



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

CAMPUS TERESINA CENTRAL

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

LUCAS OLIVEIRA BRAGA

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO
DE COCAL-PI**

**TERESINA
2023**

LUCAS OLIVEIRA BRAGA

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE
COCAL-PI

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientadora: Prof. Dra. Bruna de Freitas Iwata

TERESINA

2023

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE COCAL-PI

Lucas Oliveira Braga¹
Bruna de Freitas Iwata²

RESUMO

Nas últimas décadas, os remanescentes florestais brasileiros sofreram intensas modificações nas paisagens naturais, especialmente devido à expansão do agronegócio sobre o bioma Cerrado. Mais recentemente, a crescente conversão de áreas de Caatinga ameaça esse bioma que já enfrenta histórica degradação em função da fragilidade ambiental da região semiárida onde está inserido e de sua elevada densidade demográfica. Diante das potenciais implicações negativas sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, dentre outros fatores, evidencia-se o ensejo por pesquisas com viés da ecologia da paisagem para diagnóstico ambiental. Nesse intuito, utilizando-se dados do projeto MapBiomas, o presente artigo avaliou a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal de Caatinga em comparação às atividades agrossilvipastoris desenvolvidas no município de Cocal-PI, no período de 1990 a 2021. Registrou-se uma progressiva redução e fragmentação da vegetação em função da expansão do agronegócio. Da recente introdução de lavouras temporárias, principalmente a soja, vislumbra-se um potencial avanço espacial que merece atenção do ponto de vista ambiental, no que tange à biodiversidade e aos sistemas produtivos sustentáveis. Embora a maior parte da vegetação ainda seja constituída de grandes fragmentos, as métricas de ecologia de paisagem evidenciam uma progressiva fragmentação vegetacional relacionada à crescente perturbação antrópica. Desse modo, faz-se necessária a implementação de instrumentos de planejamento ambiental na gestão territorial do município, de forma a garantir um desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: fragmentação florestal; uso e ocupação do solo; desenvolvimento sustentável;

ABSTRACT

In recent decades, Brazilian forest remnants have undergone intense changes in natural landscapes, especially due to the expansion of agribusiness in the Cerrado biome. More recently, the increasing conversion of Caatinga areas threatens this biome, which is already facing historical degradation due to the environmental fragility of the semi-arid region where it is located and its high demographic density. Given the potential negative implications on biodiversity and ecosystem services, among other factors, the opportunity for research with a landscape ecology bias for environmental diagnosis is evident. To this end, using data from the MapBiomas project, this article evaluated the spatio-temporal dynamics of the Caatinga vegetation cover in comparison to the agroforestry activities developed in the municipality of Cocal-PI, in the period from 1990 to 2021. There was a progressive reduction and fragmentation of vegetation due to the expansion of agribusiness. From the recent introduction of temporary crops, mainly soybeans, there is a potential spatial advancement that deserves attention from an environmental point of view, in terms of biodiversity and sustainable production systems. Although most of the vegetation still consists of large fragments, landscape ecology metrics show progressive vegetation fragmentation related to increasing anthropogenic disturbance. Therefore, it is necessary to implement environmental planning instruments in the municipality's territorial management, in order to guarantee sustainable development.

Keywords: forest fragmentation; land use and occupation; sustainable development.¹

Data da aprovação: 27/11/2023

1 INTRODUÇÃO

A paisagem, enquanto objeto de estudo científico, pode ser entendida como um mosaico complexo e heterogêneo de unidades integrativas dotadas de certa homogeneidade delimitada em geral por três fatores: ambiente biótico, perturbações naturais e fator antrópico. Na análise das modificações antrópica das paisagens desenvolveu-se a ecologia da paisagem, ramo científico que busca compreender as relações estruturais e funcionais dos elementos biológicos e culturais, sob uma determinada escala geográfica de interesse, para compatibilização dos usos da terra com a sustentabilidade ambiental, social e econômica (PEREIRA; COSTA, 2020).

Como elementos de um mosaico paisagístico, as florestas estão em constante interação com os demais integrantes, sendo comum mudanças quantitativas e estruturais que podem afetar sua função como habitat de espécies silvestres. Processos de fragmentação florestais causam efeitos que vão além da simples redução quantitativa de habitats, podem acarretar alterações substanciais na riqueza, abundância e composição de espécies das comunidades, cuja complexidade demanda mais estudos para dimensionamento dos impactos (LUTHER et al., 2020; MANDAL; CHATTERJEE, 2021). Além disso, as florestas nativas desempenham papel essencial para os ecossistemas regionais, como conservação do solo, manutenção de recursos hídricos, regulação climática, entre outros.

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, a ecologia da paisagem tem muito a contribuir no planejamento de paisagens urbanas e rurais dos biomas brasileiros, que têm seus remanescentes florestais pressionados pela expansão urbana e, principalmente, pela implantação de atividades agrícolas, produção econômica proeminente do país desde os primórdios. Nesse sentido, estudos nos diferentes biomas do país tem utilizado métricas de paisagem na avaliação espaço-temporal da dinâmica dos remanescentes florestais frente aos demais tipos de uso e ocupação do solo (ANTONGIOVANNI et al., 2018; SILVA et al., 2019; ANDRADE et al., 2020).

¹Graduando de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). E-mail: lucasbraga.bio@gmail.com.

² Gestora Ambiental, Doutora em Ciências do Solo e Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).

A avaliação paisagística dos fragmentos ganhou maior importância nas últimas décadas com a acelerada modificação das paisagens decorrente da escalada industrial do agronegócio no Brasil, fomentada pelo desenvolvimento tecnológico, pelo interesse mercadológico internacional por monoculturas e incentivos governamentais (PEREIRA; PAULI, 2016). A partir dessa conjuntura desencadearam-se impactos ambientais negativos diretos sobre a biodiversidade, com a extinção e degradação de habitats florestais e maior risco de extinção de espécies.

