentes cenários que se traduzem por quadros socioeconômicos, políticos e ambientais (Rodrigues *et al.*, 2007).

O presente trabalho, utilizou dados geográficos de plantios florestais, dos anos de 2000 e 2019, aliados a um conjunto de variáveis espacialmente explícitas, consideradas explicativas, na elaboração de um modelo dinâmico, que possibilitou a melhor compreensão da lógica de expansão de plantios florestais no estado de Goiás.

Sistema de Informação Geográfica e Modelagem Dinâmica

Segundo Moreira (2007), geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados ou extrair informações de objetos ou fenômenos geograficamente identificados, quando estes são observados por um sistema sensor. As ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento compõem um conjunto denominado Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Para analisar as modificações da paisagem provocadas pela ação antrópica, os dados gerados por sensores remotos aliados aos (SIGs) tem se mostrado de grande valia, pois permitem a avaliação de grandes áreas em um curto espaço de tempo, de forma bastante precisa e acessível (Zanella *et al.*, 2013).

Segundo Ferreira (2009), modelos da dinâmica de paisagem do cerrado, mostram que, em geral as variáveis naturais como, topografia, geomorfologia, fertilidade dos solos e o clima, estão fortemente atreladas ao processo de conversão da paisagem, seja para áreas de pastagem, agricultura ou até mesmo urbanização. Da mesma forma as variáveis antrópicas como, infraestrutura e a socioeconomia, influenciam no processo de antropização. O estudo também apresenta estimativas para o ano de 2050, que indicam uma expansão das áreas convertidas da ordem de 13,5%, sobretudo ao Norte e Nordeste do bioma cerrado, caso mantidos os níveis de governança e desenvolvimento econômico.

Segundo Lima (2012), no bioma Mata Atlântica entre 1995 e 2005, as maiores taxas de desmatamento ocorreram em municípios que possuíam maiores áreas de florestas e maiores populações rurais, um padrão esperado para paisagens altamente fragmentadas: desmata-se onde ainda há o que ser desmatado. Por outro lado, a quantidade de áreas preservadas na forma de APP e RL, está relacionada ao aumento de florestas, indicando que a legislação ambiental influencia a diminuição do desmatamento e impulsiona a regeneração. Outra variável positivamente relacionada ao aumento de florestas é a taxa de concentração fundiária,

provavelmente refletindo que grandes propriedades sejam mais pressionadas a preservar florestas, ou que não têm necessidade de utilizar a capacidade máxima de suas terras.

De acordo com Cervera *et al.* (2016), em estudo abordando a dinâmica de longo prazo da transição florestal no Mediterrâneo. As áreas florestais mais preservadas entre 1868 e 1956 foram positivamente associadas a zonas mais declivosas e próximas às principais cidades, enquanto a proximidade de aldeias gerou impactos negativos. Já entre 1956 e 2005, constatou-se que o reflorestamento foi positivamente influenciado pelas altitudes elevadas e a radiação anual, enquanto a declividade influenciou negativamente as novas florestas.

Quando se trata de planejamento ambiental, é preciso uma compreensão sobre a complexidade do meio e a forma de integração entre os diversos temas. Para essa integração a maioria dos planejamentos utiliza métodos espaciais associados a mapas (Santos, 2004).

Para o caso específico do planejamento da silvicultura, Gonçalves (2008), argumenta que este deve ser feito alguns meses antes do início das atividades, e considerar a delimitações das áreas de efetivo plantio, a recuperação das áreas de preservação permanente e de reserva legal, a localização da rede viária, a escolha de material genético adequado para cada condição ambiental, técnicas de preparo de solo, as adubações de base e de cobertura, espaçamento de plantio, técnicas de plantio, tratos culturais como, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, e sistema de colheita da madeira.

Por sua vez, os modelos de simulação espacial visam auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, e assim determinar como eles evoluem diante de diferentes cenários que se traduzem por quadros socioeconômicos, políticos e ambientais (Rodrigues *et al.*, 2007).

Para um modelo dinâmico poder operar em uma dimensão espacial, é necessária uma representação matemática de um processo do mundo real, onde uma localização na superfície terrestre muda pelas variações de suas forças direcionadoras, mostrando assim a evolução espacial ao longo do tempo (Burrough, 1998). Para isso, é necessário mapear os padrões de uso e cobertura da terra, diferenciando as categorias em função de suas características médias, para avaliar como cada elemento de uma paisagem se relaciona com o outro espacial e temporalmente (Soares Filho, 1998).

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise exploratória

O mapa de florestas plantadas foi elaborado por meio da vetorização manual dos polígonos, a partir de cenas do sensor *Sentinel-2*, dos meses de setembro e outubro de 2019, cobrindo o território do estado de Goiás. Para auxiliar a identificação das áreas, foi utilizado como referência, o mapa de uso e cobertura do solo produzido por Cabral (2017).

Todos os dados foram reprojatados para o sistema de projeção *UTM, Datum WGS 84*, e recortados segundo o limite político do estado de Goiás. Em seguida, os dados

geográficos, correspondendo às variáveis explicativas foram recortados pela camada de florestas plantadas, e assim, calculadas as áreas e percentuais de ocorrência das florestas cada classes das variáveis explicativas.

