

**Análise da Fragmentação da Paisagem da Bacia Hidrográfica do
Alto São Bartolomeu como Subsídio ao
Modelo Pressão-Estado-Resposta**

**Analysis of Landscape Fragmentation of the Upper São
Bartolomeu Watershed as Subsidy Model Pressure-State-Response**

**Fernando Ramos de Oliveira¹, Glauber das Neves¹, João Paulo Sena-Souza²,
Ray Pinheiro Alves³, Éder de Souza Martins⁴, Antônio Felipe Couto Junior⁵,
Gabriela Bielefeld Nardoto⁵**

¹Universidade de Brasília (UnB), Campus de Planaltina (FUP)
Curso de Gestão Ambiental, Área Universitária n. 1, Vila Nossa Senhora de Fátima,
73.340-710 - Planaltina – DF, Brasil.
{glauber.unb, fernandoramos1}@gmail.com;

²Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro
Departamento de Geografia (GEA), Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Asa Norte, 70910-900 - Brasília – DF, Brasil.
jpsenasouza@gmail.com;

³Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro
Instituto de Biologia (IB), Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Asa Norte,
70910-900 - Brasília – DF, Brasil.
raypinheiroalves@gmail.com;

⁴Pesquisador, Embrapa Cerrados
BR 020, km 18, Rod. Brasília-Fortaleza, Planaltina, DF. Caixa
Postal 08223, CEP 73310-970.
eder.martins@embrapa.br;

⁵Universidade de Brasília (UnB), Campus de Planaltina (FUP)
Área Universitária n. 1, Vila Nossa Senhora de Fátima,
73.340-710 - Planaltina – DF, Brasil.
gbnardoto@unb.br, antoniofelipejr@gmail.com

Resumo: O objetivo do presente estudo foi mapear a cobertura da terra e analisar as métricas de fragmentação da paisagem para identificar os indicadores de pressão e estado a serem usados no Modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) para a bacia hidrográfica do alto São Bartolomeu. Esse modelo fundamenta-se em um marco conceitual que aborda os problemas ambientais segundo sua relação de causalidade. Através do histórico de uso e ocupação desta bacia e a interpretação das métricas de fragmentação da paisagem foi possível identificar os fatores de pressão e o estado atual da paisagem. As métricas de fragmentação utilizadas se dividem em: métricas de forma; borda; tamanho, densidade e área. A vegetação natural foi dividida nas formações Florestal (8,0% da área de estudo), Savânica (23,2%) e Campestre (16,4%). A cobertura antrópica foi dividida em Agropastoril (21,7%), Pivô Central (0,1%), Reflorestamento (1,2%) e Área Construída (26,9%). Os corpos d'água cobrem 2,7% da área. As métricas indicaram que a formação florestal é a mais fragmentada e com formas mais complexas entre as classes mapeadas. Já a formação savânica apresentou a maior variação em relação ao tamanho de fragmentos. A maioria dos fragmentos remanescentes de vegetação nativa encontram-se pressionados pela matriz em função do acelerado processo de ocupação do solo em seu entorno, nem sempre planejado e organizado. A análise e interpretação das métricas dentro do contexto do modelo PER geradas para a bacia do alto São Bartolomeu podem fundamentar a necessidade de uma análise integrada da paisagem para o planejamento ambiental.

Palavras-Chave: cobertura da terra, métricas da paisagem, indicadores de pressão e estado, gestão de recursos naturais

Abstract: The aim of this study was to map land cover and analyze the metrics of landscape fragmentation to identify state and pressure indicators to be used in Model Pressure-State-Response (PSR) to the upper São Bartolomeu watershed. This model is based on a conceptual framework that addresses environmental problems according to

their causality. Through the history of use and occupation of the basin and interpretation of landscape fragmentation metrics was possible to identify the push factors and the current state of the landscape. Fragmentation metrics used are divided into: form; edge; size and density; and area. The natural vegetation was divided in forestry (8.0% of the study area), savanna (23.2%) and Campestre (16.4%) formations. Anthropogenic coverage was divided into Agropastoril (21.7%), Central Pivot (0.1%), Forestry (1.2%) and Constructed Area (26.9%). Water bodies cover 2.7% of the area. The metrics indicated that the forest formation is more fragmented and have more complex forms. Already savanna types showed the greatest variation to fragment size. Most of the remaining fragments of native vegetation are pressured by the matrix due to the accelerated process of land occupation in your surroundings, not always planned and organized. The analysis and interpretation of metrics within the context of PSR model generated for the upper São Bartolomeu watershed may substantiate the need for an integrated landscape analysis for environmental planning.

Keywords: land cover, landscape metrics, indicators of pressure and state, natural resource management.

INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas têm convertido ecossistemas naturais em antrópicos na maior parte do mundo (Foley et al., 2011), promovendo mudanças imprevisíveis na paisagem (Naveh, 2001). Um dos maiores problemas ambientais da atualidade é a fragmentação da paisagem devido à ação humana. A intensidade dos modelos de produção atuais tem modificado a estrutura dos ecossistemas, bem como sua composição e funcionamento, favorecendo a formação de mosaicos de fragmentos (Southworth et al., 2004). Ainda que mudanças no uso da terra, como a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas ou urbanos, não tenham seus resultados percebidos rapidamente em relação à biodiversidade e

escassez de água, eles exercem efeitos significativos e carecem de mais pesquisas sobre o tema (Rockstrom et al., 2009).

No Brasil, o impacto das atividades humanas como a conversão do uso da terra e mudanças na cobertura vegetal em grandes áreas do Cerrado tem provocado alterações na paisagem que provavelmente estão modificando a dinâmica de seus ecossistemas (Bustamante et al., 2012), provocando modificações significativas em sua paisagem original, destacando-se o isolamento e redução de áreas remanescentes nativas, que se tornam vizinhas de áreas abertas, desencadeando o processo de fragmentação (Kapos et al., 1997).

Neste contexto, o Cerrado se destaca por ser a savana mais biodiversa e mais heterogênea do mundo (Silva et al., 2006), além de cobrir 11 unidades federativas e possuir a extensão de aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados, que equivalem a mais de um quinto da área do país, configurando-o como o segundo maior bioma brasileiro e ocupar a maior parte do Brasil Central.