Na região do MATOPIBA, fronteira agrícola formada por municípios do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, extensas áreas de Cerrado e de transição com Caatinga vêm sendo convertidas em lavouras de monoculturas e pastagens. Associado a esse modelo de expansão, observa-se o agravamento da degradação ambiental pelo desmatamento em matas ciliares, assoreamento de rios e sobre-exploração de recursos naturais (OLIVEIRA; AQUINO, 2020).

Por sua vez, nos últimos anos, as áreas de Caatinga despontaram como uma nova fronteira agrícola no cultivo de grãos, especialmente a soja (PROCOPIO et al., 2019). Esse prognóstico representa uma ameaça à preservação desse bioma, que atualmente tem uma área total de 41.399.196 ha, que corresponde a metade da sua dimensão original e a cerca de 10% do território brasileiro, e apresenta relevante fragmentação, especialmente em suas porções oriental, central e sul em função de pressões antrópicas crônicas (ANTONGIOVANNI et al., 2018; ANTONGIOVANNI et al., 2020; IBGE, 2019).

Diante do exposto, emerge como uma problemática o processo de perda e fragmentação dos remanescentes de Caatinga em razão do avanço espacial do agronegócio. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal de Caatinga em comparação às atividades agrossilvipastoris desenvolvidas no município de Cocal-PI, no período de 1990 a 2021, a partir de dados do MapBiomas, bem como na caracterização da sua fragmentação baseada em métricas de paisagem.

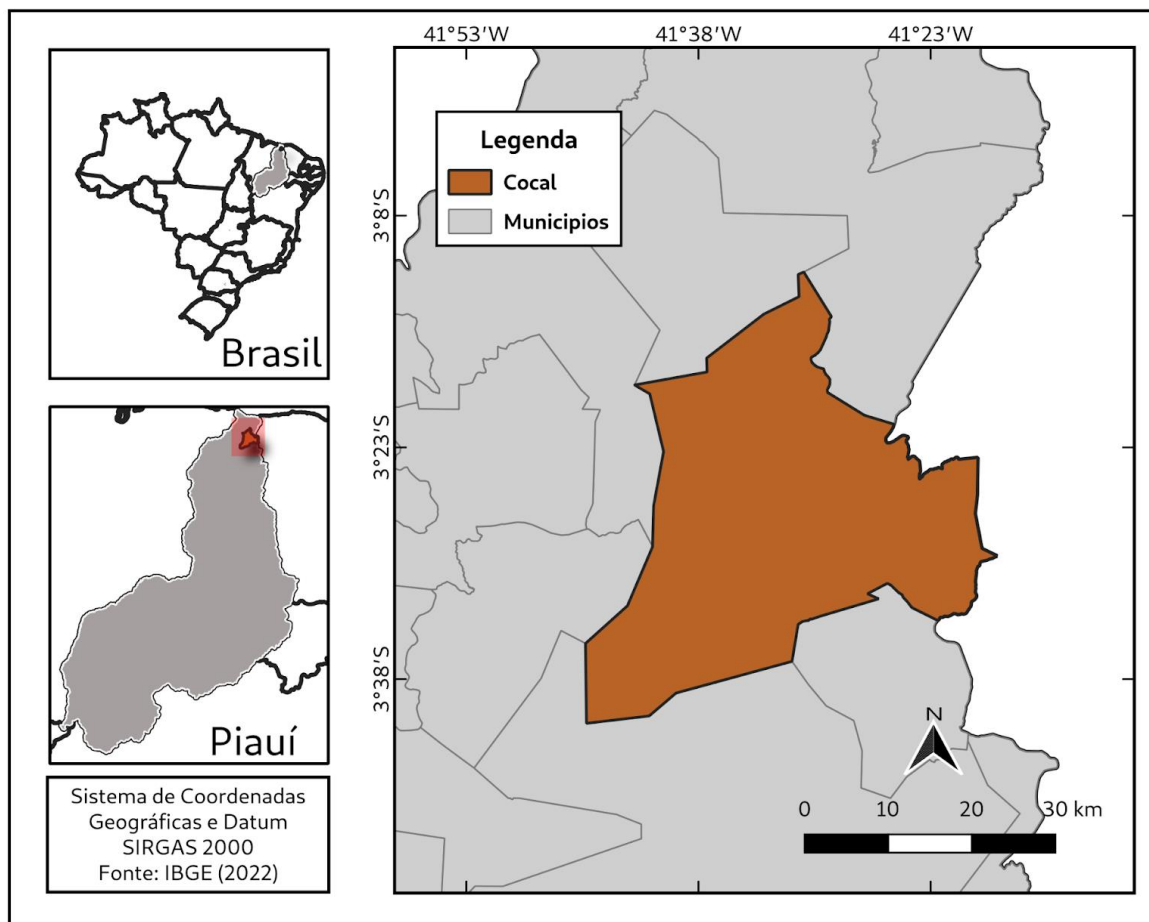
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho consiste no município de Cocal, localizado no Norte do estado do Piauí, no Território de Desenvolvimento Planície Litorânea, com as seguintes coordenadas geográficas: 3° 28' 19" Sul e 41° 32' 27" Oeste, e altitude de 160,0 metros (Figura 1). O município apresenta um clima tropical alternadamente úmido e seco, com

duração do período seco de seis meses. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 34°C com precipitação pluviométrica média de 1.112mm, sendo o período de maior precipitação entre os meses de março a maio (CEPRO, 2012).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Cocal-PI



O município possui uma área territorial de aproximadamente 1.294,13 km² que abrange parcialmente três bacias hidrográficas: bacia do piranji, bacia do longá e bacias difusas do litoral (SEMAR, 2010). Registrou-se, no último censo, em 2022, 28.212 habitantes em uma densidade de 21,80 habitantes/km² (IBGE, 2023). Na economia, o setor agropecuário tem papel relevante, destacando-se a pecuária bovina, o caju, dentre as lavouras permanentes, e os cultivos de mandioca, feijão, milho e soja, nessa ordem, por valor de produção (IBGE, 2022).