As variáveis explicativas selecionadas para fins de caracterização das áreas em que se localizam os plantios florestais, foram: vulnerabilidade ambiental, aptidão agrícola das terras, altimetria, relevo, distância à malha viária e uso/cobertura anterior ao plantio. A seguir, a Tabela 1 apresenta o conjunto de dados geográficos seguidos de suas respectivas fontes.

Tabela 1. Variáveis ambientais utilizados na pesquisa e respectivas fontes.

Dado Geográfico	Fonte
Uso e cobertura das terras ano 2000	IBGE, 2017
Plantios Comerciais de Floresta 2019	CABRAL (2017), atualizado pelo autor
Vulnerabilidade ambiental	PDIAP
Distância à malha viária	AGETOP, 2012
Aptidão agrícola das terras	MACROZAE, 2014
Altimetria	SIC / SGM, 2005
Relevo	USGS / IMB, 2015

Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente, foi realizado o recorte do mapa uso e cobertura das terras de 2000 pelo mapa de florestas de 2019, o que possibilitou identificar as classes de uso e cobertura convertidas em plantios comerciais, bem como o cálculo das respectivas áreas e percentagens relativas ao total.

Em seguida, procedeu-se com o recorte das demais variáveis, mas utilizando separadamente os mapas de florestas plantadas dos anos de 2000 e 2019. Isto permitiu comparar a distribuição dos plantios nas diferentes classes das variáveis em cada data. Ao final, foram calculadas as áreas e percentuais de distribuição dos plantios comerciais para um total de 50 classes, reunidas dentro de 6 variáveis.

Modelo de Predição

Após análise visual dos mapas de florestas plantadas, verificou-se a predominância de pequenos povoamentos com distribuição pulverizada sobre todo o recorte. Diante de tais condições, visando a melhor representação do fenômeno e a eficiência computacional nas etapas de processamento, a conversão para estrutura matricial dos mapas de plantios florestais foi realizada com resolução espacial de 90 metros por pixel, enquanto as variáveis explicativas foram convertidas com resolução de 180 metros.

A plataforma Dinamica EGO foi utilizada para as etapas de modelagem seguintes. Primeiramente foi gerada a matriz de transição, que fornece a taxa percentual de crescimento anual de área da silvicultura entre os anos 2000 e 2019. Segundo Soares-

Filho *et al.* (2009), este método Bayesiano calcula de forma independente, o efeito de cada variável espacial na probabilidade de uma dada transição. Os pesos de evidência são obtidos da seguinte forma:

$$O\{U|B\} = \frac{P\{U|B\}}{P\{\bar{U}|B\}} \quad (1)$$

$$\log\{U|B\} = \log\{U\} + W^+ \quad (2)$$

Onde W^+ é o Peso da Evidência do evento U , dado um padrão espacial B . A pós-probabilidade de uma transição ij , dado um conjunto de dados espaciais (B, C, D, \dots, N), é:

$$P\{i \rightarrow j \vee B \cap C \cap D \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum WN^+}}{1 - e^{\sum WN^+}} \quad (3)$$

Onde B, C, D e N são valores de k variáveis espaciais medidas na localização (x, y) e representadas por seus pesos $W + N$. Em seguida, foi executado e validado o modelo de expansão, por meio do cálculo de mapas de probabilidade de transições e dos respectivos mapas de alocação de transições. O cálculo da probabilidade foi aplicado ao mapa do ano de 2000 e a taxa bruta de transição anual foi alocada de forma cumulativa até o ano de 2019. A etapa de validação, consistiu-se da comparação entre os mapas observado e simulado, correspondentes ao ano de 2019, feita por meio do método *Fuzzy*, proposto por Hagen (2002), e adaptado pelo Centro de Sensoriamento Remoto UFMG (CSR/UFMG).

