

O sistema terrestre (*land system*) como plataforma de integração e interpretação das complexas relações ambiente-sociedade

The land system as a platform for integration and interpretation of complex environmental-society relations

Evandro Albiach Branco^a
Daniel Rondinelli Roquetti^b
Evandro Mateus Moretto^c

^aMestre em Modelagem de Sistemas Complexos, Pesquisador do Centro de Ciência do Sistema Terrestre, do Instituto Nacional de Pesquisas Ambientais (CCST/INPE), Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (IEE-USP) São José dos Campos, SP, Brasil.
End. Eletrônico: evandro.albiach@inpe.br

^bMestre em Ciências da Engenharia Ambiental, Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental (Plangea-USP), Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.
End. Eletrônico: drroquetti@gmail.com

^cDoutor em Ecologia e Recursos Naturais, Professor Associado do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.
End. Eletrônico: evandromm@usp.br

doi:10.18472/SustDeb.v8n3.2017.24518

Recebido em 14.02.2017

Aceito em 04.09.2017

ARTIGO - VARIA

RESUMO

O chamado sistema terrestre – ou Land System, como a componente terrestre do Sistema Terra – ou Earth System, constitui um sistema eminentemente acoplado entre ambientes e sociedades. Por operar na complexa interface entre os campos sociais e naturais, a ciência do sistema terrestre emerge como uma plataforma de integração das diferentes dimensões relacionadas às mudanças ambientais. Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo a reflexão sobre as relações entre o tema, a interdisciplinaridade e a complexidade. O trabalho identifica esse viés integrador a partir de três características: a) o potencial para representação da pluralidade e multidimensionalidade de diversos sistemas de conhecimento, em diferentes estágios de estabilização; b) ser dotado do papel de mediador de processos socioecológicos, atuando simultaneamente como sua causa e consequência; e c) em decorrência dos itens anteriores, ser enquadrado como um sistema eminentemente complexo e, dessa forma, sujeito a seu conjunto de características, propriedades e comportamentos.

Palavras-chave: Sistema terrestre; Interdisciplinaridade; Integração; Complexidade; Uso e ocupação da terra

ABSTRACT

The Land System, as a terrestrial component of the Earth System, constitutes an eminently coupled environment-societies system. For operating in complex interface between social and natural fields, the land system science emerges as a platform for integration of different dimensions of environmental change. In this sense, the present paper aims to explore relations between this theme, interdisciplinarity and complexity. The paper identifies this integration bias from three characteristics: a) the potential for representation of plurality and multidimensionality of several knowledge systems, in different stages of stabilization; b) be endowed of a role of mediation in socioecological processes, acting as cause and consequence, simultaneously; and c) as a result of previous items, be framed as an eminently complex system and, thus, face up to its set of characteristics and behaviors.

Keywords: Land system; Interdisciplinarity; Integration; Complexity; Land use and occupation.

1 INTRODUÇÃO

O imaginário moderno ocidental é marcado pela ideia de uma sociedade cada vez mais distante da natureza. Por meio da construção de conhecimento baseada na racionalidade científica, a humanidade passou a ter maior controle sobre as condicionantes físicas de seu próprio destino (MACNAGHTEN; URRY, 1998). Tal distanciamento, fortemente ancorado nas bases da modernidade, entretanto, enfrenta enormes dificuldades no exercício de interpretar e dar respostas aos problemas reais complexos, emergentes e urgentes em um “mundo cheio” (DALY; FARLEY, 2004) e profundamente conectado.

Há um amplo entendimento de que os primeiros elementos constituintes do pensamento moderno foram gestados na sociedade europeia há pelo menos 300 anos e que, desde então, um conjunto de processos vividos por aquela sociedade engendrou a disseminação da “modernidade” mundo afora. Naquele contexto, era considerada de vanguarda a nação que se movia pelo ideário do progresso e lançava mão da racionalidade científica enquanto abordagem para desvendar os mistérios do funcionamento do mundo. A imagem de uma natureza mecanicamente criada como uma máquina perfeita com partes causalmente interligadas (MACNAGHTEN; URRY, 1998), a consagração da experimentação em laboratório (LATOURETTE, 1994) e a opção pelo reducionismo como abordagem de compreensão fragmentada da realidade (BRANCO, 2014) constituíam pensamentos paradigmáticos da sociedade moderna europeia.

Grosso modo, o pensamento moderno é fundado nos pilares da ordem, disjunção, redução e lógica formal (ALVARENGA et al., 2011), os quais ganharam força e projeção com a difusão dos preceitos da ciência moderna – e de sua aplicação na forma de inovações tecnológicas – em nível global. A ideia da dissociação entre aquilo que é humano e aquilo que é natural se funda nesses quatro pilares. Homem e natureza seriam excludentes entre si: o humano não seria natural, nem o natural seria humano. Uma dicotomia que se exacerba nas tantas outras que dela derivam.

É certo que não foi apenas o pensamento moderno, sua filosofia, seus métodos e experimentações que serviram à compreensão do mundo desde a sua ascensão na Europa do final do século XVII. Enquanto os preceitos da modernidade seguiam hegemônicos na construção de conhecimento, lógicas alternativas permaneciam periféricas na disputa na arena social, cujo cerne seria o estatuto de verdade atribuído pela sociedade ocidental (BOURDIEU, 2001). Nesse contexto, foi a pretensa pureza objetiva da ciência moderna que seguiu quase que incontestemente em meio às críticas que avançaram pelos séculos XIX e XX (STENGERS, 1993).

Outros caminhos, porém, ganharam proeminência em meados do século XX – principalmente na década de 1960 – com o questionamento do modelo civilizatório pós-guerra. Adquirem força política as buscas pelas fronteiras do conhecimento não abarcadas pelos preceitos do pensamento moderno simplificador, dicotômico e totalmente disciplinar (ALVARENGA et al., 2011). Os modelos de relação causal linear já não davam conta de interpretar certas questões, e grupos de cientistas mergulhavam em alternativas. A ciência do sistema terrestre (land system), nesse sentido, surgiu como uma dessas alternativas, buscando a superação das cisões, amarras e limitações do paradigma moderno.

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo refletir sobre as definições e conceitos associados à ciência do sistema terrestre e suas raízes ligadas à realização da interdisciplinaridade e da consideração da complexidade, como alternativa para a superação do reducionismo e da cisão entre natureza e sociedade.