A cobertura vegetal é constituída do bioma Caatinga, típica em áreas de clima semi-árido e adaptada à ocorrência periódica de secas, predominantemente caracterizada pela perda de folhas no período de estiagem, e a rebrota no curto período de chuva (IBGE, 2019). A

maior parte da vegetação de Cocal-PI está sob domínio da Área de Proteção Ambiental Serra da Ibiapaba, criada pelo Decreto s/ n.º de 26 de novembro de 1996 (BRASIL, 1996).

Os solos que ocorrem no território municipal são os seguintes: latossolo amarelo, plintossolo, podzólio vermelho amarelo equivalente eutrófico, areias quartzosas, litólicos e podzólio vermelho amarelo e planossolo (EMBRAPA, 2006). As formas de relevo da região compreendem, principalmente, superfícies tabulares reelaboradas (chapadas baixas), relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 metros (1) et al., 1986).

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.2.1 Obtenção dos Dados

No intuito de avaliar a dinâmica da cobertura vegetal nativa do município de Cocal-PI, foram utilizados dados da coleção 8, versão mais atual, referentes aos mapas de desmatamento e vegetação secundária, e aos mapas de uso e cobertura do solo, disponibilizados pelo projeto MapBiomas. Esse projeto trata-se de uma iniciativa de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil que opera com imagens do satélite Landsat, em resolução espacial de 30 metros, identificando padrões de trajetórias de classificação em nível de pixel, disponibilizado no *Google Earth Engine* (MAPBIOMAS, 2023)

Dos mapas de desmatamento e vegetação, extraiu-se dados de vegetação total, vegetação secundária e atividades agrossilvipastoris (pastagens, mosaico de pastagens e agricultura, e agricultura). Já dos mapas de uso e cobertura do solo foram utilizados dados de transições entre as classes de atividades agrossilvipastoris e as formações vegetacionais (florestais, savânicas e campestres), sendo a classe agricultura discriminada em: lavouras permanentes, lavouras temporárias e soja.

O arquivo vetorial no formato *shapefile* com delimitação do município de Cocal, baixado do *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi inserido na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) e através do *toolkit* do MapBiomas obteve-se os arquivos *rasters* e planilhas com dados da área de estudo relativos aos anos de 1990, 2000, 2010 e 2021, data mais atual disponível na plataforma.

2.2.2 Processamento dos dados

O processamento dos dados foi feito através do *software* livre QGIS, versão 3.28.11, e seus *plugins*, e pelo programa *Libre Office Calc* (2023).

Primeiramente, os dados *rasters* e vetoriais foram convertidos para o sistema de projeção cartográfica correspondente ao Universal Transversal de Mercator (UTM), tendo como referencial geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), *Datum* oficial adotado no Brasil. As imagens foram reprojatadas para resolução espacial de 30 metros.

Devido às limitações de resolução, os *shapefiles* de estradas pavimentadas e não pavimentadas (IBGE, 2010) foram sobrepostos às imagens *rasters* do módulo desmatamento e vegetação secundária para produzir uma figura mais precisa do padrão de fragmentação da Caatinga. Uma extensão de 110 metros para cada lado das estradas pavimentadas e 60 metros para cada lado das estradas não pavimentadas foram arbitrariamente consideradas como área desmatada e foram subtraídos da base original dos remanescentes, conforme metodologia adaptada de Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018). Assim, uma área total de 40,83 km² foi subtraída da base original dos remanescentes, o que equivale a cerca de 3,15% do município.

Para processamento no QGIS e confecção do mapa de uso e cobertura de solo, procedeu-se à reclassificação das imagens tendo como referência a hierarquia de classes Nível 1 e Nível 2 da Coleção 8 do MapBiomias. Reclassificou-se a matriz de desmatamento e vegetação secundária usando a ferramenta reclassificação por tabela para um total de 8 classes, sendo elas: Grupo 1 - Vegetação primária; Grupo 2 - Vegetação Secundária; Grupo 3 - Pastagem; Grupo 4 - Agricultura; Grupo 5 - Supressão de vegetação; e Grupo 6 - Demais usos.

2.2.3 Métricas de ecologia de paisagem

O *Landscape Ecology* (Lecos), plugin complementar à plataforma QGIS (JUHNG, 2016), através de sua função *Landscape Statistics*, foi utilizado para os cálculos das métricas de paisagem (Quadro 1) relativas aos fragmentos das classes de vegetação primária e secundária, e importação para o software Excel dos valores obtidos para a confecção dos gráficos, tabelas e dados estatísticos.

Quadro 1 - Métricas de paisagem dos fragmentos florestais geradas pela extensão Lecos para análise

Métrica	Descrição
Cobertura da terra (área em ha e %)	dados de cobertura florestal total
Número de fragmentos (em unidades)	número de fragmentos
Maior área de fragmento (em ha)	tamanho da maior mancha florestal no ano em estudo
Menor área de fragmento (em ha)	menor área de fragmento no ano em estudo
Área média de fragmento (em ha)	área média de fragmento no ano de estudo
Comprimento de bordas (em metros)	soma do perímetro das áreas de fragmento
Densidade de bordas (em metros/ha)	relação do total de bordas com a área total da de fragmentos

2.2.4 Distribuição de tamanho dos fragmentos

Com base na área de todos os remanescentes vegetacionais, os fragmentos foram agrupados nas seguintes classes de tamanho (em hectares): (a) <2, (b) <5, (c) 5 – 50, (d) 50 – 250, (e) 250 – 1.000, (d) 1.000 – 10.000, (e)>10.000 . Para cada uma dessas classes foram calculados o número de fragmentos e percentual de área ocupada em relação à vegetação total.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DINÂMICA DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO

Neste estudo, apresentam-se os dados das seguintes classes de uso e cobertura do solo do município de Cocal-PI: vegetação, pastagem, mosaico de usos de agricultura e pastagem, e agricultura, referentes aos anos de 1990, 2000, 2010 e 2021, obtidos a partir do módulo Desmatamento e Vegetação Secundária do MapBiomias.