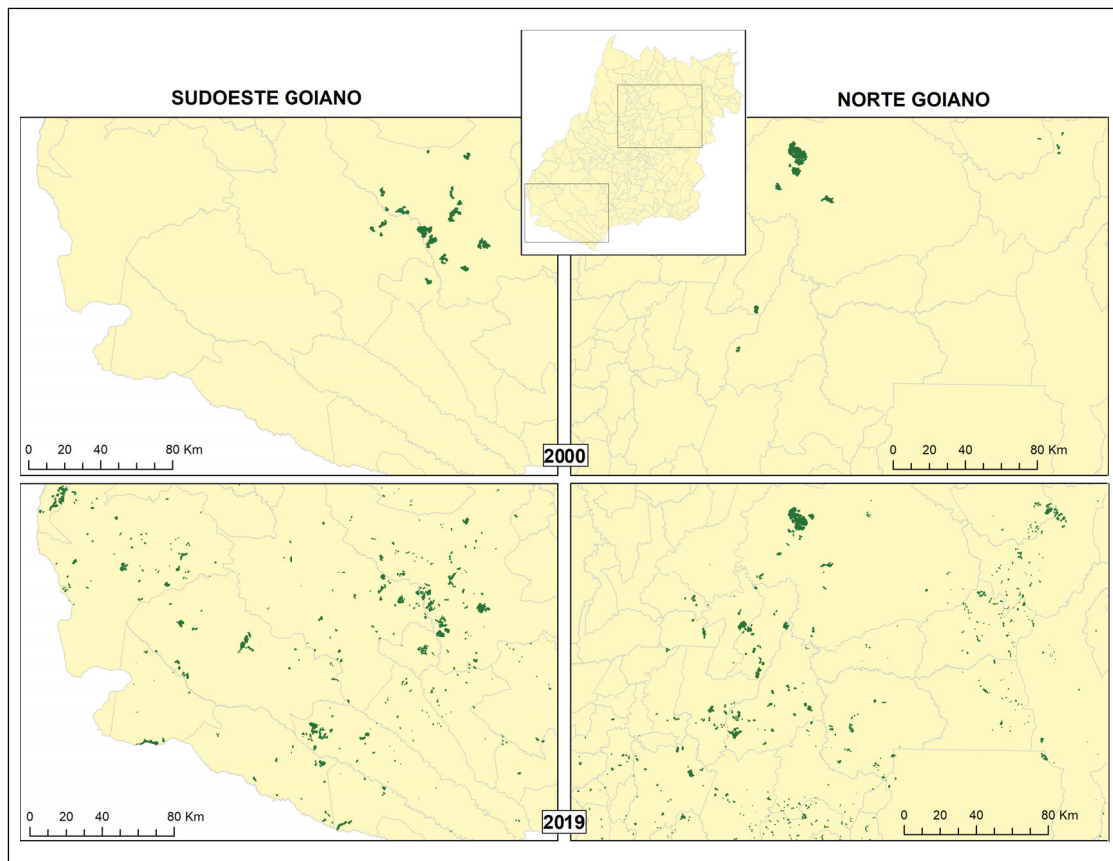
Mediante a possibilidade de manipulação dos pesos de evidência, foi estabelecido o cenário usual de predição da expansão de plantios entre os anos de 2019 e 2030. Para o cenário usual, foram mantidos os pesos de evidência conforme estabelecidos na etapa de validação. Apenas o mapa de vulnerabilidade ambiental teve a ordem das classes alterada para maior realismo na análise do fenômeno.

O mapa em questão contém 5 categorias de vulnerabilidade correspondentes a níveis de antropização da paisagem do estado. Originalmente o mapa apresenta como “vulneráveis”, as áreas com avançados níveis de antropização. E como “estáveis”, as áreas de vegetação nativa. Neste contexto, foi necessário inverter a ordem do mapa original, ao considerar que as áreas já antropizadas são as mais indicadas a receberem novos plantios florestais. Enquanto as áreas de vegetação nativa são menos indicadas a este fim.

Dessa maneira, o mapa de predição para o ano de 2030, indicando as áreas onde se alocariam futuros plantios, foi cruzado com o mapa de uso e cobertura das terras de 2019 do projeto *MapBiomass*, permitindo a quantificação das áreas preditas a serem convertidas, de acordo o modelo utilizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes de todas as variáveis são apresentadas em tabelas contendo áreas correspondentes aos anos de 2000 e 2019, seguida pelos respectivos percentuais em cada ano. As análises de variação percentual durante o período não foram possíveis para todos as classes, devido a não existência de plantios em algumas classes no ano de 2000. Desta forma, optou-se por analisar caso a caso as variações percentuais de área nas classes. A Figura 1 apresenta o crescimento das áreas e localização dos plantios, em duas regiões importantes do estado de Goiás, durante o período de estudo.



Fonte: IBGE (2017). Cabral (2017), adaptado pelo autor.

Figura 1. Povoamentos florestais mapeados no estado de Goiás nos anos de 2000 e 2019, por meio de sensoriamento remoto.

A área total de plantios florestais passou de 62.854,7 ha no ano de 2000, para 143.221,3 ha em 2019. Um crescimento de 227% que se mostrou importante não apenas pelo volume, mas também pela participação de grande parte dos municípios. Em 2000, apenas 20 municípios possuíam maciços produtivos, geralmente em grandes extensões contínuas. Dentre os municípios produtores, se destacavam Ipameri, Catalão, Rio Verde e Niquelândia, locais de grandes empreendimentos agroindustriais e minerários.

A expansão da oferta de madeira plantada se deu de forma pulverizada, cobrindo áreas significativas das regiões, central, centro-norte, sudeste e sudoeste do estado. Em 2019, 168 municípios apresentaram produção florestal. Segundo Ângelo, H. *et al.* (2015), a distribuição espacial dos plantios nos municípios caracteriza-se pela sua atomização e por uma produção não verticalizada dos produtores, refletindo o potencial da atividade florestal na geração de renda em pequenas e médias propriedades.

O surgimento de novos plantios se deu sobre terras com usos e coberturas diversos. A Tabela 2 apresenta valores de áreas e taxas de conversão para as principais classes durante o período analisado.

Tabela 2. Áreas e respectivos percentuais de uso e cobertura das terras convertidas em plantios florestais entre 2000 e 2019.