2 SISTEMA TERRESTRE (LAND SYSTEM) COMO PLATAFORMA DE INTEGRAÇÃO

Desde que Ludwig Von Bertalanffy editou sua Teoria Geral dos Sistemas em 1937, a categoria de sistema foi empregada vastamente em diversas áreas da ciência e da tecnologia, trazendo consigo o desafio de se produzir uma definição concisa e robusta o suficiente para representar seu universo de aplicação. A partir dessa dificuldade, Branco (2014) reuniu definições de autores consagrados e delas extraiu os elementos mais citados, considerando-os como sendo a raiz do conceito de sistema: “um conjunto de elementos que se inter-relacionam, estão organizados sob certo arranjo e são dotados de certo grau de complexidade”.

Essa síntese de Branco (2014) é oportuna ao entendimento do conceito de sistema terrestre empregado no presente trabalho. Nesse ponto, é fundamental ressaltar que toda representação sistêmica da realidade é também um artifício de classificação dessa realidade e, portanto, sempre estará limitada pelas opções epistemológicas (conceitos, temas, limites, escalas, etc.) que forem adotadas.

É nesse contexto que emerge o conceito de sistema terrestre – ou Land System –, o qual representa a componente terrestre do chamado Sistema Terra – ou Earth System (OJIMA et al., 2005), cujo objeto engloba todos os processos e atividades relacionados aos usos humanos da terra, seus diversos ambientes, arranjos e dinâmicas socioeconômicas, tecnológicas e organizacionais (VERBURG et al., 2013a). Assim, os sistemas terrestres funcionam como uma categoria analítica em torno da qual se está organizando um campo científico: a ciência do sistema terrestre.

Mudanças nos sistemas terrestres possuem consequências também transescalares, com impactos sobre os ecossistemas, a biodiversidade, os ciclos biogeoquímicos, o sistema climático, além da viabilidade das próprias atividades humanas (BAUNI et al., 2015; VERBURG et al., 2015; ZHAO; LIU; LAMBIN et al., 1999; OJIMA; GALVIN; TURNER, 1994). Nesse sentido, a transição para um sistema terrestre que compatibilize o atendimento às crescentes demandas humanas, evitando o comprometimento dos sistemas naturais e sociais, pode ser considerada um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade nas últimas décadas (FOLEY et al., 2011).

Há uma estreita relação entre os conceitos de sistema terrestre e de sistema socioecológico – SSE (ou sistemas acoplados humanos-ambiente), o primeiro considerado como a resultante material dos processos interativos e complexos dos últimos (VERBURG et al., 2013; ROUNSEVELL et al., 2012; RINDFUSS et al., 2004). Embora ainda não haja uma conceituação clara e uníssona de sistemas socioecológicos, a produção científica recente nesse campo os entende, de uma maneira geral, como sistemas integrados por ecossistemas e sociedades humanas em recíproca realimentação e interdependência (FOLKE et al., 2010). Em última análise, um determinado sistema socioecológico seria a concepção mais completa do arranjo estrutural e funcional entre os elementos artificialmente classificados como sociedade e natureza, presentes em uma determinada escala de análise adotada.

Assim, é trivial assumir que esses sistemas socioecológicos possuam diversos subsistemas compostos por variáveis internas que, por meio de múltiplos níveis de organização, interagem entre si (OSTROM, 2009), tais como os subsistemas econômico, político, institucional, ecológico, etc., os quais representam agentes econômicos, comunidades humanas, populações da fauna, formações vegetacionais, instituições, direitos de propriedade, etc. (BERKES et al., 2003; OSTROM, 2009; SCHEFFER, 2009).

Sistemas socioecológicos estão em constante mudança, guiados por processos cuja sucessiva interação renova continuamente os estados de um sistema. O ecólogo canadense Crawford Holling, pioneiro no estudo de múltiplos estados de equilíbrio em ecossistemas (HOLLING, 1973), concebeu, durante o desenvolvimento de suas pesquisas (HOLLING, 1986; 2001), o modelo heurístico do ciclo adaptativo de sistemas. Em linhas gerais, o modelo do ciclo adaptativo representa os principais momentos da

renovação de um sistema, servindo como uma forma de apreender alguns padrões reconhecíveis em várias formas de transformação cíclica. Posteriormente, e com base no modelo do ciclo adaptativo, Gunderson e Holling (2002) propuseram que ciclos adaptativos interagem em diversas escalas, produzindo o que denominaram Panarquia. Ressalta-se que os estágios representados no modelo do ciclo adaptativo guardam paralelos com o comportamento típico de sistemas complexos.

Essa relação entre os sistemas socioecológicos e os sistemas terrestres é de fato compreensível, uma vez que os processos relacionados às dinâmicas de sistemas terrestres são determinados pelos resultados das complexas relações entre os diversos subsistemas que os compõem, seja do ponto de vista de suas dimensões naturais como das humanas, já que o uso humano da terra depende de suas condições biofísicas, e que tais condições são constantemente moldadas ou mesmo controladas em alguma medida pelas atividades humanas (ROUNSEVELL et al., 2012). Boillat et al. (2017) avançam até a proposição de um “sistema terrestre socioecológico” como um conceito unificador. O estudo das transformações dessa interface é comumente subdividido entre dois componentes inter-relacionados: o uso e a cobertura da terra (ESCADA, 2003).

Processos relacionados tanto ao uso quanto à ocupação da terra estão na interface entre as complexas e intrincadas dinâmicas ambiente-sociedade (FOLEY et al., 2005; ZHAO; TURNER; ROBBINS, 2008). O uso da terra, termo que se origina nas ciências sociais, se refere à forma como a sociedade utiliza a terra e seus recursos na forma de cultivos agrícolas, pastagem, recreação, etc. (BRIASSOULIS, 2000; ESCADA, 2003; GUTMAN et al., 2004). A cobertura da terra, termo derivado das ciências naturais, descreve os estados biofísicos da superfície da terra e sua subsuperfície imediata, de forma agregada, definida em termos de áreas florestadas, água, gelo, rochas, solo exposto, área construída, etc. (AGUIAR, 2006; BRIASSOULIS, 2000; ESCADA, 2003; TURNER et al., 1995). O Quadro 1 apresenta uma breve sistematização das principais definições aplicadas a sistemas terrestres, enquanto a Figura 1, adaptada de Turner et al. (2007), reforça essa relação entre as dimensões humana e biofísica, a qual está na base da ciência do sistema terrestre.