O bioma Cerrado está na lista dos 25 hotspots prioritários para a conservação da natureza devido à sua importante diversidade biológica atrelada ao uso excessivo de seus recursos (Myers et al., 2000). Além disso, guarda uma grande heterogeneidade de paisagens (Ratter, et al., 1998). Por outro lado, estima-se que entre 40 e 65% da área natural do Cerrado tenha sido modificada (Sano et al., 2009), principalmente como consequência da expansão agrícola e urbana nas últimas décadas (Silva e Bates, 2002).

O aumento do valor da terra proporcionado pela construção de Brasília a partir da década de 1950 vem aumentando a fragmentação da vegetação natural. Esse processo de ocupação causa a supressão da vegetação e agrava a pressão sobre os remanescentes presentes em Unidades de Conservação. O modo como a ocupação vem ocorrendo e como os ecossistemas respondem a essas alterações

são importantes informações que devem ser considerados nos planejamentos ambientais.

De acordo com Santos (2004), na última década, a Ecologia de Paisagem vem sendo utilizada no planejamento ambiental como um caminho integrador. Isto porque ela permite aplicar procedimentos analíticos que conduzem à observação, sistematização e análise combinada dos múltiplos elementos interdependentes no ambiente. Nesse caso, a paisagem é o objeto central da análise, observada como um conjunto de unidades naturais, alteradas ou substituídas por ação humana, que compõe o mosaico. Dentro dessa linha, os planejadores buscam interpretar esse mosaico, traduzir a heterogeneidade e revelar as relações ou processos ativos na unidade, onde a compreensão dos efeitos antrópicos sobre o meio ambiente tende a ser mais explícita e as ações ou estratégias de manejo podem ser orientadas pelos elementos descritores da paisagem.

Como a Ecologia de Paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, é necessário quantificar com precisão os padrões espaciais. Uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas da paisagem” ou “índices da paisagem” (Li e Wu, 2004). Os índices são fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, pois permitem tanto criar cenários sobre o estado do meio, quanto aferir ou acompanhar os resultados de uma decisão tomada. São indicativos das mudanças e condições no ambiente e, se bem conduzidos, permitem representar a rede de causalidades presente numa determinada paisagem.

Esse tipo de abordagem deve ser inserido em modelos de planejamento que norteiam a criação de políticas públicas para a gestão do território e dos recursos naturais, levando a um entendimento entre planejadores e cientistas da paisagem (Antrop, 2001).

O modelo mais citado em planejamento é o de Pressão-Estado-Resposta (PER), desenvolvido pela *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD), publicado em 1993. Esse modelo fundamenta-se em um marco conceitual que aborda os problemas ambientais segundo sua relação de causalidade (Carvalho e Barcellos, 2009). Os indicadores ambientais desenvolvidos pelo modelo PER buscam responder a três questões básicas: o que está acontecendo com o ambiente? (Pressão); como está o ambiente? (Estado); e qual a reação da sociedade? (Resposta).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi mapear a cobertura da terra e analisar as métricas de fragmentação da paisagem para utilizar os dados como indicadores de pressão e estado no Modelo PER da bacia hidrográfica do alto São Bartolomeu.

ÁREA DE ESTUDO

Localização

O limite da bacia do alto São Bartolomeu utilizado no presente trabalho foi determinado por Sena-Souza et al., (2013a). Os autores sugerem uma compartimentação fisiográfica da bacia do rio São Bartolomeu com base em parâmetros morfométricos com o objetivo de homogeneizar as subdivisões no aspecto geomorfológico.

A área de estudo está inserida na ecorregião do Planalto Central (Arruda et al., 2008) e situa-se especificamente a porção norte da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, a maior em termos de extensão territorial no Distrito Federal (DF) (Figura 1). Possui uma área de drenagem de 1853,7 km² e envolve Regiões Administrativas importantes como Planaltina, Sobradinho, Cruzeiro, Águas Claras, Lago Norte, Lago Sul e Brasília.

Desde a chegada da nova capital Federal, instalada dentro dos limites da bacia, a área vem sofrendo mudanças significativas no ambiente natural e antrópico. A população das cidades satélites e do entorno do DF cresceu 412% somente na década de 90. Esse crescimento causa um aumento no valor da terra e estimula a especulação imobiliária. Como consequência, ocorre o aumento da malha urbana. Além disso, a produção agrícola também aumentou nas últimas décadas. As principais culturas são de milho, soja, feijão, tomate, algodão e pastagens artificiais nas áreas de relevo plano contínuo, com fruticulturas e horticulturas alojadas em terrenos menores. A bacia abriga desde agricultura de subsistência até grandes monoculturas. A agricultura de subsistência é cíclica, tal fato se deve à sazonalidade marcante da região (CPRM, Embrapa e SCO-MI, 2003).