Classes de Uso e Cobertura	Área (ha)	Percentual (%)
Pastagem natural	88.393,39	63,14
Silvicultura	19.658,39	14,04
Pastagem plantada	18.548,98	13,25
Área agrícola	10.297,44	7,36
Mosaico de vegetação campestre e áreas agrícolas	1.703,51	1,22
Vegetação florestal	650,68	0,46
Corpo d'água	304,22	0,22
Vegetação campestre	212,18	0,15
Área artificial	203,54	0,15
Mosaico de agropecuária e remanescentes florestais	17,98	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cerca de 97,8% da alocação do crescimento das florestas ocorreu em áreas já consolidadas como uso produtivo. As áreas de pastagens naturais foram as mais escolhidas, tendo recebido quase 90 mil ha. Das áreas já ocupadas com silvicultura, quase 20 mil ha foram mantidos com a mesma atividade, o que corresponde a cerca de 1/3 do total existente no ano 2000. Algumas sobreposições das florestas com classes como Vegetação florestal e Corpo d'água, podem ocorrer devido à proximidade entre polígonos e diferenças de escala entre dados vetoriais.

Cerca de 38 mil ha de pastagens plantadas e agricultura deram lugar a florestas comerciais, correspondendo a 20,6% do total da área expandida. Segundo Angelo, H. *et al.* (2015), o forte crescimento nos plantios, bem como a baixa participação deles nas áreas dos municípios, sugere um futuro promissor para a atividade florestal na região central de Goiás. Uma vez constatado o predomínio da expansão para áreas anteriormente produtivas, a Tabela 3 apresenta áreas e percentuais correspondentes das florestas sobre os diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental.

Tabela 3. Variação de Áreas e respectivos percentuais dos plantios florestais em diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental no período entre 2000 e 2019.

Vulnerabilidade Ambiental	Área (ha)		Percentual (%)	
	2000	2019	2000	2019
Estável	56.544,59	113.986,39	89,97	81,18
Medianamente estável/vulnerável	3.553,91	14.161,51	5,65	10,09
Moderadamente vulnerável	2.261,57	10.833,21	3,59	7,72
Moderadamente estável	485,63	1.190,13	0,77	0,85
Vulnerável		241,71		0,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visto anteriormente, os florestamentos se deram, em maior parte, sobre áreas já antropizadas e com menores índices de vulnerabilidade comparados aos de ambientes naturais. A tabela mostra que mesmo com a predominância nas áreas estáveis, houve um significativo avanço para áreas medianamente e moderadamente vulneráveis.

Outra importante variável a ser considerada na escolha do local para formação de florestas produtivas é a infraestrutura para transporte da madeira. A Tabela 4 apresenta áreas e percentuais correspondentes de plantios por zona de distância da malha viária pavimentada, com intervalos de 5 km.

Tabela 4. Área e percentual de florestas plantadas por intervalo de distância das estradas pavimentadas, no período entre 2000 e 2019.

Intervalos de Distância (km)	Área (ha)		Percentual (%)	
	2000	2019	2000	2019
0 - 5	31.803,03	85.768,47	50,98	61,69
5 - 10	16.368,48	34.301,07	26,23	24,67
10 - 15	11.293,83	14.011,38	18,10	10,07
15 - 20	2.917,62	4.665,59	4,67	3,35
20 <		281,88		0,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

No ano de 2000, quando predominavam plantios de grande porte, porém em pequeno número, observa-se uma menor concentração das áreas em faixas próximas a estradas. Esta característica indica que a produção naquele período era feita próxima às indústrias que as consumiam. Deste modo havia menor dependência da infraestrutura de transporte para a logística dos insumos para grandes distâncias.

Por outro lado, em 2019, com a formação de um mercado fornecedor de madeira, muitos pequenos e médios plantios por todo o estado, foram formados sob condições de maior dependência logística. Deste modo verifica-se a maior concentração de florestas em zonas próximas de estradas, uma vez que a malha viária é uma das poucas opções para o transporte de cargas no estado.

Quanto à produtividade dos plantios, uma importante variável a aptidão natural das terras para diferentes tipos de manejo. Ramalho e Beek (1995) consideram três níveis de manejo para classificação de aptidão agrícola das terras: Manejo *A*, Manejo *B* e Manejo *C*.

O Manejo *A* é baseado em práticas de baixo nível tecnológico, e praticamente sem aplicação de capital. Já o Manejo *B* é o que possui práticas de médio nível tecnológico, com modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas. Enquanto o Manejo *C* é fundamentado em práticas de alto nível tecnológico, com aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas.

A seguir, a Tabela 5 apresenta detalhamentos dos diferentes níveis de aptidão agrícola das terras, com a quantificação das áreas e percentuais de florestas plantadas.

Tabela 5. Variação de Áreas e respectivos percentuais dos plantios florestais em diferentes níveis de aptidão agrícola das terras, no período entre 2000 e 2019.

Classes de Aptidão Agrícola das Terras	Área (ha)		Percentual	
	2000	2019	2000	2019
0101.BOA em C, REGULAR em B, INAPTA em A	39.722,73	70.442,24	63,19	50,29
0202.RESTRITA para pastagem plantada	7.329,95	17.811,11	11,66	12,72
0303.RESTRITA em C, INAPTA em A e B	6.481,74	13.736,83	10,31	9,81
0404.REGULAR em B e C, INAPTA em A	5.892,78	13.709,95	9,37	9,79
0505.REGULAR para pastagem plantada		9.419,32		6,72
0606.Terra sem aptidão para uso agrícola	1.017,40	6.108,02	1,62	4,36
0707.RESTRITA para pastagem nativa		2.593,72		1,85
0808.REGULAR para pastagem nativa	1.950,27	2.423,24	3,10	1,73
0909.BOA em B, REGULAR em A, RESTRITA em C	233,61	1.272,84	0,37	0,91
1010.BOA em B, REGULAR em A, INAPTA em C	229,92	1.099,28	0,37	0,78
1111.BOA em A e B, RESTRITA em C		889,65		0,64
1212.REGULAR em B, RESTRITA em C, INAPTA em A		192,01		0,14
1313.BOA em B, REGULAR em C, INAPTA em A		166,35		0,12
1414.RESTRITA no manejo B e C, INAPTA em A		60,60		0,04
1515.Área Urbana		40,67		0,03
1616.BOA em B e INAPTA nos demais		36,09		0,03
1717.BOA em A, REGULAR em B, INAPTA em C		29,87		0,02
1818.BOA em A, REGULAR em B e C		27,68		0,02