Quadro 1 – Principais definições e referências para “Land System”.

Definições	Fonte
<i>“Land system science axiomatically addresses social–environmental systems by integrating the dynamics of land uses (social) and land covers (environment), invariably including the use of remote sensing data and often, spatially explicit models of land change.”</i>	(TURNER et al., 2016, p. 18)
<i>“Land systems are the terrestrial component of earth systems and encapsulate the activities and processes related to human use of land as well as the socioecological outcomes of land use.”</i>	(MÜLLER et al., 2014, p. 75)
<i>“Land system change, that is, the spatial and temporal changes in the interplay of social and ecological systems in shaping land use and land cover.”</i>	(VERBURG et al., 2013b, p. 494)
<i>“...land systems are acknowledged as resulting from the dynamic interactions within the socio-ecological system.”</i>	(VERBURG et al., 2013a, p. 434)
<i>“... interdisciplinary field [that] seeks to understand the dynamics of land cover and land use as a coupled human–environment system to address theory, concepts, models, and applications relevant to environmental and societal problems, including the intersection of the two.”</i>	(TURNER II; LAMBIN; REENBERG, 2007, p. 20666)

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 1 – Esquema conceitual e processos de suporte para o sistema terrestre

Fonte: Adaptado de Turner et al. (2007).

A relação expressa por estes dois componentes – uso e cobertura –, oriundos de bases epistemológicas distintas e, de acordo com Latour (1994), antagônicas no contexto da modernidade, e unificados por meio de um campo científico, induz também a uma reflexão sobre a teoria dos campos de Bourdieu (1989). Entre as principais iniciativas de organização da comunidade científica dedicada a estudos nas fronteiras dos sistemas social, físico e ecológico, destaca-se o *Global Land Programme* – GLP, criado em 2006 a partir do *International Geosphere Biosphere Programme* – IGBP e do *Internacional Human Dimensions Programme on Global Environmental Changes* – IHDP e certificado pelo *International Council for Science* (ICSU) e pelo *International Social Science Council* (VERBURG et al., 2015). Até hoje o GLP reflete o resultado de construções, debates, embates, disputas e tensões que emergem nesse campo em construção.

Assim, por operar exatamente na complexa interface entre os campos sociais e naturais, a ciência do sistema terrestre emerge como uma plataforma de integração das diferentes dimensões relacionadas às mudanças ambientais e demandam um alto nível de colaboração interdisciplinar (VERBURG et al., 2013). Nesse sentido, o termo “plataforma” assume o sentido de palavra-chave representativa de uma estrutura de integração, como se pretende demonstrar a partir das ideias de Latour (1994) adotadas pelo presente trabalho.

3 A INTERDISCIPLINARIDADE NA PERSPECTIVA DA ABORDAGEM SISTÊMICA

O estudo do sistema terrestre, eminentemente integrativo, está intrinsecamente sujeito aos desafios da superação da abordagem disciplinar no trato de questões complexas. Para tanto, a compreensão do viés e da conformação interdisciplinar intrínseca do campo científico, constituído pela chamada ciência do sistema terrestre, pode oferecer elementos importantes ao seu desenvolvimento teórico e metodológico.

As condições sobre as quais estão dadas as bases da ciência do sistema terrestre remetem e situam o seu objeto de estudo à categoria dos “quase-objetos”, ou híbridos, definidos por Latour (1994), uma vez que as mudanças nos sistemas terrestres são, ao mesmo tempo, causa e consequência dos processos socioecológicos (VERBURG et al., 2015), ou seja, não ocupam estaticamente nem apenas a posição de meros objetos, nem apenas a de sujeitos. Estão em ambas as posições, dinamicamente. Não podem ser entendidos como uma simples mistura de coisa natural e símbolo social e, dessa forma, não são também uma construção intermediária (LATOUR, 1994).

Latour parte da sua crítica à ilusão moderna de que seria possível isolar o domínio da natureza (das coisas inatas) do domínio da política (da ação humana). Para o autor, “na perspectiva moderna, a natureza e a sociedade permitem a explicação porque elas, em si, não precisam ser explicadas” (LATOUR, 1994, p.79), ou seja, elas são os pontos de apoio da realidade. Ainda, de acordo com Latour (1994, p. 46):

O dualismo natureza/sociedade é indispensável aos modernos para que possam, justamente, aumentar a escala dos mistos entre objetos e sujeitos. Os pré-modernos, por no fundo serem todos monistas na constituição de suas naturezas-culturas [...] se proibem, pelo contrário, de praticar aquilo que suas representações aparentemente permitiriam. [...] Ao saturar com conceitos os mistos de divino, humano e natural, limitam a expansão prática destes mistos. É a impossibilidade de mudar a ordem social sem modificar a ordem natural – e inversamente – que obriga os pré-modernos, desde sempre, a ter uma grande prudência. Todo monstro torna-se visível e pensável e expõe explicitamente graves problemas para a ordem social, o cosmos ou as leis divinas.

A produção desse dualismo entre natureza e cultura é o que Latour denominou “purificação”. Pela purificação, prática moderna de compreender a dinâmica das sociedades humanas como distinta da dinâmica do mundo não humano, a partir de duas culturas epistemológicas distintas (ALVES, 2012), o pensamento moderno deixou de pensar questões mistas. Ainda conforme Latour (1994, p.76):

As explicações modernas consistiam, portanto, em clivar os mistos para deles extrair o que era proveniente do sujeito (ou do social) e o que era proveniente do objeto. Em seguida, os intermediários eram multiplicados para que sua unidade fosse recomposta através da mistura das formas puras. Estes processos de análise e de síntese, portanto, tinham sempre três aspectos: uma purificação prévia, uma separação fracionada e uma nova mistura progressiva [...]. Dessa forma, o meio era mantido e abolido ao mesmo tempo.

Esse “meio” a que se refere o excerto acima são os mistos entre sujeito e objeto, entre natureza e cultura, aos quais Latour denomina “híbridos”: objetos que guardam características tanto humanas como não humanas, os quais não são alvo das ciências modernas. Para Latour, o grande paradoxo da construção de conhecimento na modernidade é o fato da purificação moderna permitir que os híbridos se proliferem, mas que não sejam pensados pela ciência.