A Tabela 1 evidencia uma perda progressiva da cobertura vegetal entre 1990 e 2021, com saldo negativo de aproximadamente 15.557 hectares, que consiste em uma redução de 12% da área inicial. Por sua vez, a proporção espacial das atividades agrossilvipastoris teve

incremento de 12.640 hectares, um ganho de 677% em área. Destaca-se que o período de maior decréscimo de vegetação, de 2010 para 2021, também correspondeu a maior expansão territorial dessas atividades agrossilvipastoris.

Dos dados depreende-se que a ampla dominância da classe de vegetação em Cocal vem sendo ameaçada em decorrência da expansão do agronegócio. Esse processo de modificação da paisagem já foi reportado em graus mais avançados para municípios piauienses da região sul, onde, desde o início da década de 90, grandes áreas de vegetação de Cerrado foram suprimidas para implantação de lavouras agrícolas (NEVES; SILVA, 2014; OLIVEIRA; AQUINO, 2020). Neves e Silva (2014) reportaram para uma área que engloba 10 municípios, entre 1991 a 2010, a vegetação teve reduzida sua cobertura de 56% para cerca de 30% do território, enquanto a agropecuária ampliou de 40% para 66%. Por sua vez, Oliveira e Aquino (2020) na área da bacia hidrográfica do Rio Gurguéia, que abrange 33 municípios, observaram uma perda de 31,07% da vegetação no período de 1987 a 2017.

Tabela 1: Dados de uso e cobertura do solo da vegetação e de atividades agrossilvipastoris do município de Cocal, Piauí

Ano	Vegetação		Pastagem		Mosaico		Agricultura	
	Area (há)	% ¹	Area (há)	% ¹	Area (há)	% ¹	Area (há)	% ¹
1990	127.108,9	97,9	499,0	0,4	1368,0	1,0	0	0
2000	125.731,8	96,8	758,0	0,6	1.913,0	1,5	131,0	0,1
2010	122.240,6	94,1	850,0	0,7	3.990,0	3,0	841,0	0,6
2021	111.451,1	85,8	4.886,0	3,8	6.624,0	5,1	2.997,0	2,3

¹ Proporção da classe em relação a área total de uso e cobertura do solo

Para melhor entendimento da dinâmica de supressão vegetal, na Tabela 2 são apresentados os dados de transição de uso e ocupação do solo segundo as fitofisionomias vegetacionais, que ratificam a gradual elevação de área de vegetação convertida nos três períodos observados, tanto em termos absolutos, de 1.720 ha para 6.196 ha, como percentuais, de 1,36% para 5,1%.

Para as formações vegetacionais é notória uma maior proporção de supressão de vegetação savânica, totalizando 11.699 ha de área suprimida, seguida pela redução da formação florestal em 2.742 ha. Já a formação campestre pouco foi alterada, provavelmente devido às condições limitantes de solo e relevo.

Dentre as classes de uso agrossilvipastoris, o mosaico de pastagens e agricultura foi o principal responsável pelas conversões de uso do solo, tanto na vegetação savânica como na florestal, em todos os períodos analisados. Especificamente de 2010 a 2021, houve um aumento substancial na contribuição das três classes para supressão de áreas savânicas, o que

repercutiu em uma maior área de vegetação suprimida nesse período. Esses dados corroboram Cerqueira e Gomes (2023) que citam a preponderância de supressão de áreas savânicas da Caatinga piauiense para implantação de pecuária e agricultura, tendo áreas de pastagens como a principal causa da redução de sua vegetação.

Tabela 2: Dados de transição de uso e ocupação do solo, em hectares, das fitofisionomias vegetais para classes de uso agrossilvipastoris do município de Cocal-PI no período de 1990 a 2021

Período	Classe de Uso	Formação Vegetacional			Área Total Convertida	% Vegetação Convertida
		Floresta	Savana	Campestre		
1990 - 2000	Pastagem	2,00	146,00	0,02	1.720	1,3
	Mosaico	268,00	1.231,00	0,03		
	Agricultura	21,00	52,00	0,00		
2000 - 2010	Pastagem	6,00	190,00	1,00	3.428	2,7
	Mosaico	426,00	2.545,00	13,00		
	Agricultura	53,00	361,00	0,00		
	Soja	0,00	30,00	0,00		
2010 - 2021	Pastagem	335,00	2.584,00	5,00	6.196	5,1
	Mosaico	1.424,00	3.312,00	3,00		
	Agricultura	169,00	1.102,00	2,00		
	Soja	38,00	146,00	0,00		
Total		2.742,00	11.699,00	24,05	-	-

Na Tabela 3, observa-se que na região ocorreu um significativo aumento de área para todas as classes agrossilvipastoris, com destaque para a agricultura, sob a forma de lavouras permanentes e temporárias, pelo seu maior incremento proporcional. Vale ressaltar que as lavouras permanentes, tipologia mais antiga, apenas foram registradas a partir de 2000. Provavelmente isso está relacionado ao cultivo agroindustrial de grande áreas, em que sua homogeneidade paisagística é mais facilmente detectada por imagens de satélites.