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 revela uma diminuição percentual de áreas na classe de aptidão 01, caracterizado por terras com alto potencial produtivo, combinada ao aumento percentual de áreas na classe 06, terras sem aptidão para uso agrícola. Esta pode ser uma evidência de que o florestamento concorreu com outros cultivos por melhores áreas, e em muitos casos foi alocado em terras de menor potencial produtivo.

Outra informação peculiar, é o aparecimento de quase 10 mil ha de florestamentos em áreas da classe 05, REGULAR para pastagem plantada, o que reforça a constatação de que o maior volume de florestas foi atraído para áreas de pastagens de modo geral.

Ainda atrelado a práticas de manejo, outro fator a ser considerado diz respeito ao relevo. Áreas com maiores declividades, em geral, estão associadas a solos pouco profundos, com baixa oferta de nutrientes, impedimento à moto-mecanização e maior suscetibilidade a processos erosivos.

Tabela 6. Área e percentual de florestas plantadas por classe de relevo, entre 2000 e 2019.

Classes de Relevo	Área (ha)		Percentual (%)	
	2000	2019	2000	2019
Plano	18.718,29	31.938,30	29,78	22,80
Suave Ondulado	31.685,58	73.033,65	50,41	52,15
Ondulado	11.503,62	33.385,77	18,30	23,84
Forte Ondulado	937,17	1.671,84	1,49	1,19
Montanhoso	14,58	4,86	0,02	0,003

Fonte: EMBRAPA (2006), adaptado pelo autor.

É observada a redução de percentual nas zonas planas do estado, e avanços para zonas de relevo suave ondulado e ondulado. Mais uma evidência de que o florestamento tende a ser alocado em áreas pouco aptas à mecanização. As áreas de forte ondulação e montanhosas ainda parecem oferecer grandes limitações ao plantio.

Terrenos acidentados agem negativamente, principalmente, na qualidade final da madeira em decorrência das tensões de crescimento no tronco. (Ciriello, 2015). No entanto, Oliveira *et al.* (2015), ressalta que, quando manejada adequadamente, a floresta comercial apresenta perdas de solo por erosão hídrica, abaixo da tolerância admissível. Em algumas situações, essas perdas ficam relativamente próximas daquelas da mata nativa, indicando que esses plantios oferecem eficiente cobertura ao solo.

Como último fator a ser considerado na escolha de locais para o florestamento comercial, Souza *et al.* (2006), aponta que a altitude influencia diretamente a temperatura do local e, por consequência, a demanda evaporativa. Deste modo, a escolha da espécie a ser implantada, deve considerar, além da finalidade comercial, também o critério da adaptabilidade às condições edafoclimáticas de cada ambiente.

O estado de Goiás possui condições climáticas consideravelmente distintas dos ambientes onde se aclimataram a maior parte das espécies florestais introduzidas no Brasil. Este fato, relativiza as recomendações dirigidas ao produtor, a respeito da escolha de ambientes para o plantio, pois as limitações edafoclimáticas consideradas para tais espécies, podem ser muito diferentes ou até inexistentes. A Tabela 7 apresenta as áreas e percentuais existentes em cada cota altimétrica.

Tabela 7. Área e percentual de florestas plantadas por altitude entre 2000 e 2019.

Intervalo Altimétrico (m)	Área (ha)		Percentual (%)	
	2000	2019	2000	2019
100-300		1474,38		1,05
300-500	368,61	2625,90	0,59	1,87
500-700	15311,41	41251,78	24,33	29,44
700-900	28731,64	58536,26	45,66	41,78
900-1100	17759,06	30164,03	28,22	21,53
1100-1300	756,54	5972,27	1,20	4,26
1300-1500		63,69		0,04

Fonte: Elaborado pelo autor.