Por exemplo, a crise hídrica que afligiu o Sudeste brasileiro entre os anos de 2013-2015 (ANA, 2015) representou um fenômeno emergente de relações causais entre elementos políticos, sociais, físicos e ecológicos, cuja busca de soluções partiria de sua melhor compreensão enquanto sistema complexo e híbrido. Ainda assim, meteorologistas avaliavam alterações nos índices pluviométricos, engenheiros civis discutiam transposição de bacias e redes de tubulação, sociólogos pensavam o acesso e a distribuição desigual do recurso hídrico e biólogos quantificavam alterações em fauna e flora, sem que o meio, o híbrido, ou o objeto em si, fosse alvo de uma abordagem que de fato permitisse uma compreensão das inter-relações entre suas diversas faces, e dessa forma, capturar uma representação mais integral (entretanto potencialmente ainda incompleta, considerando sua natureza dinâmica e complexa) do fenômeno.

Essa crescente separação, que para Latour é a base de uma “constituição moderna”, embora permitisse a disseminação de mistos, não oferecia suporte para sua compreensão, uma vez que esse “terceiro estado” se tornara “numeroso demais para se sentir fielmente representado pela ordem dos objetos ou pela dos sujeitos” (LATOUR, 1994, p. 53).

Considerando a constatação de que a realidade é fundamentalmente híbrida, sempre que o humano esteja presente e haja alguma forma de interação com a materialidade (RENAULT, 2011), condição praticamente universal em um mundo cada vez mais antropizado e conectado, Latour estabelece o ponto central de seu argumento: a impossibilidade de compreensão destes “quase-objetos/quase-sujeitos”, categoria entendida como ausente de identidade/dignidade ontológica, tomando por base unicamente os pontos de apoio dispostos pela dualidade natureza-sociedade/sujeito.

Ao contrário, Latour propõe o exame tendo por ponto de partida justamente essa realidade essencialmente híbrida, para então partir em direção aos extremos, os polos dicotômicos natureza-sociedade, estes entendidos como meros resultados parciais e purificados do fenômeno, ou seja, como apenas uma das possibilidades de interpretação. Tal inversão situa a natureza e a sociedade (e, obviamente, suas derivações e gradações disciplinares) como satélites e não como matéria-prima das explicações dos fenômenos ou, conforme o autor, “não são mais termos explicativos, mas aquilo que requer uma explicação conjunta” (LATOUR, 1994, p. 80). Natureza é o resultado, e não a causa, da resolução de controvérsias científicas (FLEURY et al., 2014), assim como a sociedade também o é.

Um desdobramento desse postulado, importante para a compreensão epistemológica deste “império do centro”, é a classificação dos híbridos como mediadores, ou agentes dotados da capacidade de traduzir aquilo que eles transportam, conforme segue:

Metodologicamente, trata-se de seguir as coisas através das redes em que elas se transportam, descrevê-las em seus enredos – é preciso estudá-las não a partir dos polos da natureza ou da sociedade, com suas respectivas visadas críticas sobre o polo oposto, e sim simetricamente, entre um e outro (LATOURET, 2004, p. 01).

Assim, o autor desenvolve o que ele chama de ontologia de geometria variável dos híbridos, lançando mão do desdobramento do eixo referido por ele como dimensão moderna (que tende a dissociar as representações entre os mundos natural e social/cultural) em uma segunda dimensão – “não moderna” – onde seria possível representar o grau de estabilização, ou seja, os diversos estágios de compreensão do fenômeno, em um gradiente cuja variação “oscila continuamente do acontecimento até a essência” (LATOURET, 1994, p. 85), passando por diferentes formas de concepção/interpretação no tempo. Citando expressamente o autor, “o grau de estabilização – a latitude – é tão importante quanto a posição sobre a linha que vai do natural ao social – a longitude”.

A essência de um híbrido, dessa forma, estaria ligada à trajetória que liga todos os diferentes pontos de seu desenvolvimento em sua história e, assim, cada actante – termo que extrapola o conceito de ator, englobando, além dos humanos, os “não humanos”, dotado de agência, isto é, produz efeitos no mundo e sobre ele (MORAES, s.d.; CAMILLIS et al., 2013) – possuiria uma assinatura única no espaço desdobrado por essa trajetória. Entender plenamente o híbrido, nesse sentido, significa entender seu processo de construção enquanto representação, perpassando pela diversidade de olhares, experimentações, análises e teorizações.

Nesse contexto, o conceito de sistema retorna útil na compreensão dessa realidade híbrida e multifacetada, uma vez que parte da premissa de que o comportamento de um sistema como um todo não pode ser explicado unicamente pela soma dos comportamentos de partes ou elementos individuais (KAY, 2008; BRANCO, 2014). Nesse mesmo sentido, partes postas em conjunto não necessariamente compõem um sistema, mas sim a combinação dessas partes que interagem e produzem alguma nova qualidade por meio dessas interações (VOINOV, 2008). Tal definição pode ser estendida aos híbridos, cuja compreensão de sua essência estaria exatamente na compreensão do conjunto e superposição das assinaturas, implicando em conhecer e reconhecer seu sistema de interpretações e representações, que oscilam e evoluem e coevoluem dinamicamente.

Tais reflexões promovidas por Latour favorecem a melhor compreensão do aspecto interdisciplinar inerente à ciência do sistema terrestre. Um primeiro ponto que pode ser considerado é o posicionamento dos “quase-objetos/quase-sujeitos” como centro da análise, rompendo com o domínio de um ou outro polo. Nesse contexto, Rindfuss et al. (2004) afirmam que as pesquisas sobre sistemas terrestres demandam equipes multidisciplinares que envolvem disciplinas das ciências naturais, sociais e espaciais. Turner et al. (2007) descem em detalhamento e elencam disciplinas híbridas como sensoriamento remoto, ecologia política, economia, governança institucional, ecologia da paisagem, biogeografia, entre outras, como fundamentais no desenvolvimento de pesquisas em sistema terrestre.

Ainda, as redes traçadas pelas trajetórias representadas pela junção das coordenadas (resultados do cruzamento entre a dimensão moderna e não moderna de Latour), possibilitam uma interpretação multidimensional dos fenômenos socioecológicos e seus resultados espaciais, alinhada com o desafio fundamental da interdisciplinaridade que, de acordo com Raynault (2011, p. 84), “consiste em tentar restituir, ainda que de maneira parcial, o caráter de totalidade, de complexidade e de hibridização do mundo real”.