Tabela 3: Dados de área de cobertura do solo, em hectares, das classes de uso agrossilvipastoris do município de Cocal-PI no período de 1990 a 2021

Ano	Pastagem	Mosaico de usos	Lavouras Permanentes	Lavouras Temporárias	Soja
1990	506,61	1377,54	*	*	*
2000	767,07	1.926,9	131,22	*	*
2010	860,94	4.008,51	830,07	14,94	57,87
2021	4.916,25	6.651,45	1.617,93	1.192,32	204,30

LEGENDA: *Não houve registro

As lavouras temporárias, dentre elas a soja, apareceram pela primeira vez em 2010, e desde então tiveram crescimento em área superior às lavouras permanentes, alcançando proporção territorial similar. A implantação dessas lavouras tem grande potencial de expansão sobre o município de Cocal, especialmente a soja, principal produto de exportação piauiense (CERQUEIRA; GOMES, 2023). Assim, esse grão apresenta maior rendimento econômico, conforme demonstram dados de Cocal, onde o cultivo de soja representa o quarto maior valor monetário de produção em 2022, mesmo tendo uma área plantada correspondente a no máximo 7% das lavouras mais valiosas, representadas por feijão, milho e mandioca (IBGE, 2023).

Reporta-se nessa linha o município de Uruçuí-PI, onde as atividades agropecuárias se expandiram pelo território a partir do ano 2000, em que representavam menos de 1% do uso do solo, chegando a cobrir 20,2% em 2020. Essa evolução foi impulsionada pelo cultivo de soja, cuja proporção inicial de 32,5% (2000) alcançou 85,5% (2020). Especialmente entre os anos de 2015 e 2020, houve uma ampliação do domínio da soja dentre as atividades, o que pode ser explicado por fatores econômicos internacionais (ROCHA et al., 2022).

O possível acirramento na competição por terras para cultivo de grãos em Cocal-PI, tende a ser prejudicial à sobrevivência e desenvolvimento de sistemas agroflorestais familiares (SAFs) existentes no município. Segundo dados do censo agrário, em 2017, os SAFs apresentavam uma predominância espacial ao ocuparem uma área total de 8.107 ha distribuídos em 333 estabelecimentos, contra 6.438 ha de pastagens e 4.935 ha de lavouras desenvolvidas, respectivamente, em 764 e 4.712 estabelecimentos (IBGE, 2017). Dessa forma, vislumbra-se um significativo impacto social e ambiental uma vez que os SAFs constituem um modelo agrário que compatibiliza a preservação da vegetação nativa com boa produtividade e geração de renda a pequenos produtores, constitui alternativa de produção agropecuária sustentável (FREDERICO; MORAL, 2022).

3.2 FRAGMENTAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

Da análise das métricas de paisagem, constata-se que a supressão de remanescentes vegetacionais nas últimas décadas foi acompanhada de uma crescente e contínua fragmentação (Tabela 4). O quantitativo de fragmentos passou de 79, em 1990, para 442, em 2021, perfazendo um acréscimo de 459%, ao mesmo tempo em que a área média foi reduzida a 15,8% do valor inicial, o perímetro aumentou 192% e a densidade de bordas, 231%.

De forma similar, Fernandes et al. (2019), na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, observaram uma tendência de supressão e fragmentação do bioma Caatinga. Os autores relatam a redução da área e tamanho médio dos grandes fragmentos, acima de 100ha, no período de 1997 a 2017, com aumento da área coberta por fragmentos pequenos e médios.

A redução e fragmentação da cobertura vegetal acarretam diretamente a perda de biodiversidade, pela extinção e modificação de habitats. O acentuado incremento do perímetro e da densidade das bordas constituem uma maior área sob condições microclimáticas distintas em relação à temperatura, umidade, luminosidade e incidência de ventos, interferindo nos processos naturais de mortalidade, regeneração e sobrevivência de espécies, com efeitos drásticos na composição e estrutura dentro das comunidades ecológicas (SILVA et al., 2019; LUTHER et al., 2020).

Tabela 4 - Métricas de paisagem da vegetação do município de Cocal-PI no período de 1990 a 2021

Ano	Fragmentos			Bordas	
	Nº de unidades	Área média (ha)	Maior área (ha)	Comprimento (m)	Densidade (m/ha)
1990	79	1.558,98	40.479,75	1.693.380,00	13,75
2000	109	1.118,67	39.855,42	2.090.940,00	17,15
2010	147	807,36	38.185,47	2.916.900,00	24,58
2021	442	245,70	34.920,99	4.949.460,00	45,58

Em decorrência de uma maior área de borda, eleva-se também a incidência da pressão antrópica. Ribeiro (2015) relatam os efeitos negativos na estrutura vegetacional da Caatinga causados por atividades como o sobrepastoreio e a extração vegetal. A atuação crônica desses fatores é responsável pela alteração e simplificação na estrutura das comunidades vegetacionais. Ademais, Antongiovanni et al. (2018) alertam sobre os fortes impactos de origem antrópica relacionados à profundidade do efeito de borda para o bioma Caatinga. Conforme as autoras, 83% da área do bioma está localizada a mais de 100m de áreas alteradas. No entanto, se considerarmos um efeito de borda com apenas 1km, a área núcleo dos remanescentes se reduz para 23,2%, e com 2,5km, restam somente 6,8%.

A fragmentação observada pode ser melhor entendida a partir da dinâmica de formação de fragmentos, em termos quantitativos de unidades e de área de cobertura por classes de tamanho (Tabela 5). Houve predomínio da formação de unidades com menos de 5 hectares, que em 2021 chegaram a representar 90% dos fragmentos, ocupando 0,32% da área de vegetação. Esse padrão de fragmentação, em que há uma relação inversamente

proporcional entre o quantitativo de manchas de determinada classe de tamanho e a sua representatividade na área total, também foi relatado em outros estudos (ANDRADE et al., 2020; OLIVEIRA JUNIOR, 2022).

Tabela 5 - Distribuição da vegetação do município de Cocal-PI, no período de 1990 a 2021, segundo cada classe de tamanho dos fragmentos, em quantitativo absoluto e percentual.