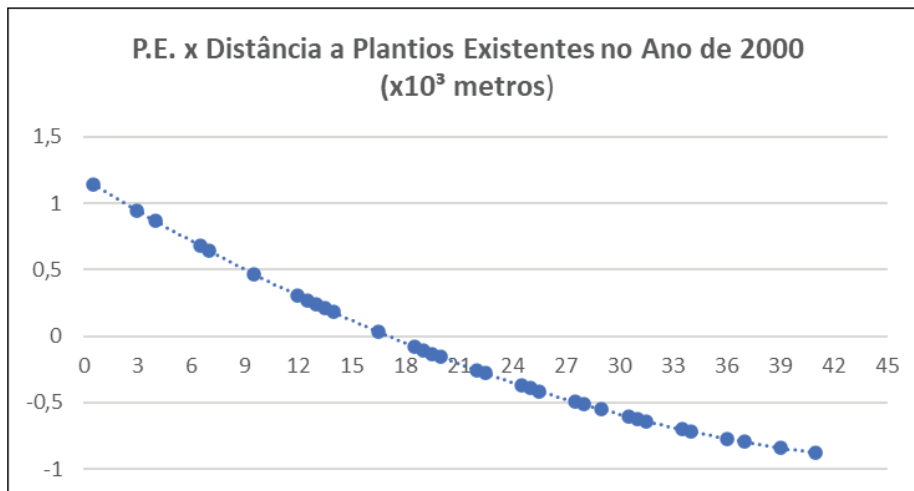
Os plantios se localizaram, predominantemente, entre 500 e 1100 metros de altitude, faixa que contém 98,21% da área plantada em 2000, e 92,75% da área em 2019. Esta convergência está de acordo com as recomendações de especialistas, que apontam as altitudes intermediárias como as mais viáveis ao plantio.

A segunda etapa consistiu na elaboração e execução do modelo de expansão no período de 2000 e 2019. Esta importante etapa complementa a análise exploratória e fornece o conjunto de dados necessários à elaboração do mapa de predição.

A validação do modelo de expansão entre 2000 e 2019, utilizando função de decaimento constante, revelou similaridade de 50% entre os mapas simulado e observado, com a janela de 43 pixels. Uma precisão satisfatória quando considerada a resolução espacial de 90 metros dos mapas utilizados. A grande dificuldade em se atingir a acurácia do modelo, pode ser atribuída à enorme diferença entre a área média dos povoamentos de silvicultura, que é 12 ha com desvio padrão de 127 ha na imagem de 2019, e as áreas das classes de variáveis explicativas. Além do fato de se tratar de um fenômeno modelado para todo o estado, cuja extensão total ultrapassa os 34.000.000 ha.

Por meio da análise dos pesos de evidência foi possível identificar padrões de convergência do fenômeno, que complementam e aprofundam as informações geradas na análise exploratória. A presença de plantios no ano de 2000, mostrou-se atrativa ao fenômeno de expansão, até a distância de 19 km. Para distâncias maiores a tendência foi de repulsão.

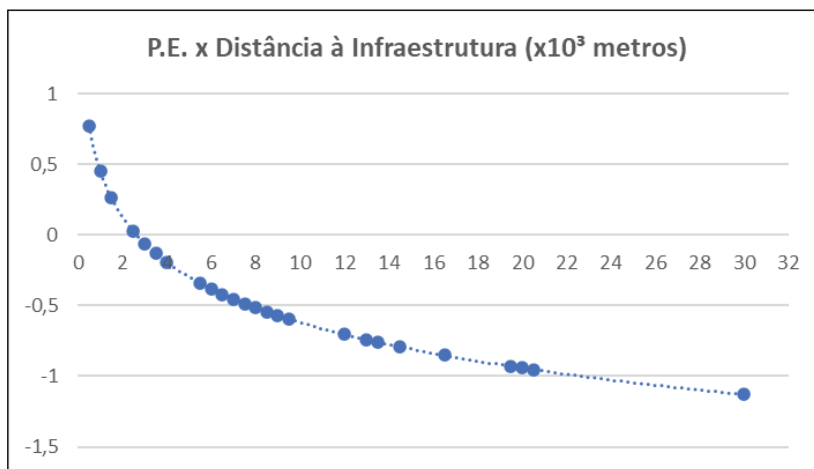
Esta relação indica uma forte influência dos plantios já estabelecidos, podendo ocorrer na forma de crescimento dos povoamentos já existentes ou surgimento de novos povoamentos. A Figura 2 apresenta a curva de tendência da variação dos pesos de evidência, em função da distância.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2. Curva de tendência de pesos em função da distância a plantios existentes em 2000.

A variável *distância à malha viária*, mostrou-se atrativa ao fenômeno até 2,5 km, e repulsiva para distâncias maiores. Esta tendência indica uma forte probabilidade de expansão de plantios muito próximos à infraestrutura de transporte. Os pesos desta variável apresentaram padrão inversamente proporcional à distância ao longo de todo o intervalo observado. Este padrão pôde ser descrito pela curva de tendência, apresentada na Figura 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3. Curva de tendência de pesos em função da distância à malha viária.

Para a *altimetria*, a expansão foi atraída para áreas com altitude entre 700 e 1300 metros, com maior intensidade para altitudes acima de 900 metros. Este fato demonstra que no estado existe uma tendência considerável de expansão dos plantios para zonas elevadas. Em grande parte, ocorrendo na região a sudoeste do Distrito Federal, compreendendo a porção central do estado, e ao norte do DF. O relevo “suave ondulado”, com declividade variando de 3% a 8%, foi o único intervalo que apresentou pesos positivos, representando

atração ao fenômeno. O que significa que a expansão no período observado, se deu estritamente para áreas com este tipo de relevo.

Para a *aptidão agrícola*, o fenômeno teve maior atração para áreas com boa aptidão no manejo B, seguida de áreas com boa aptidão no manejo C. Estes tipos de manejo pressupõem o emprego de tecnologias que vão de níveis intermediários a elevados. Este fato indica que há por parte do produtor, uma disposição para escolha de áreas mais adequadas, propícias ao ganho de produtividade mediante o emprego do planejamento e das tecnologias.