Cada uma das possíveis e necessárias frentes de análise situa-se em um ponto do eixo moderno de Latour (longitude), enfrentando o fenômeno em um grau de estabilidade próprio, específico (latitude). O ponto de aglutinamento, nesse caso, é o espaço, que suporta, materializa e sobrepõe todas essas possibilidades de representação. Nesse sentido, o olhar baseado na ontologia de geometria variável de Latour ratifica a concepção interdisciplinar da ciência do sistema terrestre, retornando e contextualizando o sentido de plataforma integrativa definida por Verburg et al. (2013).

4 A EMERGÊNCIA DA COMPLEXIDADE E DE SEUS DESAFIOS

As reflexões de natureza epistemológica traçadas até aqui, entretanto, necessitam descer à prática da investigação e, dessa forma, encarar os desafios metodológicos impostos por um objeto complexo e dependente de um olhar interdisciplinar (RAYNAUT, 2011).

Nesse sentido, Rounsevell et al. (2012) alertam que, embora essas relações entre os sistemas humanos e ambientais sejam, em princípio, cada vez mais reconhecidas, as interdependências específicas materializadas no espaço e no tempo, entre processos decisórios em diferentes escalas, estruturas institucionais, contextos socioeconômicos e padrões de uso e cobertura da terra, ainda são mal compreendidas. Esses tipos de reconhecimento de limitações e lacunas de compreensão são comumente associados à complexidade inerente a esse tipo de análise. Complementarmente, Raynault (2011) lembra que totalidade e complexidade são palavras que são frequentemente evocadas quando se fala de interdisciplinaridade, reforçando a associação.

A análise de sistemas dinâmicos como o terrestre requer reconhecer que muitos processos operam em diferentes escalas espaciais e temporais, que existem processos de interação e retroalimentações (feedbacks) entre os fatores determinantes (drivers) de mudança, e que influências na dimensão político-institucional podem resultar em dinâmicas não lineares (DEARING et al., 2010; CHEN et al., 2016). Assumir que o objeto – ou quase-objeto – de investigação está inserido dentro de uma lógica essencialmente complexa, significa reenquadrá-lo, não só do ponto de vista das dificuldades e limitações inerentes ao processo, mas também em relação às alternativas metodológicas disponíveis e adequadas à sua análise. Nesse contexto, o campo de estudo de sistemas complexos, embora relativamente novo, emerge com conceitos e ferramentas que podem auxiliar no enfrentamento de tais desafios.

Mas o que define a natureza complexa desses sistemas? Quais as suas características e propriedades? Uma síntese das principais obras sobre o tema evidencia que definir sistemas complexos não parece ser uma tarefa trivial. Muitos autores preferem iniciar suas considerações sobre o termo a partir exatamente de propriedades comuns. Mitchell (2009) delimita três principais características comuns a sistemas complexos: a) comportamento coletivo complexo, constituído por diversos agentes, auto-organizáveis; b) uso e produção de informações em relação aos ambientes internos e externos; c) adaptação, ou uma mudança de comportamento dos agentes por meio de aprendizagem ou processos evolucionários. Visando garantir mais precisão ao constructo, Mitchell (2009) refina o termo para sistemas complexos adaptativos, excluindo sistemas nos quais o fator adaptação não desempenha uma função importante, como o caso de rios turbulentos ou furacões.

Miller e Page (2007) e Page (2009) estabelecem quatro características fundamentais em sistemas complexos: a) a diversidade de entidades (que, nesse contexto, traz o mesmo sentido de actantes, uma vez que engloba humanos e não humanos); b) a conexão entre as entidades; c) a interdependência entre as entidades ou a força entre as conexões; e d) a existência de adaptação, evolução e aprendizado. Essas características elencadas por Miller e Page (2007) e Page (2009) podem ocorrer em diferentes intensidades, em suas diferentes aplicações. Sistemas classificados como complexos frequentemente apresentam situações intermediárias em relação a essas características, e são os mais comuns (BEINHOCKER, 2006).

Do ponto de vista epistemológico, um sistema complexo pode ser descrito como um sistema cujos fenômenos não podem ser descritos por meio de uma única teoria simplificada, pelo contrário, é composto por múltiplos princípios interagindo em diferentes escalas, o que torna impossível uma descrição universal (SCHMELTZER, 2004). Entretanto, sistemas complexos tipicamente apresentam comportamentos e fenômenos específicos, cuja compreensão extrapola o entendimento de suas partes de maneira isolada. Folke (2006) e Feil et al. (2015), nesse sentido, associam sistemas complexos com não linearidade, dependência do caminho e múltiplos estados de equilíbrio.

Tais comportamentos encontram paralelo nos processos de mudanças nos padrões e nas trajetórias de uso e ocupação da terra (RINDFUSS et al., 2008; ROUNSEVELL et al., 2012), como a possibilidade de transições de fase (YEO; HUANG, 2013), a existência de intensos mecanismos de retroalimentação (feedbacks) (DEARING et al., 2010; VERBURG, 2006a; CHEN et al., 2016) e dependência de trajetória

(*path-dependence*) (COSTA, 2004). O'Sullivan et al. (2006), ainda nesse mesmo sentido, tratam das relações entre pessoas e ambientes, variabilidade espacial, processos em múltiplas e interconectadas escalas, e análise combinada espaço-temporal como temas que aproximam os sistemas complexos de pesquisas relacionadas a processos espaciais.

Crawford et al. (2005), entretanto, refletem sobre o entendimento da tal natureza complexa desses sistemas e nas imprecisões que podem emergir de suas possibilidades de compreensão. Para os referidos autores, a integração entre sistemas complexos e processos de transformação no uso e cobertura da terra pode ser compreendida de três prismas diferentes. O primeiro relacionado à integração de múltiplos domínios temáticos, associando-o à interdisciplinaridade, e retomando a noção de que nenhum dos subsistemas (natural ou humano) pode ser completamente compreendido se considerados isoladamente. A segunda parte do paradoxo da complexidade surgindo da simplicidade, ou como agregado que emerge de não linearidades, do enorme número de interações, envolvendo a ocorrência de relações de feedbacks em mais de um nível dentro do sistema, estando implícitas questões como a existência de hierarquia entre as escalas, equilíbrios múltiplos e/ou pontuados, e emergência de inovações. O terceiro aprofunda e refina o segundo com a compreensão de que existem feedbacks dos processos top-down para os processos bottom-up, e não só no último sentido, ou seja, também devem ser consideradas as influências e relações da macroescala e mesmo de fatores exógenos, ampliando também seu viés interdisciplinar, já que implica na necessidade de abordagens mistas e inter-relacionadas.