Classe ¹	1990		2000			2010			2021		
	N ²	% ³	N ²	% ³	ΔV ⁴	N ²	% ³	ΔV ⁴	N ²	% ³	ΔV ⁴
< 2	55	-	80	-	-	116	-	-	345	-	-
< 5	59	0,04	86	0,05	(+)11	121	0,06	(+)19,2	394	0,32	(+)280
5 – 50	7	0,08	9	0,08	(-)1,6	12	0,13	(+)62	31	0,36	(+)246
50 – 250	1	0,17	2	0,19	(+)20	1	0,16	(-)42	2	0,27	(+)109
250 – 1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,56	(+)632
1.000 – 10.000	9	44,2	9	44,02	(-)634	10	44,55	(-)539	10	44,46	(-)3447
>10.000	3	55,5	3	55,65	(-)417	3	55,1	(-)2184	3	54,02	(-)5311
Total	79	100	109	100	-	147	100	-	442	100	-

Legenda: ¹Número de fragmentos em uma classe para o respectivo ano; ²Percentual em área ocupada pela classe em relação à cobertura vegetal; ³Variação de área da classe (em hectares) em relação ao ano anterior registrado;

Destaca-se o expressivo quantitativo de fragmentos de áreas reduzidas, inferiores a 2 hectares, o que reflete uma perda significativa de biodiversidade, tendo em vista a relação direta entre o tamanho da área e o quantitativo de espécies suportadas por esse ambiente. Além disso, áreas tão pequenas podem ter seu desempenho como habitats comprometido, especialmente para espécies mais restritivas, em função de uma maior proporção do fragmento estar suscetível ao efeito de borda. Com isso, ocorre redução de áreas nucleares, detentoras de habitats de melhor qualidade por estarem protegidas de perturbações externas (SILVA et al., 2019; LUTHER et al., 2020).

Em contraposição, a despeito de suas dimensões inferiores, não se pode ignorar a importância dos fragmentos menores ao cumprirem a função de ligação entre manchas próximas e maiores. Um menor distanciamento entre fragmentos favorece espécies com menor capacidade de deslocamento e adaptabilidade. Podem ser considerados ainda como importantes núcleos de regeneração de vegetação secundária (ANTONGIOVANNI et al., 2018).

Quanto aos maiores fragmentos, acima de 1.000 hectares, mantiveram-se em proporção territorial superior a 98%, variando de 12 para 13 fragmentos. A predominância espacial na paisagem, que se traduz em homogeneidade e conectividade, confere à vegetação sua classificação como matriz ambiental, favorecendo processos ecológicos como colonização de novas áreas, capacidade de deslocamento e sobrevivência de espécies. Essa caracterização vai ao encontro da qualificação de maior grau de preservação de grandes fragmentos na

porção norte, onde se localiza o município Cocal, em relação às demais regiões do bioma Caatinga, segundo Antongiovanni et al. (2018).

Da Tabela 5, nota-se também que a geração de áreas menores teve origem na intensificação do retalhamento dos grandes fragmentos ocorrido nas últimas duas décadas. Especificamente no intervalo de 2010 a 2021. Essas classes somadas perderam aproximadamente 8,7 mil hectares, enquanto as menores e intermediárias ganharam ao todo 1.267 hectares.

Além do aspecto quantitativo de área dos fragmentos, é interessante avaliar o grau de preservação desses remanescentes vegetacionais. Conforme os dados da Tabela 6, no período avaliado, o recobrimento espacial da vegetação secundária passou de 0,6 para 7,6, em função de um acréscimo de 7.717,5 hectares. Depreende-se o impacto ambiental negativo advindo da crescente interferência das atividades agrossilvipastoris, que frequentemente estão relacionadas a áreas de vegetação secundária (SOUZA et al., 2019b). Ademais, deve-se considerar que essas áreas correspondem somente àquelas que passaram por modificações drásticas, a exemplo da supressão total. Portanto, por não englobarem alterações vegetacionais mais sutis, também decorrentes de ações antrópicas, acabam por subdimensionar a influência dessas.

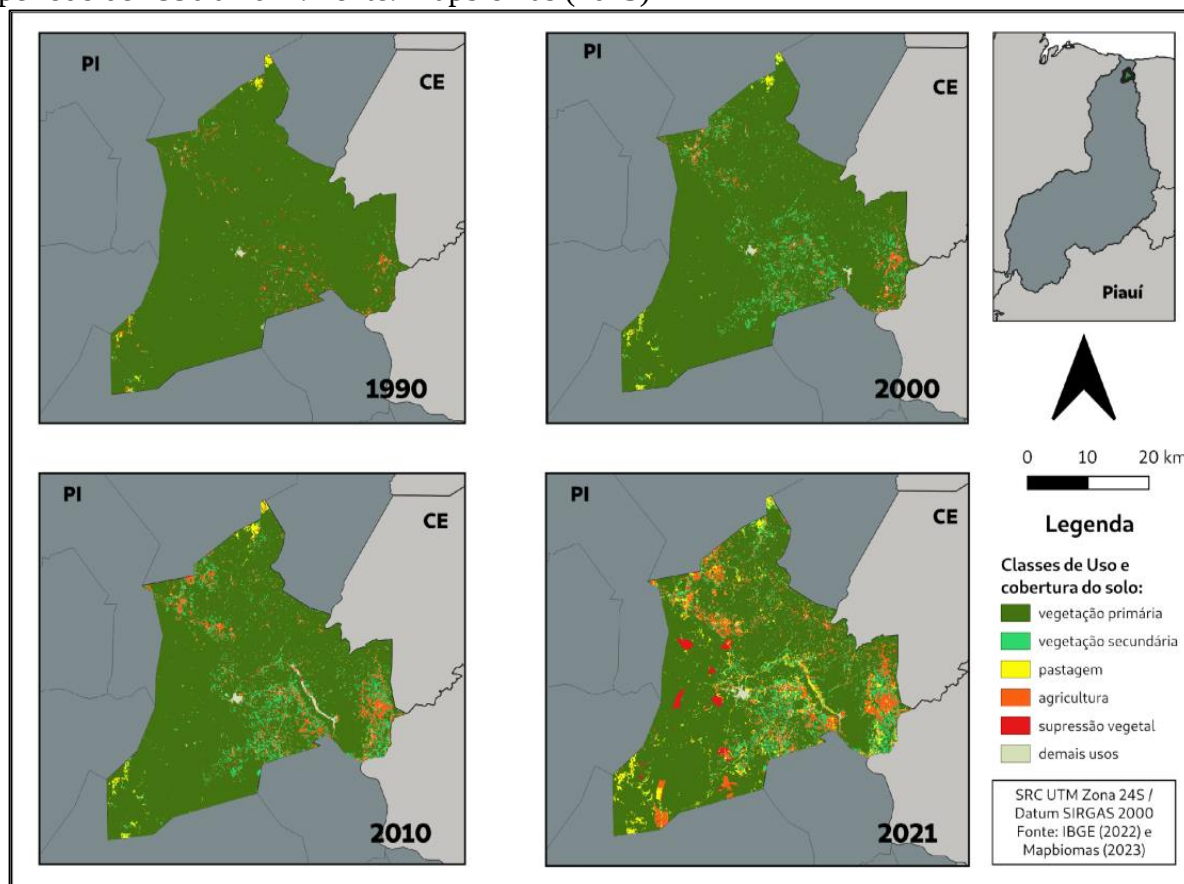
Tabela 6 - Métricas de paisagem da vegetação secundária do município de Cocal-PI no período de 1990 a 2021. Fonte: Mapbiomas (2023)