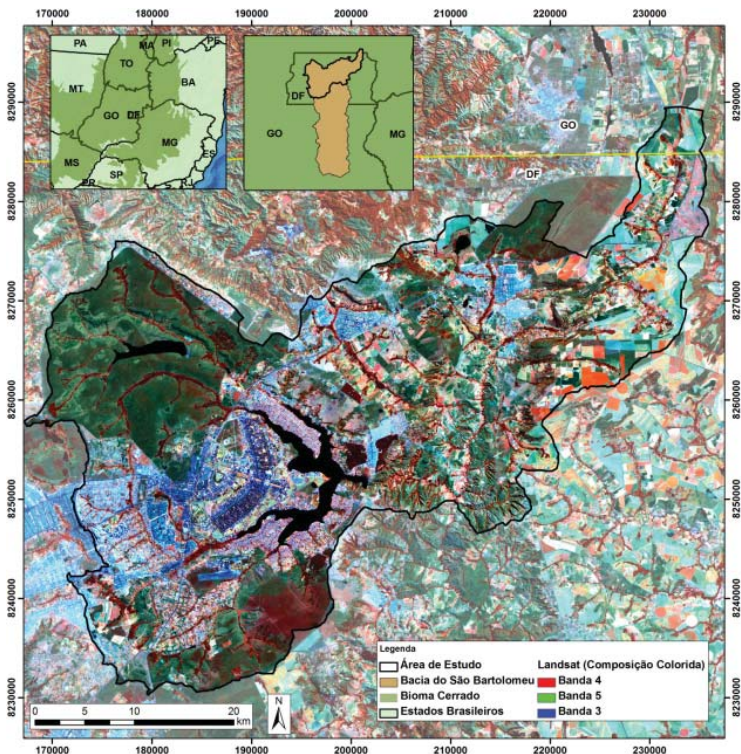


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Características da Paisagem

Segundo Ribeiro e Walter (2008), o bioma Cerrado contém diversas fitofisionomias que podem ser observadas. São elas: Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral, Vereda, Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre. Essas fitofisionomias são divididas em três tipos formações principais: formações florestais, savânicas e campestres. A bacia do alto São Bartolomeu abriga todas as formações descritas para o Cerrado.

A vegetação do Cerrado apresenta uma forte relação com os demais elementos da paisagem. No aspecto geral, as estações com padrões bem definidos determinam o domínio morfoclimático do bioma.

Segundo a classificação de Köppen, a área de estudo tem um clima tropical úmido de savana com inverno seco (Aw), de sazonalidade intensa com temperatura média anual de 21-22 °C. As chuvas são concentradas nos meses entre outubro e abril (Silva et al., 2008). A precipitação média anual é de aproximadamente 1500 mm onde os meses de junho, julho e agosto podem atingir média mensal de apenas 50 mm. Por outro lado, a média pode alcançar 320 mm de chuva no mês de janeiro.

O tipo de vegetação no Cerrado também pode ser definido pela distribuição espacial dos solos e das unidades geomorfológicas. O material de origem tem uma menor influência na área de estudo, pois os solos são muito intemperizados e antigos, guardando poucas características da rocha original. A geologia da região é formada principalmente por rochas metassedimentares dos grupos Paranoá e Canastra (Martins, et al., 2004). O primeiro apresenta conjuntos de sericitafilitos, clorita filitos, quartzo-sericita-clorita filitos, metarritmitos e filitos carbonosos. Já o grupo Paranoá é formado por porções de metarritmito arenoso nas porções mais elevadas da bacia e quartzitos médios presentes nas bordas

das Chapadas (Freitas-Silva e Campos, 1999).

O relevo apresenta padrões de Chapadas, Rampas de Colúvio, Frentes de Recuo Erosivo, e uma Depressão Dissecada (Sena-Souza et al., 2013b). As Chapadas representam as partes mais preservadas quando se trata de evolução geomorfológica. São caracterizadas por relevo plano e suave ondulado. Rampas de Colúvio são caracterizadas por relevo plano e suave ondulado com uma leve inclinação em direção às linhas de drenagens. São áreas que recebem a deposição do material erodido acima. As Frentes de Recuo Erosivo são as porções com maior grau de declividade e representam as rupturas do relevo. As partes mais baixas da área de estudo estão nas Depressões Dissecadas. Essa unidade guarda um relevo ondulado a forte-ondulado caracterizado por colinas e morretes.

Os solos da área estão diretamente relacionados com o tipo de vegetação. As principais classes são de Latossolo, Cambissolo e Solos Hidromórficos. Os Latossolos são solos muito intemperizados com alta concentração de minerais secundários: caulinita, óxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al (hematita, goethita, gibbsita) (Reatto, et al., 2004), que por sua vez são consoantes à uma vegetação savânica com árvores tortas de raízes profundas. Apesar dos baixos níveis de nutrientes, são solos muito utilizados na agricultura, pois estão associados ao relevo plano e suave-ondulado. Os latossolos de colúvio são mais produtivos por serem mais novos, podendo estar associado à formação florestal. Os Cambissolos apresentam pouca alteração físico-química nos horizontes sub-superficiais indicando um horizonte B incipiente. Apresentam maiores teores de silte e minerais primários, caracterizando pouca intemperização (Reatto, et al., 2004). Os solos hidromórficos ocorrem em ambientes de oxirredução mal drenados que formam horizonte glei, característico dos Gleissolos. São periodicamente ou permanentemente saturados em água e mostram a presença de lençol freático aflorante em grande parte do ano.

MATERIAL E MÉTODOS

Os métodos utilizados foram divididos nas seguintes etapas: 1) mapeamento da cobertura da terra mostrando o estado atual da distribuição espacial da vegetação; 2) análise da fragmentação da vegetação; 3) histórico de uso e ocupação da terra; e 4) elaboração do Modelo PER com base nos resultados das etapas anteriores.

Mapeamento da Cobertura

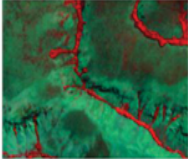
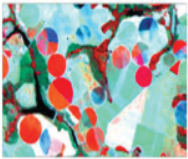

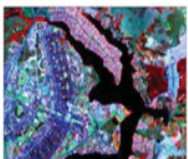
O presente trabalho foi realizado com base em imagens do sensor Landsat 5-TM adquiridas via on-line no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dgi.inpe.br/CDSR). Esses dados são produtos de uma missão que teve início no fim da década de 1960 gerenciada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *U. S. Geological Survey* (USGS). Entre os sete satélites lançados nesse período, o Landsat 5 foi o mais duradouro sendo lançado em 1984 e fornecendo dados até 2012. Os dados deste trabalho foram gerados pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do Landsat 5. O sensor TM opera com 7 bandas, sendo três na região do visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no termal. Tem resolução espacial de 30 m (com exceção da banda 6, de 120 m) e temporal de 16 dias e radiométrica de 8 bits.

Foram utilizadas imagens da órbita 221 ponto 071 referentes aos dias 08/07/2011. As imagens correspondem ao período seco para diminuir a influência de nuvens e a influencia da chuva na vegetação do Cerrado.

Esta imagem foi registrada tendo como referência o mosaico da imagem *Geocover Landsat* referente ao dia 31/05/2006 de mesmo ponto/órbita, também disponibilizada sem custos através do endereço eletrônico www.landcover.org.