Nesse mesmo contexto, outro ponto importante é o reconhecimento do sistema de uso da terra como um sistema aberto (DALLA-NORA, 2014). Tal afirmação traz em seu bojo a noção de que *drivers* econômicas, políticas, institucionais e demográficas, via de regra, extrapolam o próprio recorte territorial do objeto (VERBURG et al., 2010; GEIST; LAMBIN, 2002), ou seja, a análise do fenômeno deve considerar também a relação do local com outros recortes escalares, em um processo de constantes feedbacks, inclusive entre escalas (CHEN et al., 2016), em linha com a terceira possibilidade de compreensão elencada por Crawford et al. (2005).

Em quaisquer das circunstâncias, a teoria de sistemas complexos indica enormes dificuldades em definir soluções determinísticas para enfrentar situações como as ora descritas (MILLER; PAGE, 2007; PAGE, 2009; HARTMANN, 1996). A modelagem, nesse sentido, apresenta-se como um raro instrumento com potencial para a realização de análises e reflexões sobre as principais características mencionadas. Assim, Trivelato (2003, p. 6) tece algumas considerações importantes, conforme segue:

Um modelo é a representação do conhecimento e a principal ferramenta para o estudo do comportamento de sistemas complexos. Modelar é o primeiro passo para a análise de um sistema de qualquer natureza e sob qualquer aspecto. Quando o modelo é uma representação válida de um sistema, informações significativas podem ser retiradas sobre sua dinâmica ou seu desempenho.

Ainda, Mitchell (2009) afirma que, no contexto da investigação de sistemas complexos, a exploração de modelos relativamente simples possibilita obter insights em relação a um problema específico, sem a necessidade de previsões detalhadas sobre um determinado sistema. Modelos são desenvolvidos e utilizados para resolver problemas, responder a questões sobre um sistema ou uma classe de sistemas, para entender como as coisas funcionam, explicar padrões que podem ser observados, e prever um comportamento em resposta a alguma mudança (RAILSBACK; GRIMM, 2010; HARTMANN, 1996).

Freitas Filho (2009) afirma que a simulação por meio de modelos dinâmicos permite compreender melhor quais as variáveis são as mais importantes em relação à *performance* e como elas interagem entre si e com os outros elementos do sistema. Crawford et al. (2005), seguindo essa linha, tratam os modelos de simulação como a metodologia de fato da pesquisa em complexidade.

Modelos são parte do portfólio de técnicas e abordagens relacionadas à ciência do sistema terrestre e são consideradas úteis, uma vez que testes de hipóteses sobre processos em experimentos reais são inviáveis (VERBURG et al., 2006b). Há uma enorme variedade de modelos para sistemas terrestres descritos na literatura (BRIASSOULIS, 2000), variando em escalas, vieses de análise e objetivos, cuja descrição extrapola o escopo da presente análise.

Por fim, Verburg et al. (2006b) ainda entendem os modelos como ferramentas importantes na comunicação entre áreas distintas, com o potencial de facilitar a integração interdisciplinar, uma vez que podem expressar fenômenos ou ideias que podem ser compreendidos da mesma forma por diferentes áreas de pesquisa.

5 SÍNTESE DAS CONVERGÊNCIAS

Uma das questões mais enigmáticas na compreensão dos sistemas ambientais é o fato de que tudo parece acontecer ao mesmo tempo. Alterações em diferentes dimensões e escalas ocorrem paralelamente e afetam-se mutuamente, em diferentes graus de intensidade. Diferentes agentes operando em diferentes intensidades e escalas sob um sistema que responde também de maneira heterogênea e não linear configuram um mundo com enormes dificuldades de enquadramento, avaliação e previsão.

Processos associados às dinâmicas de sistemas terrestres, notadamente os relacionados a mudanças no uso e cobertura da terra, são determinados por uma rede de fatores socioeconômicos e biofísicos, operando em diferentes escalas, em sistemas de dependências e fluxos, mediados por fatores políticos e institucionais, que interagem no tempo e no espaço, sob contextos históricos e geográficos específicos, criando diferentes trajetórias (MUNTEANU et al., 2014; AGUIAR, 2006; BURGI et al., 2005; LAMBIN; GEIST, 2001; LAMBIN et al., 2001).

Compreender essas dinâmicas, que operam na interface ambiente-sociedade, implica também em reconhecer as bases epistemológicas que suportam suas práticas, bem como refletir sobre os aspectos relacionados à sua complexidade inerente que, embora reconhecida, ainda esbarra em dificuldades metodológicas significativas (FEIL et al., 2015; ALVES, 2012).

Como síntese, é possível identificar três características importantes que conferem e ratificam o *status* de plataforma de integração estratégica na relação ambiente-sociedade ao sistema terrestre:

- a) o potencial para representação da pluralidade e multidimensionalidade de diversos sistemas de conhecimento, em diferentes estágios de estabilização e desenvolvimento, por meio da materialidade espacial dos padrões e processos de uso e cobertura da terra;
- b) ser dotado do papel de mediador de processos socioecológicos, atuando simultaneamente como sua causa e consequência; e
- c) em decorrência dos itens anteriores, ser enquadrado em um sistema eminentemente complexo e, dessa forma, estar sujeito a seu conjunto de premissas, propriedades, características e comportamentos comuns.

Convergente a essa classificação, Rounsevell et al. (2012) alertam que o desenvolvimento de técnicas e métodos de modelagem em sistemas terrestres deve passar pela incorporação e combinação de estruturas complexas nas escalas locais com análises macroeconômicas que orientem as demandas por terras, em diferentes escalas, reconciliando abordagens bottom-up e top-down, visando garantir a captura da complexidade das interações sociedade-ambiente, em seus diversos prismas.