Ano	Fragmentos				% ¹
	Nº de unidades	Área média (ha)	Maior área (ha)	Área Total (ha)	
1990	1.198,00	0,65	17,82	773,37	0,6
2000	3.346,00	1,53	61,56	5131,71	4,0
2010	4.630,00	1,56	111,87	7203,78	5,9
2021	6.201,00	1,37	269,73	8490,87	7,6

LEGENDA: ¹Proporção da vegetação secundária dentro da vegetação total

Nos mapas da Figura 2 é possível visualizar a evolução tanto de áreas de vegetação secundária como das demais atividades antrópicas em Cocal. A literatura reporta que junto à expansão da agropecuária, outras atividades também contribuem para degradação ambiental, como supressão de mata ciliar, queimadas, extração vegetal para produção de carvão e exploração mineral e pastoril, comumente relacionadas a solo exposto, processos erosivos e assoreamentos de cursos hídricos (OLIVEIRA; AQUINO, 2020; OLIVEIRA JUNIOR, 2022).

Figura 2 - Métricas de desmatamento e vegetação secundária no município de Cocal-PI, no período de 1990 a 2021. Fonte: Mapbiomas (2023)



Para a Caatinga, Antongiovanni et al (2020) ao estimar o potencial efeito crônico de perturbação encontraram significativa correlação com seguintes vetores antropogênicos: infraestrutura, população humana, exploração madeireira e pastoreio. Quanto ao vetor população humana, ressaltaram a degradação crônica do bioma gerada pelo corte seletivo de espécies vegetais, criação de gado extensiva e caça. Essas atividades são exercidas de forma intensa e tem origem na fragilidade socioeconômica das populações residentes no bioma, dependentes total ou parcialmente dos recursos naturais.

Assim, a conversão massiva de áreas de vegetação nativa fomentada pelo setor econômico do agronegócio soma-se ao histórico de distúrbios antrópicos crônicos sofridos pela Caatinga. A conjuntura desses fatores tem repercussão na redução dos diversos serviços ecossistêmicos prestados pela Caatinga, em áreas como alimentação humana, plantas medicinais, disponibilidade de água, materiais para artesanato e fonte de energia (SANTOS et al., 2019). Destaca-se a conservação do solo e o sequestro de gás carbônico, prejudicados em função da remoção de biomassa fotossintetizante e do consequente decaimento do estoque de carbono presente no solo. A alteração da dinâmica de entrada e saída de matéria orgânica no solo, antes coberto pelas matas nativas, promove profundas alterações que dificultam

processos de regeneração e são agravadas por atividades antrópicas como a pecuária e agricultura (SOUZA et al., 2019a; SILVA et al., 2022).

Diante desse panorama, na promoção de um desenvolvimento sustentável para municípios como Cocal, onde a expansão agrícola está em ascensão, dentre outras medidas, considera-se primordial um planejamento ambiental que norteie a implantação de atividades econômicas. Nesse sentido, relata-se como agravante a ausência de zoneamento ecológico-econômico da APA Serra da Ibiapaba, onde está inserido o município de Cocal, instrumento preconizado pela Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981). Ainda com base nesse dispositivo legal, ressalta-se a importância dos sistemas agroflorestais como tecnologia produtiva a ser incentivada pelas políticas governamentais.

4 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados de uso e ocupação do solo do município de Cocal-PI confirmou-se uma tendência de supressão de áreas de vegetação nativa em razão da expansão do agronegócio nas últimas décadas, especialmente a partir do ano de 2010. Da recente introdução de lavouras temporárias, principalmente a soja, vislumbra-se um potencial avanço espacial que merece atenção do ponto de vista ambiental.

Embora os grandes fragmentos de remanescentes de Caatinga ainda sejam predominantes na paisagem, as métricas de ecologia da paisagem evidenciam uma progressiva fragmentação florestal relacionada à crescente perturbação antrópica.