As bandas do Landsat foram sobrepostas em uma composição colorida RGB que permite uma melhor visualização das classes de cobertura. Para este trabalho, a Banda 4 ficou no canal do vermelho, a Banda 5 no verde e a Banda 3 no azul. Essa configuração destaca a vegetação com maior presença de água, facilitando a interpretação visual. O Quadro 1 apresenta os padrões identificados no mapeamento.

Quadro 1: Chave para o mapeamento da cobertura da terra utilizando composição colorida com as bandas do Landsat 5 (R - Banda 4; G - Banda 5; B - Banda 3).

Classes de Cobertura da Terra Identificadas	Características	Padrão de cor, textura e forma na composição colorida
Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre	A Formação Florestal é representada pelas áreas em vermelho em formato linear, essa colocação é devido à sua radiação fotossinteticamente ativa. As áreas em tonalidade de verde mais escuro e com textura mais rugosa representam a Formação Savânica e as áreas com um tom de verde mais claro a Formação Campestre.	
Agropastoril e Pivô Central	As áreas agropastoris são representadas por uma textura lisa, formas lineares e coloração variando entre o branco (solo exposto) e o verde (cobertura vegetal plantada). As formas circulares representam os Pivôs Centrais, que podem possuir coloração branca (solo exposto), variações de tonalidades de azul (solo coberto por palhada) ou vermelho (cobertura vegetal plantada).	
Reflorestamento, Formação Campestre e Formação Florestal	As áreas reflorestadas são representadas por uma coloração vermelha, textura lisa e formas geométricas bem estabelecidas. Na imagem, é possível observar uma área de reflorestamento com entorno de vegetação natural.	
Área Construída e Corpos d'Água	Os Corpos d'Água são representados por cor preta, devido à baixa reflectância. As Áreas Construídas são representadas por uma coloração que tende ao azul (áreas mais consolidadas) e ao rosa (áreas em processo de consolidação).	

Foi realizada vetorização digital em tela, considerando os padrões de cor, textura e forma identificados na imagem. A partir da vetorização em tela, foi realizada a classificação da cobertura da terra, dividida em dois níveis categóricos (Tabela 1).

Tabela 1: Níveis categóricos determinados para a identificação das classes de cobertura da terra.

<i>Nível 1</i>	<i>Nível 2</i>
Natural	Formação Florestal
	Formação Savânica
	Formação Campestre
Antrópico	Agropastoril
	Área Construída
	Reflorestamento
	Pivô Central
Corpos d'Água	Corpos d'Água

Análise da Fragmentação da Vegetação Natural

As classes de vegetação mapeadas foram transformadas em dados vetoriais e inseridas na extensão *Patch Analyst* do *software* ArcGis 9.3. Esta extensão é uma adaptação do *software* FRAGSTATS para análise espacial de fragmentos da paisagem que calcula métricas dos polígonos mapeados conforme a sua: área; densidade, tamanho e variabilidade; borda; e forma (McGarigal e Marks, 1994). O cálculo dessas métricas são mais utilizadas em estudos de ecologia da paisagem e biogeografia (Kupfer, 2012; Mattos et al., 2003), como estudos de fragmentos florestais (Santana et al., 2009; Guimarães et al., 2010; Bezerra et al., 2011; Machado et al., 2012).

As métricas são indicadores de fragmentação, que permitem compreender como a área de estudo fragmentada é, e qual é a viabilidade dos fragmentos

encontrados para permanecer na paisagem. A Tabela 1 mostra as métricas utilizadas no presente estudo e o seu significado.

Tabela 2: Fragmentação da Vegetação Natural.

Métrica (unidade)	Sigla em Inglês	Definição
<i>Métricas de Área</i>		
Área da Classe (ha)	CA	Área de todos os fragmentos de cada classe
<i>Métricas de Densidade, Tamanho e Variabilidade</i>		
Número de Fragmentos	NumP	Número total de fragmentos
Média de Tamanho dos Fragmentos (ha)	MPS	Média aritmética do tamanho de todos os fragmentos de cada classe
Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos (ha)	PSSD	Desvio padrão de todos os tamanhos de fragmentos de cada classe
<i>Métricas de Borda</i>		
Total de Bordas da Paisagem (m)	TE	Extensão total das bordas da paisagem
Densidade das Bordas (m/ha)	ED	Densidade do total de bordas de cada classe em relação a área total
<i>Métricas de Forma</i>		
Índice de Forma	MSI	Média das formas dos fragmentos da paisagem
Índice Média de Forma	AWMSI	Média ponderada das classes pela área total

As métricas de densidade, tamanho e variabilidade representam o número de fragmentos presentes em cada classe e a média de tamanho destes fragmentos. As métricas de borda apresentam valores referentes à extensão dos efeitos de borda da paisagem. E por fim, as métricas de forma indicam a complexidade das formas dos fragmentos, variando entre pouco complexas e muito complexas.

Histórico de uso e ocupação das terras na Bacia do Rio São Bartolomeu

Tendo em foco a identificação de fatores de pressão antropogênica, foi realizada uma busca por trabalhos que registrassem o histórico de uso e ocupação da Bacia do rio São Bartolomeu nas bases de dados científicas (*Web of Science*, *SciELO*, *Google Scholar*, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações - BDTD).

O histórico de uso e ocupação da área em estudo foi baseado em dados secundários, sendo o trabalho de Ferreira (2006) a fonte principal. Neste estudo foi realizada a avaliação multitemporal do uso e ocupação de terras na Bacia do rio São Bartolomeu mediante utilização de técnicas de geoprocessamento aplicadas a uma série histórica de imagens de satélite, compreendendo os anos de 1984, 1992 e 2003. A área selecionada foi a porção setentrional da Bacia do Rio São Bartolomeu, que abrange as microbacias dos córregos Mestre D'armas e Pípiripau, inseridas na região do alto curso do rio São Bartolomeu. Essa área foi considerada representativa das ocupações rurais e urbanas do DF, pois apresentam atividades agrícolas diversificadas e uma intensa expansão da área urbana.