Tais questões indicam o desenvolvimento do campo em contínua direção às fronteiras do conhecimento. Abordagens integradoras, como a sistêmica, que estão na base da ciência do sistema terrestre, diferenciam-se de abordagens reducionistas não por serem melhores ou mais completas – dado que também possuem limites – mas por permitirem análises sobre problemas que se situam entre as disciplinas tradicionalmente dissociadas na purificação moderna, especialmente quando incorporam compromisso com a complexidade empírica e com as diversas teorias de campos diferentes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil. **Informe 2014**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR Brasília – DF, 2015.

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia**: explorando a heterogeneidade intrarregional. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe. São José dos Campos, 2006. [on-line]. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21/doc/publicacao.pdf>>.

ALVARENGA, A. T. de. et al. Histórico, fundamentos filosóficos e teórico-metodológicos da interdisciplinaridade. In: PHILLIP JÚNIOR, A.; SILVA NETO, A. (Ed.). **Interdisciplinaridade em Ciência, Tecnologia e Inovação**. Barueri: Manole, 2011.

ALVES, D. S. Two Cultures, Multiple Theoretical Perspectives: the problem of integration of natural and social sciences in earth system research. In: YOUNG, S. S.; SILVERN, S. E. (Org.). **International Perspectives on Global Environmental Change**. 1. ed. Rijeka: Croacia: InTech, 2012, v. 1, p. 3-24.

BAUNI, V. et al. Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: the case of Yacyretá, Argentina. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 1, p. 50-60, 2015.

BEINHOCKER, E. D. **The origin of wealth**: evolution, complexity and the radical remaking of economics. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts, 2006.

BERKES, F. et al. Introduction. In: BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. **Navigating Social-Ecological Systems**: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

BOILLAT, S.; SCARPA, F. M.; ROBSON, J. P.; GASPARRI, I.; AIDE, T. M.; AGUIAR, A. P. D.; ANDERSON, L. O.; BATISTELLA, M.; FONSECA, M. G.; FUTEMMA, C.; GRAU, H. R.; MATHEZ-STIEFEL, S. L.; METZGER, J. P.; OMETTO, J. P. H. B.; PEDLOWSKI, M. A.; PERZ, S. G.; ROBIGLIO, V.; SOLER, L.; VIEIRA, I.; BRONDIZIO, E. S. **Land system science in Latin America**: challenges and perspectives. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 26–27, n. January, p. 37–46, 2017.

BOURDIEU, P. **Poder Simbólico**. Lisboa: Difel, 1989.

BOURDIEU, P. **Para uma sociologia da ciência**. Lisboa: Edições 70, 2001.

BRANCO, E. A. **Capital natural, crescimento econômico e riqueza**: reflexões a partir da abordagem e modelagem de sistemas complexos. Dissertação (Mestrado em Ciências) apresentado ao Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012. [on-line]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100132/tdc-22012013-163754/pt-br.php>>.

BRANCO, S. M. **Ecosistêmica**: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo: Editora Edgar Blücher. 3. ed. 2014.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change**: theoretical and modeling approaches. West Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000. [on-line]. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/webbook/briassoulis/contents.htm>>.

BURGI, M.; HERSPERGER, A. M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change - current and new directions. **Landscape Ecology**, v. 19, n. 8, p. 857-868, 2005.

CAMILLIS, P. K. de.; BUSSULAR, C. Z.; ANTONELLO, C. S. **A agência dos não humanos a partir da teoria ator-rede**: contribuições para as pesquisas em administração. III Colóquio Internacional de Epistemologia e Sociologia da Ciência de Administração. Florianópolis, SC, 2013. [on-line]. Disponível em: <<http://www.coloquioepistemologia.com.br/anais2013/ADE108.pdf>>.

CHEN, Y. et al. How Are Feedbacks Represented in Land Models? **Land**, v. 5, p. 29, 2016.

COSTA, F. de A. Path dependency e a transformação agrária do bioma amazônico: o sentido econômico das capoeiras para o desenvolvimento sustentável. **Novos Cadernos NAEA**, v. 7, n. 2, p. 111-158, 2004.

CRAWFORD, T. W. et al. Complexity science, complex systems, and land-use research. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 32, p. 792-798, 2005.

DALLA-NORA, E. L. **Modeling the Interplay Between Global And Regional Drivers on Amazon Deforestation**. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre do INPE. São José dos Campos, 2014. [on-line]. Disponível em: <<http://pgcst.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/08/Defesa-de-Tese-Eloi-Lenon-Dalla-Nora-Final.pdf>>.

DALY, H.; FARLEY, J. **Economia Ecológica: princípios e aplicações**. Instituto Piaget, Lisboa, 2004.

DEARING, J. A. et al. Complex Land Systems: the need for long time perspectives to assess their future. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, p. 21, 2010.

ESCADA, M. I. S. **Evolução de padrões da terra na região centro-norte de Rondônia**. Tese de Doutorado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe. São José dos Campos, 2003. [on-line]. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/pgsere/2003-Escada_M_I_S/publicacao.pdf>.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D.; TUNDISI, J. G. A complexidade do sistema ambiental e humano e sua relação com a sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 1, p. 37-52, 2016.

FLEURY, L. C.; ALMEIDA, J.; PREMEBIDA, A. O ambiente como questão sociológica: conflitos ambientais em perspectiva. **Sociologias**, Porto Alegre, ano 16, n. 35, p. 34-82, 2014.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

FOLKE, C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 253-267, 2006.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, p. 1-9, 2010.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143, 2002.

GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S. **Panarchy: understanding transformations in human and natural systems**. Washington DC: Island Press, 2002.

GUTMAN, G. et al. **Observing, monitoring and understanding trajectories of change on the earth's surface**. Series: Remote Sensing and Digital Image Processing, v. 6, p. 461, 2004.

HARTMANN, S. The Word as a process: simulations in the Natural and Social Sciences. In: HEGSELMANN, R.; MUELLER, U.; TROITZSCH, K. G. (Ed.). **Modelling and simulation in the social sciences: from the philosophy of science point of view**, v. 23 of Series A: Philosophy and methodology of the social sciences, p. 77-100. Kluwer Academic Publishers, 1996.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1-23, 1973.

HOLLING, C. S. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. In: CLARK, W. C.; MUNN, R. E. **Sustainable development of the biosphere**, p. 292-317. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

HOLLING, C. S. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. **Ecosystems**, v. 4, n. 5, p. 390-405, 2001.