Em razão do quadro de degradação de remanescentes de Caatinga, constata-se a necessidade da implementação de instrumentos de planejamento ambiental por parte do poder público, a exemplo do zoneamento ecológico-econômico da APA da Serra da Ibiapaba, de forma a compatibilizar efetivamente as atividades econômicas com a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C.R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, p.1353–1367, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10980-018-0672-6>>. Acesso em: 25 out. 2023.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 01 out. 2023.
- BRASIL. Decreto de 26 de novembro de 1996. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Serra da Ibiapaba, nos Estados do Piauí e Ceará, e dá outras providências. 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1996/dnn4781.htm>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, mg, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.871-880, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500012>. Acesso em: 01 out. 2023
- CEPRO. **Diagnóstico socioeconômico – Município – Cocal**. 2012. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/download/201309/CEPRO27_2e82538ab0.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.
- CERQUEIRA, E. E; GOMES, J. M. A. Expansão agropecuária e dinâmicas de uso e cobertura do solo no Piauí. **Geo UERJ**, n. 42, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.69241>>. Acesso em: 18 out. 2023.
- FERNANDES, M. M.; LIMA, A. H. S.; WANDERLEY, L. L.; FERNANDES, M. R. DE M.; FILHO, R. N. A.. Fragmentação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil. **Ciência Florestal**, 32(3), 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509845253>>. Acesso em: 30 out. 2023.
- FREDERICO, S.; MORAL, Y. P. Sistema agroflorestal e autonomia: uma revisão sistemática / Agroforestry system and autonomy: a systematic review. **Revista NERA**, v. 25, n. 63. Disponível em: < <https://doi.org/10.47946/rnera.v25i63.8968>>. Acesso em: 29 out. 2022.
- IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil – 1:250000**. 2019. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomass/documentos/Sintese_Descricao_Biomass.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.
- IBGE. **IBGE Cidades: Cocal**. 2023. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/cocal/panorama>>. Acesso em: 28.10.2023.
- IBGE. **IBGE retrata cobertura natural dos biomas do país de 2000 a 2018**. 2020. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28943-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018>>. Acessado em: 28.10.2023.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/cocal/pesquisa/14/10193?tipo=ranking>>. Acesso em: 20 out. 2023

JACOMINE, P.K.T. et al.. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Piauí**. Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986. 782 p ilustr. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336097/levantamento-exploratorio-reconhecimento-de-solos-do-estado-do-piaui>. Acesso: 10 set. 2023.

JUNG, M. LecoS – A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18-21, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>>. Acesso em: 15 out. 2023

LUTHER, D. A.; COOPER, W. J.; WOLFE, J. D.; BIERREGAARD, R. O.; GONZALEZ, A.; LOVEJOY, T. E. Tropical forest fragmentation and isolation: Is community decay a random process? **Global Ecology and Conservation**, v. 23, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01168>>. Acesso em: 29 out.. 2023.

MANDAL, M.; CHATTERJEE, N. Forest landscape and its ecological quality: a stepwise spatiotemporal evaluation through patch-matrix model in Jhargram District, West Bengal State, India. **Regional Sustainability**, v. 2, p. 164-176, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.regsus.2021.06.002>>. Acesso em 21 set. 2023.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v.1, n.12, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>>. Acesso em: 15 set. 2023.

MORAES, M. V. A. R. Análise geoambiental da região litorânea da divisa dos estados do Piauí e Ceará. **Regne**. v. 2. número especial. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10567>>. Acesso em: 05 out. 2023

NASCIMENTO, H.; LAURANCE, W. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 183-192, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200008>. Acesso em 15 set. 2023

NEVES, C.E.; SILVA, G.M.F. Dinâmica da paisagem em 10 municípios do cerrado piauiense entre 1991, 2001 e 2010 através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, v.10, n.4. 2014. Disponível em: <<https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1417>>. Acesso em: 10 set. 2023

OLIVEIRA JUNIOR, I. Fragmentos vegetais da caatinga e métricas de paisagem: uma abordagem no contexto do processo de desertificação. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 16, n. 41, maio./ago. 2022. p. 280-308. Disponível em: < <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v16i41.6636> >. Acesso: 06 out. 2023.

OLIVEIRA, L. N. de; AQUINO, C. M. S. Dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do matopiba: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí.

Revista Equador (UFPI), v. 9, n. 1, 2020. Disponível em:
<<https://doi.org/10.26694/equador.v9i1.9461>>. Acesso em: 02 out. 2023

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G. da; SANTOS, A. R. dos; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200007>>. Acesso em: 25.set. 2023.

PEREIRA, L. I.; PAULI, L. O processo de estrangeirização da terra e expansão do agronegócio na região do Matopiba / The process of land grabbing and expansion of agribusiness in Matopiba. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, v. 11, n. 23. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/RCT112307>>. Acessado em: 01 out. 2023.

PROCOPIO, S. de O.; CRUZ, M. A. S.; ALMEIDA, M. R. M. de; JESUS JUNIOR, L. A. de NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; CARVALHO, H. W. L. de. **Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. Documentos, 221. ISSN:1678-1953. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1115857>>. Acesso em: 29 out. 2023.

ROCHA, J. V. V.; VIEIRA, V. C. B.; SILVA, A. J. Análise espaço-temporal da expansão do cultivo da soja em Uruçuí - Piauí. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29174>>. Acesso em: 15 out. 2023

SÁ, I. B.; SILVA FILHO, A. A. PINTO, C. A. M. Fatores abióticos: áreas e ações prioritárias para a conservação da caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/154283/1/Caatinga.pdf>>. Acessado em: 01 out. 2023.

SILVA, A. C. F.; FREIRE, F. J.; BORGES, C. H. A.; ARAÚJO, E. C. G.; SANTANA, G. M.; CUNHA NETO, E. M.; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono em espécies florestais da Caatinga. **Ciência Florestal**. 2022, v.32, n. 1, p. 71-85. 15p. Disponível em:
<https://doi.org/10.5902/1980509842456>. Acesso em: 5 out. 2023.

SOUZA, B. V.; SOU2)TO, P. C.; SOUTO, J. S.; SALES, F. D.; JUNIOR, C. M. Carbon in soil in different phisionomies of caatinga in Paraíba, Brazil. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 287-296, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpb.v49i2.57579>. Acesso em: 11 out. 2023

SOUZA, D. G.; SFAIR, J. C.; PAULA, A. S.; BARROS, M. F.; RITO, K. F.; TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 57-65, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.042>>. Acessado em: 03 out. 2023