Modelo PER

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) foi inicialmente desenvolvido pela OECD para estruturar políticas ambientais. Para isso considera: atividades humanas exercem pressão no ambiente e afetam a qualidade e quantidade

de recursos naturais (estado); A sociedade reage a essas mudanças através de políticas ambientais, econômicas e setoriais e através de mudanças de conscientização e comportamento (resposta social) (Figura 2).

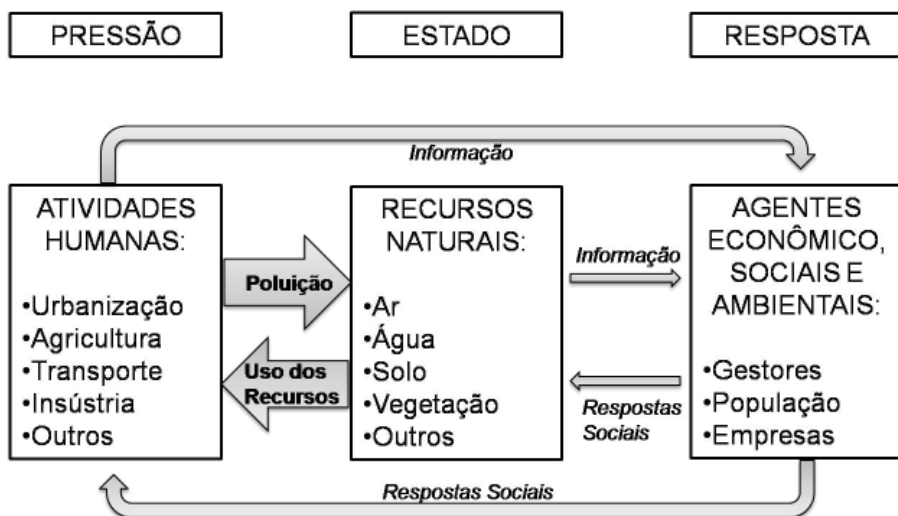


Figura 2 - Modelo Pressão-Estado-Resposta. (Fonte: OECD, 1993)

Para desenvolver o modelo PER é necessário criar indicadores, através de parâmetros avaliados previamente tanto das condições ambientais, quanto das pressões e respostas. As principais funções dos indicadores são: avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos; comparar lugares e situações; avaliar de condições e tendências; prover informações de advertência; antecipar futuras condições e tendências (Bellen, 2006). Para tal, os indicadores devem: ser simples de usar e fáceis de serem entendidos; ter facilidade de coleta e custo viável; sendo então úteis como ferramentas de gestão.

O modelo PER destaca as relações de causa e efeito e auxilia tomada de decisão em políticas ambientais e econômicas. Proporciona um modo de sistematização

e seleção de indicadores (ou estado das respostas ambientais) de forma útil para os tomadores de decisão (governo, empresas e sociedade), por oferecer vantagem didática à sua compreensão. Além disso, apresenta neutralidade, pois exprime que as relações de causalidade existem e a interpretação dos impactos negativos ou positivos caberão aos analistas. Este modelo, foi desenvolvido para estruturar políticas ambientais e parte do princípio de que o estado dos recursos naturais sofrem uma alta pressão quantitativa e qualitativa das atividades humanas, que por sua vez necessita destes recursos para sua manutenção. Ao passo que os agentes econômicos, sociais e ambientais geram ou detêm pouco fluxo de informação a respeito dos recursos naturais que subsidiem respostas aos planejamentos setoriais para as atividades humanas que possam culminar nas mudanças de conscientização e comportamento. O modelo pode ser ajustado para obtenção de maiores detalhes acerca de determinada questão em uma perspectiva abrangente ou para características específicas, como exemplo pode-se citar as versões “Força Motriz- Estado-Resposta” (DSR) e “Força Motriz-Pressão-Impacto-Resposta” (DPSIR) (OECD, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia utilizada no mapeamento da cobertura possibilitou a identificação de seis classes considerando o segundo nível categórico, de acordo com Ribeiro e Walter (2008). A vegetação natural foi dividida nas formações Florestal (com 7,97% da área de estudo), Savânica (23,2%) e Campestre (16,38%), o que representa 47,55% da área total da bacia. A cobertura antrópica, dividida em área de uso Agropastoril (21,66%), Pivô Central (0,07%), Reflorestamento (1,18%) e Área Construída (26,85%) representa 49,76%. Os corpos d'água cobrem 2,69% da área (Figura 3).

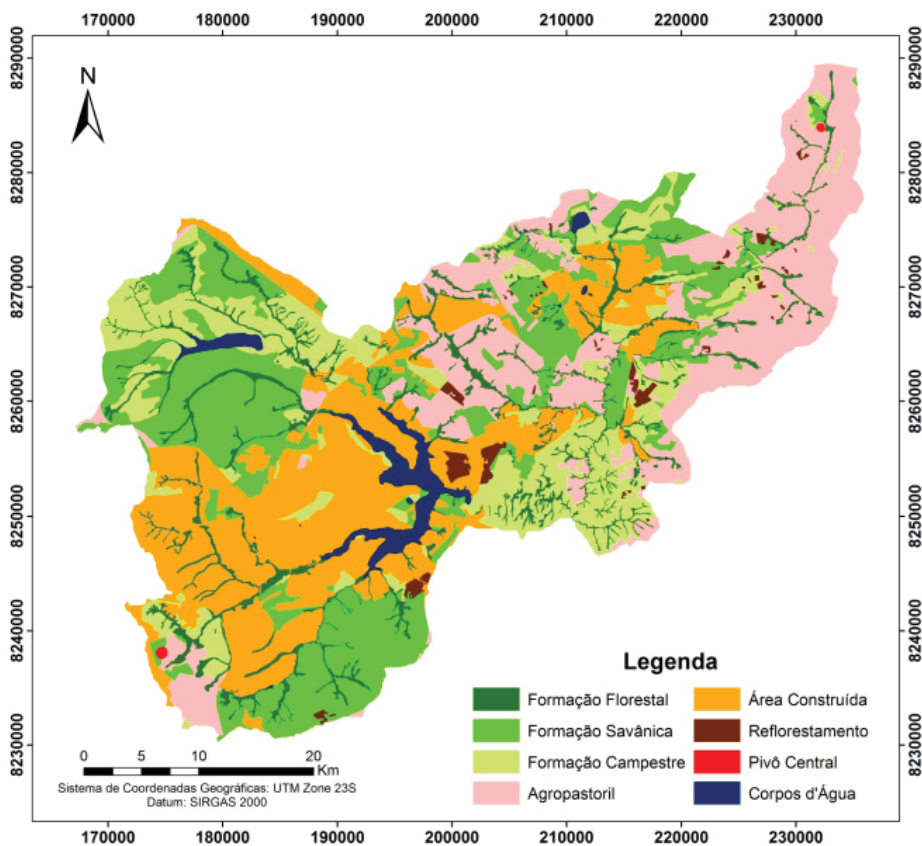


Figura 3 - Mapa da cobertura da terra da bacia do alto São Bartolomeu.