Para a *vulnerabilidade ambiental*, a classe “estável” apresentou maior atração ao fenômeno, seguida pela classe “medianamente estável-vulnerável”. As demais, apresentaram repulsão ao fenômeno.

A última etapa da pesquisa apresenta o modelo de predição entre 2019 e 2030, cuja área total estimada de florestas plantadas para o ano de 2030, foi de 254.885 ha, uma vez aplicada a taxa de incremento de 5,3% ao ano, obtida na matriz de transição do modelo. A simulação mostrou a formação de povoamentos mais concentrados, próximas à malha viária. Padrão que se assemelha ao da dinâmica observada entre 2000 e 2019.

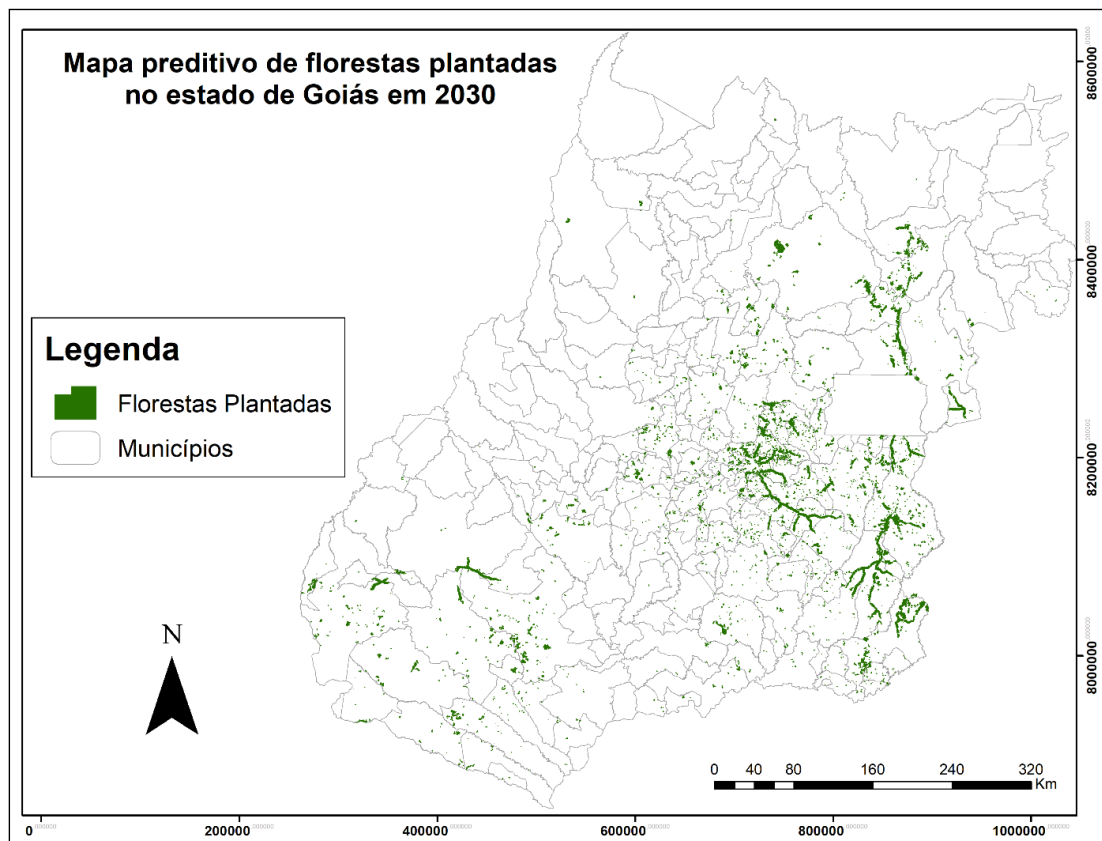
As taxas de conversão das classes de uso e cobertura, para floresta plantada, tomando como referência o mapa do projeto *MapBiomass* para 2019, revelaram diferenças significativas entre os dois cenários, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Conversão estimada de usos do solo para plantios florestais até 2030 em Goiás.

Classe de Uso e Cobertura	Área (ha)	Percentual (%)
Soja	74191.34	56.80
Pastagem	24812.53	19.00
Formação Savânica	7853.57	6.01
Outras Lavouras Temporárias	6436.05	4.93
Formação Florestal	5829.90	4.46
Formação Campestre	4582.31	3.51
Floresta Plantada	2453.06	1.88
Cana	1695.80	1.30
Infraestrutura Urbana	1384.84	1.06
Outros	1338.40	1.02

Fonte: Elaborado pelo autor.

As porções central e sudeste do estado apresentaram grande crescimento de polígonos, devido a presença de grande parte dos plantios já estabelecidos em 2019 aliado à maior densidade da malha viária, atraindo novos polígonos. Na região ao norte do DF, também se registra significativo aumento de plantios. A Figura 4 apresenta o mapa preditivo para alocação dos plantios até o ano de 2030.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4. Mapa de predição para expansão de florestas plantadas no estado de Goiás entre os anos de 2019 e 2030.