KAY, J. J. An introduction to systems thinking. In: WALTNER-TOEWS, D.; KAY, J. J.; LISTER, N. M. E. **The ecosystem approach: complexity, uncertainty and managing for sustainability**. Columbia University Press, 2008.

LAMBIN, E. F. et al. Land-Use and Land-Cover Change (LUCC). **Implementation Strategy**. p. 125, 1999.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. Global land-use and land-cover change: what have we learned so far? **Global Change Newsletter**, n. 46, 2001.

LATOURETTE, B. **Jamais fomos modernos: ensaio de antropologia simétrica**. São Paulo: Editora 34, 1994.

LATOURETTE, B. **Por uma antropologia do centro**. Mana [on-line]. 2004, v. 10, n. 2, p. 397-413. [on-line]. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010493132004000200007&lng=en&nrm=iso>.

MACNAGHTEN, P.; URRY, J. **Contested natures**. Londres: Sage Publications, 1998.

MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex Adaptive System: an introduction to computational models of social life**. Princeton University Press, 2007.

MITCHELL, M. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford University Press, 2009.

MORAES, M. **As ciências e suas práticas do ponto de vista da teoria ator-rede**. s.d. [on-line]. Disponível em: <<http://www.necso.ufrj.br/MM/As%20Ciencias%20e%20suas%20praticas.htm>>.

MULLER, D. et al. Regime shifts limit the predictability of land-system change. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 75-83, 2014.

MUNTEANU, C. et al. Forest and agricultural land change in the Carpathian region: a meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. **Land Use Policy**, v. 38, p. 685-697, 2014.

OJIMA, D. S.; GALVIN, K. A.; TURNER II, B. L. The global impact of land-use change. **BioScience**, v. 44, n. 5, p. 300-304, 1994.

OJIMA, D. et al. **Science plan and implementation strategy**. IGBP Report N. 53/IHDP Report N. 19, IGBP Secretariat, Stockholm, 2005. [on-line]. Disponível em: <http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006384/1376383121392/report_53-GLP.pdf>.

OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, p. 419-422, 2009.

O'SULLIVAN, D. et al. Space, place, and complexity science. **Environment and Planning A**, v. 38, p. 611-617, 2006.

PAGE, S. E. **Understanding Complexity**. Chantilly, VA: The Teaching Company, 2009. DVD.

RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. **Agent-based and Individual-based Modeling: a practical introduction**. Princeton University Press, 2010.

RAYNAUT, C. Interdisciplinaridade: mundo contemporâneo, complexidade e desafios à produção e aplicação de conhecimentos. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. et al. **Interdisciplinaridade em Ciência, Tecnologia e Inovação**, 2011.

RINDFUSS, R. R. et al. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. **PNAS**, v. 101, n. 39, 2004.

ROSA, M. de.; KNUDSEN, M. T.; HERMANSEN, J. E. A comparison of Land Use Change models: challenges and future developments. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, n. 1, p. 183-193, 2016.

ROUNSEVELL, M. D. A. et al. Challenges for land system science. **Land Use Policy**, v. 29, n. 4, p. 899-910, 2012.

SCHEFFER, M. **Critical transitions in nature and society**. Princeton: Princeton University Press, 2009.

SCHMELTZER, C. **O que são Sistemas Complexos?** DWIH-SP - Centro Alemão de Ciência e Inovação - São Paulo. Citação em publicação realizada em 19/09/2014. [on-line]. Disponível em: <<http://dwi.com.br/pt-br/noticias/o-que-sao-sistemas-complexos>>.

STEFFEN, W. et al. **Global Change and the Earth System: a planet under pressure**. Series: Global Change - The IGBP Series. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 2004. [on-line]. Disponível em: <http://www.igbp.net/download/18.56b5e28e137d8d8c09380001694/1376383141875/SpringerIGBPSynthesisSteffenetal2004_web.pdf>.

STENGERS, I. **A invenção das ciências modernas**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

TRIVELATO, G. C. **Técnicas de modelagem e simulação de sistemas dinâmicos**. INPE-9665-NTC/358. INPE, São José dos Campos. 2003. [on-line]. Disponível em: <<http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/07.08.08.27/doc/INPE%20-%209665%20-%20NTC.pdf>>.

TURNER, B. L. et al. **Land-Use and Land-Cover Change**. Science/Research Plan. IGBP Report N. 35, HDP Report N. 7. IGBP and HDP, Stockholm and Geneva, 1995. [on-line]. Disponível em : <http://millenniumassessment.org/documents/IGBP_report_35-LUCC.pdf>.

TURNER II, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 128, 20666-20671, 2007.

TURNER, B. L.; ROBBINS, P. Land-Change Science and Political Ecology: similarities, differences, and implications for sustainability science. **Annual Review of Environmental Resources**, 2008.

TURNER, B. L. et al. Land system science and the social-environmental system: the case of Southern Yucatán Peninsular Region (SYPR) project. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 19, p. 18-29, 2016.

TURNER, B. L. et al. Land system architecture: using land systems to adapt and mitigate global environmental change. Editorial. **Global Environmental Change**, v. 23, p. 395-397, 2010.

VERBURG, P. H. et al. Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 2, p. 217-232, 2010.

VERBURG, P. H. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. **Landscape Ecology**, v. 21, n. 8, p. 1171-1183, 2006a.

VERBURG, P. H. et al. Land system science and sustainable development of earth system: a global land project perspective. **Anthropocene**, v. 12, p. 29-41, 2015.

VERBURG, P. H. et al. **Modelling land-use and land-cover change**. Chapter 5. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts. Global Change - The IGBP Series, 2006b.

VERBURG, P. H. et al. Land System Science: between global challenges and local realities. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, p. 433-437, 2013a.

VERBURG, P. H. et al. Land system change and food security: towards multi-scale land system solutions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, p. 494-502, 2013b.

VIRAPONGSE, A. et al. A social-ecological systems approach for environmental management. **Journal of Environmental Management**, v. 178, p. 83-91, 2016.

VOINOV, A. **Systems science and modeling for ecological economics**. Academic Press, 2008.

VON BERTALANFFY, L. **General system theory: essays on its foundation and development**, rev. ed. New York: George Braziller, 1968.

ZHAO, Q.; LIU, S.; DONG, S. Effect of Dam Construction on Spatial-Temporal Change of Land Use: a case study of Manwan, Lancang River, Yunnan, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, p. 852-858, 2010.