Esses valores e a distribuição espacial observada no mapa permitiram definir a matriz e os fragmentos da paisagem. Neste contexto, as áreas antrópicas são mais contínuas, caracterizando a matriz. Por outro lado, as formações naturais estão concentradas em áreas isoladas dentro das UCs, constituindo fragmentos da paisagem.

Grandes manchas de vegetação natural são visíveis espalhadas pela área de estudo. Estão Inseridas nas UCs do Parque Nacional de Brasília, da Estação

Ecológica de Águas Emendadas e no Jardim Botânico de Brasília. Também é possível observar o padrão linear da Formação Florestal, representada principalmente pelas Matas de Galeria. Nota-se que as áreas de uso Agropastoril e as Áreas Construídas circundam os fragmentos, exercendo pressão sobre as áreas naturais.

A análise dos valores gerados de fragmentação da paisagem, apresentados na Tabela 3, permitiu a avaliação das condições dos fragmentos em relação a distribuição espacial e função no ecossistema. Assim como o mapa da cobertura da terra, esses resultados representam o estado que se encontra a paisagem e será inserido no modelo PER.

Tabela 3: Estado de Fragmentação da vegetação natural da bacia do Alto São Bartolomeu.

	Formação Savânica	Formação Campestre	Formação Florestal
<i>Métricas de Forma</i>			
AWMSI	3,92553	4,48035	6,44058
MSI	1,91913	2,01329	3,40532
<i>Métricas de Borda</i>			
TE (m)	1171719,2	1179289,86	1962431,67
ED (m/ha)	0,00063	0,00064	0,00106
<i>Métricas de Tamanho e Densidade</i>			
MPS (ha)	5575723,3	3743263,05	1048434,48
NumP	77	81	141
PSSD (%)	304,67	251,7	181,95
<i>Área</i>			
CA (ha)	429330696	303204307	147829261,2

Os índices de Forma (MSI e AWMSI) podem indicar a vulnerabilidade dos fragmentos frente aos fatores externos. Apresentam o grau de complexidade do

fragmento em relação a uma circunferência perfeita. O valor do círculo seria um, portanto, quanto mais próximo desse valor se encontra o fragmento, menor é a complexidade da forma (Pires, 1995).

A Formação Florestal apresentou os maiores valores de métricas de forma. Isso se deve ao padrão alongado e linear dessa formação, que é representada preferencialmente por Matas Ciliares e de Galeria. Portanto, a complexidade e o padrão alongado estão relacionados aos cursos d'água. Esse Índice confirma a importância da Formação Florestal para a proteção da qualidade da água, na atenuação de cheias e vazantes, na redução da erosão superficial e na manutenção de canais pela proteção de margens e redução do assoreamento. Além disso, o padrão linear favorece a manutenção dessa formação como corredor ecológico, com a função de manter o fluxo gênico entre os fragmentos maiores, ajudando a manter a biodiversidade. Por outro lado, é possível relacionar esses valores com a fragilidade desses ecossistemas, uma vez que, quanto maior a complexidade, maior é a exposição do fragmento aos fatores externos.

As formações Savânica e Campestre são menos complexas por estarem principalmente no interior das UCs. Os limites das UCs são regulares e arredondados. Com isso, o índice de forma evidencia a pressão que esses fragmentos sofrem, já que a expansão do uso da terra para na fronteira final das UCs, aumentando o efeito de borda na vegetação. O efeito de borda pode ser entendido como alterações nas condições ecológicas decorrentes da interação da paisagem. Na medida em que os fragmentos se tornam menores e com forma mais irregular, também se tornam crescentemente dominados pelos habitats de borda (Castro, 2008).

As métricas de Borda também estão relacionadas com o efeito de borda, já que apresentam a relação perímetro/área do fragmento. O Total de bordas (TE) e a Densidade das Bordas (ED) mostram a possibilidade de fragmentação

de uma determinada paisagem. A Formação Florestal também apresenta os maiores valores nesse quesito. Devido à essa característica, a formação pode ser facilmente fragmentada.

A Formação Florestal apresenta o maior número de fragmentos, porém, com menor tamanho médio entre eles. Pelas características de forma dessa classe, teria que apresentar um número menor de fragmentos, proporcionando uma continuidade que permite a formação de corredores ecológicos. A quantidade elevada de fragmentos está relacionada com as métricas de forma e borda, que apresentam uma facilidade maior dessa classe em formar fragmentos. Esses valores mostram que a Formação florestal recebe atenção dos planejadores, pois sofrem maior pressão externa.

A Formação Campestre apresentou 81 fragmentos. Os campos estão associados à áreas com maior fragilidade ambiental, como solos pouco profundos ou hidromórficos. Grande parte da sua fragmentação é natural e seus fragmentos são intercalados com fragmentos de formação savânica dentro das UCs. Essas áreas sofrem com o efeito de borda, principalmente com a entrada de espécies exóticas de plantas rasteiras.

A formação campestre apresenta o segundo maior coeficiente de variação de fragmento (251,70%) indicando uma grande variabilidade no tamanho de seus fragmentos que ocorrem de maneira esparsa na área da sub-bacia. McGarigal et al. (2002) observa que o tamanho médio dos fragmentos (MPS) é considerado bom indicativo do grau de fragmentação, por ser função do número de fragmentos e da área total ocupada pela classe. Dessa forma, paisagens que apresentam menores valores para tamanho médio de fragmento devem ser consideradas como mais fragmentadas. Isso reforça o fato de que a formação florestal é a classe mais vulnerável e a situação menos crítica é a da formação savânica.