CONCLUSÃO

O estudo permitiu uma compreensão mais ampla dos fatores espaciais que condicionam a decisão de produtores florestais do estado de Goiás. A escolha das variáveis explicativas se mostrou adequada ao cumprimento dos objetivos. A pesquisa também apontou que a produção florestal pode enfrentar desafios relativos ao ordenamento do espaço produtivo. Desafios estes que podem formar um novo conjunto de problemáticas a serem estudadas com maior profundidade, tanto do âmbito da modelagem dinâmica, quanto das ciências florestais e áreas correlatas.

Os resultados demonstram que a silvicultura ocorre em quase todos os tipos de ambientes e de condições produtivas no estado. Em alguns casos, se desenvolve em áreas de baixa capacidade de suporte, comparada a culturas agrícolas. Fato que corrobora a premissa de que se trata de culturas menos exigentes e mais versáteis quanto a adaptabilidade.

O considerável avanço para áreas de lavoura e pastagens chama a atenção para o potencial com que a atividade teria para ser desenvolvida no estado, uma vez que os povoamentos florestais passariam a concorrer por terras com histórico de maior retorno financeiro. A tendência também aponta para o possível aumento da oportunidade de integração entre silvicultura e agricultura, já que as duas atividades tenderiam a ocupar o mesmo espaço.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, Humberto, *et al.* A expansão dos reflorestamentos de eucalipto no estado de Goiás. **Floresta**, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 223-228, out. 2014.
- BURROUGH, P. A. Dynamic modelling and geocomputation. In: Longley, P. A.; Brooks, S. M.; McDonnell, R.; MacMillan, B. ed. **Geocomputation: a primer**. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- CERVERAA, T1; PINOB, J2; MARULLC, J3; ROC PADRÓD, R4; TELLO, E4. Understanding the long-term dynamics of forest transition: From deforestation to afforestation in a Mediterranean landscape (Catalonia, 1868–2005); **Land Use Policy**, 2016.
- CABRAL, E.G. **Análise multitemporal da silvicultura no estado de Goiás via sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado em Agronegócio – Programa de Pós-graduação em Agronegócio PPGAGRO/UFG, Goiânia, 2017.
- CIRIELLO, E. Oportunidades e Desafios para a Silvicultura de Espécies Nativas, Tropical Flora; **Simpósio Araras 2015**.
- DANIEL, O. **Silvicultura**, Universidade Federal Da Grande Dourados Faculdade De Ciências Agrárias Dourados – MS BRASIL 2007.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos**, Rio de Janeiro, 1979.
- FERREIRA, M. E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do cerrado**, Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás. Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2009.
- GONÇALVES, J.L.M. Diretrizes e ações em prol de uma silvicultura sustentável, **I Encontro Brasileiro de Silvicultura**, novembro de 2008.
- HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. **Proceedings of the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science**, 2002.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 36, p. 1-8, 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas digitais**. 2000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual Ibá 2022**. Brasília 2023. Disponível em <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- IMB – Instituto Mauro Borges, **Panorama Socioeconômico de Goiás – Estudos IMB**. Goiânia: SEGPLAN, 2015.
- LAPIG – **Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento**. Disponível em: <<https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/dados-geograficos>>. Acesso em: 25 mai. 2017.
- LIMA, C. M. G. **Modelagem de transição florestal na Mata Atlântica**, Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2012.

- MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**, 3ª edição, Editora UFV - Universidade Federal de Viçosa 2007.
- MOURA, A.B.A.P; ZAIDAN, R.T. Análise multitemporal e possíveis impactos da expansão da silvicultura de eucalipto no município de carrancas – mg, um estudo para os anos de 2005, 2008, 2013 E 2015. **Caderno de Geografia**, v.27, n.48, 2017.
- OLIVEIRA, Y. M. M; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. EMBRAPA FLORESTAS, 2015.
- PINHEIRO, J. V; LADISLAU, R. **Considerações gerais sôbre a exploração do eucalipto no estado de São Paulo**. Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1957.
- RAMALHO, A. F; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3ª Edição. Rio de Janeiro, 1995.
- REIS. C. F; SANTOS, A. M; MOREIRA, J. M. M. A. P; OLIVEIRA, V. L. E; COSTA, A. C; DUARTE, M; FARINA, S. S; BARREIRA, S; REZENDE, W. **Diretrizes para promoção do desenvolvimento florestal no estado de Goiás**, Sebrae, Goiânia, 2018.
- RODRIGUES H. O; SOARES-FILHO, B. S; COSTA, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3089-3096.
- SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. Oficina dos Textos: São Paulo, 2004.
- SIEG - **Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás**. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 25 mai. 2017.
- SOARES-FILHO, B.S. **Análise de paisagem: fragmentação e mudanças**, Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto – Instituto de Gociências, UFMG, 1998.
- SOARES-FILHO, B.S; RODRIGUES H.O; COSTA, W.L.S. **Modeling environmental dynamics with dinâmica ego**. 1.ed. Belo Horizonte, 2009.
- SOUZA, M. J. H; RIBEIRO, A; LEITE, H. G; LEITE, F. P; MINUZZI, R, B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.399-410, 2006.
- ZANELLA, M, E; OLÍMPIO, J, L; COSTA, M. C. L; EUSTÓGIO; DANTAS, W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Côco, Fortaleza-CE. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, 25 (2): 317-332, mai/ago/2013.