A presença de áreas nucleares de extensão significativa como o Parque Nacional de Brasília e a Estação Ecológica de Águas Emendadas, ambas predominantemente compostas por formação savânica, contribuiu para que essa classe se apresentasse como a mais regular e com o maior valor médio de área por fragmento. Entretanto, a formação savânica foi a que apresentou o maior valor de coeficiente de variação de tamanho de fragmento (PSSD) entre as classes, indicando manchas com valores de área muito acima e/ou muito abaixo do valor médio. Essa métrica mostra que apesar da Formação Savânica estar bem representada na área de estudo, ela deve ser considerada em trabalhos para a manutenção da vegetação. Isso porque diversos fragmentos estão sofrendo pressão e correm o risco de desaparecer.

Tendo em vista o histórico de uso e ocupação, Ferreira (2006) observou que a região está submetida a diversos tipos de pressões antrópicas, mas principalmente pela ampliação constante da ocupação urbana a partir da ampliação da região de Sobradinho, seja pela construção de barragens, com consequente destruição da paisagem natural. Já no alto curso do Ribeirão Pipiripau há forte pressão de ocupação para uso agrícola, entretanto sugere-se que tal região não seja ocupada uma vez que é uma importante zona de recarga dos aquíferos (ZEE-DF, 2011).

Outro ponto importante a destacar é que as UCs, apesar de serem os locais mais conservados dessa região, apresentam-se pressionadas pela matriz em função do acelerado e irregular processo de ocupação de seu entorno. No Parque Nacional de Brasília a situação é alarmante devido às irregularidades encontradas na sua zona de amortecimento, estabelecida com a finalidade de filtrar os impactos das atividades externas a ela (Miller, 1997).

Diante deste cenário as principais pressões antrópicas identificadas na bacia do alto curso do Rio São Bartolomeu foram: supressão e substituição da vegetação nativa por outros usos, fragmentação de habitats e ocupação irregular

das zonas de amortecimento das UCs.

O mapeamento da cobertura da paisagem se mostrou uma eficiente metodologia para apresentar os indicadores do estado da vegetação (recurso natural) e suas respectivas fitofisionomias, além de identificar os diferentes tipos de uso da terra que constituem a pressão, como as áreas de uso Agropastoril e Construídas que circundam os fragmentos. As métricas de fragmentação da paisagem, apresentaram valores pertinentes ao estado da vegetação, indicando quão vulneráveis às pressões (fatores externos) estes recursos naturais estão.

Desta forma, as atividades humanas foram caracterizadas pela área construída, pivô central, agropastoril e reflorestamento. Identificou-se o estado dos recursos naturais através da classificação das formações da vegetação e suas respectivas vulnerabilidades de acordo com as métricas de fragmentação.

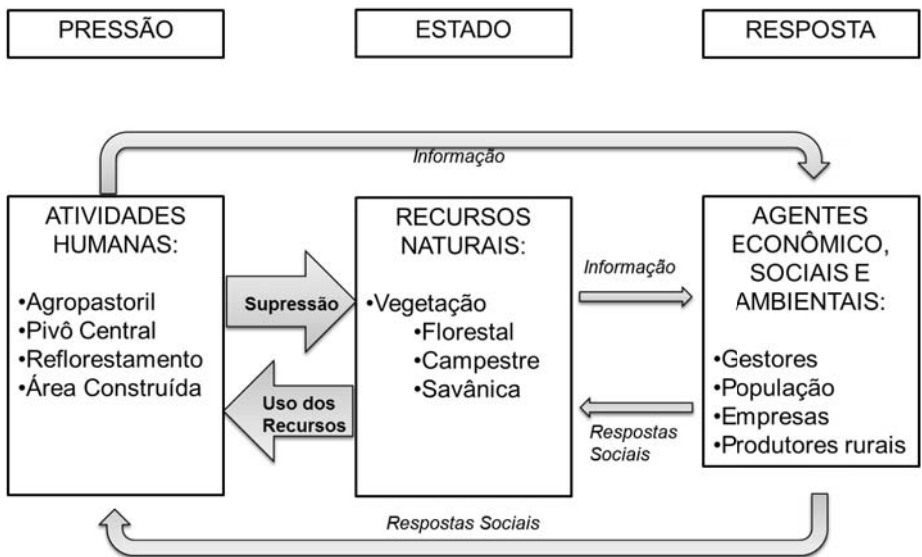


Figura 4 - Modelo Pressão-Estado-Resposta com subsídio do mapeamento da cobertura e fragmentação da paisagem.

CONCLUSÕES

Através do histórico de uso e ocupação desta bacia e a interpretação das métricas de fragmentação da paisagem foi possível identificar os fatores de pressão e o estado atual da paisagem. Essa análise e interpretação das métricas dentro do contexto do modelo PER geradas para a bacia do alto São Bartolomeu podem fundamentar a necessidade de uma análise integrada da paisagem para o planejamento ambiental.

A utilização do mapeamento de cobertura e as métricas de fragmentação da paisagem permitiram a geração de indicadores das atividades humanas e o estado dos recursos naturais, trazendo informações com potencial de empoderamento dos agentes econômicos, sociais e ambientais com viabilidade de coleta de informações e baixo custo.

A utilização de sensores orbitais para o mapeamento pedológico e geomorfológico poderá contribuir para apresentar outros indicadores de estado em trabalhos futuros e juntamente à análise multitemporal de dados orbitais obter uma taxa da pressão das atividades humanas sobre os recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTROP, M. The language of landscape ecologist and planners: A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology. **Landscape and Urban Planning**. v. 55, p. 163-177, 2001.
- ARRUDA, M. B.; PROENÇA, C. E. B.; RODRIGUES, S. C.; CAMPOS, R. N.; MARTINS, RENATA C.; MARTINS, E. S..Ecorregiões, Unidades de Conservação e Representatividade Ecológica do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. [S.l.]: Embrapa, v. 1. Cap. 8, p. 229-270. 2008.

- BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora FGV. 2006. 256 p.
- BEZERRA, C. G.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; PIMENTEL, L. B.; EUGÊNIO, F. C. Estudo da fragmentação florestal e ecológica da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. **Espaço & Geografia**, v. 14, n. 2, p. 257-277, 2011.
- BRASIL. Lei Federal 9433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política nacional de recursos hídricos [OnLine] <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 01 nov. 2012.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B. ; PINTO, A. S. ; Rezende, J. C. F. ; TAKAHASHI, F. S. C. ; VIEIRA, L. C. G. 2012. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology** 72:655-671.
- CASTRO, D. M. Efeito de borda em ecossistemas tropicais: síntese bibliográfica e estudo de caso em fragmento de cerrado, na região nordeste do estado de São Paulo. 171 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- CPRM; EMBRAPA; SCO-MI. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. Fase I. CPRM / EMBRAPA / SCO-MI. Rio de Janeiro. 2003.
- FERREIRA, C. S. **Avaliação temporal do uso e ocupação das terras na Bacia do São Bartolomeu, DF**. 2006. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UnB, Brasília – DF, 2006.
- FOLEY, J.A, RAMANKUTTY, N., BRAUMAN, K. A., EMILY S. CASSIDY, E.S., GERBER, J.S., JOHNSTON, M., MUELLER, N. D., O'CONNELL1, C., RAY, D. K., WEST, P.C., BALZER, C., M. BENNETT, E.M., CARPENTER, S. R., JASON HILL1, J., MONFREDA, C., POLASKY, S., ROCKSTRÖM, J., SHEEHAN, J.,

- SIEBERT, S., TILMAN, D., ZAKS, D.P.M. Solutions for a cultivated planet, **Nature**, Vol 478, p. 337-342, 2011.
- FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA; SEMATEC; UNB **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal**. Brasília: IEMA; SEMATEC; UnB, v. 1, 1998. p. 45.
- GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. Forest fragments distribution as related to geomorphological parameters. **Revista Brasileira de Cartografia**. Edição Especial, n. 62, p.373-384, 2010.
- KAPOS, V., WANDELLI, E., CAMARGO, J. L. & GANADE, G., 1997. Edge-related changes in environment and plant responses due to Forest fragmentation in Central Amazonia. In: LAURANCE, W. F. e BIERREGAARD, R. O. **Tropical Forest remnants: Ecology, management, and conservation of fragmented communities** (eds.). Chicago University Press, New York, p.33-44.
- KUPFER, J. A. Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. **Progress in Physical Geography**, v.36, n. 3, p.400-420, 2012.
- LAMBIN, E.; GEIST, H.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover changes in tropical regions. **Annual Review of Environment Resources**, 28, 2003. 205-241.
- LI, H.; WU, J. Use and misuse of landscape indices. **Landscape Ecology**. v. 19, n.4, p.389-399, 2004.
- MACHADO, W. P.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N.; SODRÉ, R. V. R.; CHAVES, T. A. Identificação de padrões de vegetação e análise dos fragmentos florestais a partir do processamento digital de imagens e análise morfométrica em imagens ASTER no município de Cromínia-GO. **Espaço & Geografia**, v. 15, n. 1, p. 299-263, 2012.

- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil. Documentos. **Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF, p. 33. 2004.
- MATTOS, J. C. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Ecologia da paisagem voltada para o manejo de avifauna. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 2, p. 89-114, 2003.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. FRAGSTATS – Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Version 2.0. **Forest Science Department**, Oregon State University, Corvallis, USA. 1994.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagem?. **Biota Neotrópica**, v. 1, n. 1 e 2, p. 1-9, 2001.
- MILLER, K. R. Evolução do Conceito de Áreas de Proteção – Oportunidades para o século XXI. In: **I Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**, Curitiba, 1997. UNILIVRE. 1997. v. 1, p. 3 – 21.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, vol. 403, p. 853-858, 2000.
- NAVEH, Z. Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes. **Landscape and urban planning**, n. 57, p. 269-284, 2001.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Core set of indicators for environmental performance reviews**: a synthesis report by the Group on the State of the Environment. Paris: OECD, 1993. (Environmental monographs n. 83).
- OECD. **Environmental Indicators** – Development, measurement and use. Paris, p. 37, 2003.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO

- JUNIOR, O. A.. Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Documentos **Embrapa Cerrados**, 2004. 29.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. [S.l.]: Embrapa, v. 1, 2008. Cap. 6, p. 151-199.
- ROCKSTROM, J. et al. 2009. A safe operating space for humanity. **Nature**, Vol 461.
- SANTANA, L. C; GURGEL, R. S; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Análise dos fragmentos florestais na bacia do rio Grande (BA), utilizando imagens ALOS e modelagem matemática, como forma de subsidiar o planejamento da área. **Espaço & Geografia**, v. 12, n. 2, p. 223-242, 2009.
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. **Conservation Biology**, v. 5, n. 1, p. 18-32, 1991.
- SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; REIS, A. M. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – **Embrapa Cerrados**, Planaltina, DF, v. 314, p. 39, 2013b.
- SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; REIS, A. M. SILVA, V. P. Utilização de Variáveis Morfométricas para a Subdivisão Fisiográfica de Bacia Hidrográfica no Cerrado. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Foz do Iguaçu, PR, p. 5658-5664, 2013a.

- SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização Climática do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. [S.l.]: Embrapa, v. 1, 2008. Cap. 3, p. 69-87.
- SILVA, F. et al. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 536-548, 2006.
- SILVA, J.; BATES, J. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **Bioscience**, v. 52, p. 225-233. 2002.
- SOUTHWORTH, J., MUNROE, D., NAGENDRA, H. Land and cover change and landscape fragmentation—comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 10, p. 185–205, 2004.
- ZEE-DF - ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL. Execução técnica - Greentec Consultoria e Planejamento Ltda., vencedora do processo licitatório - Solicitação de Proposta nº 004/2008, por meio do contrato de serviço nº 21/2009 (UGP/SEDUMA). 2011.