

A complexidade do sistema ambiental e humano e sua relação com a sustentabilidade

The complexity of environmental and human systems and their relation with sustainability

Alexandre André Feil*

Dusan Schreiber**

José Galizia Tundisi***

**Doutorando na Universidade Feevale no PPG em Qualidade Ambiental, Novo Hamburgo, e Professor no Centro Universitário Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: alexandre.feil1@gmail.com*

***Professor Doutor na Universidade Feevale no PPG em Qualidade Ambiental. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: dusan@feevale.br*

****Professor Doutor na Universidade Feevale no PPG em Qualidade Ambiental. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: tundisi@iie.com.br*

Recebido em 01.09.2014
Aceito em 18.02.2015

ARTIGO - VARIA

RESUMO

É consenso que a função e a estrutura do sistema ambiental e humano são complexas quando analisadas de forma isolada e/ou integrada, e esse assunto é tema de debate atual para a compreensão da sustentabilidade. Nesse sentido, esta pesquisa objetiva realizar uma revisão de literatura sobre as complexidades das interações entre os sistemas ambientais e humanos, e a sua relação com o conceito de sustentabilidade. A metodologia utilizada, quanto à abordagem, é qualitativa de caráter exploratório-descritivo e, quanto aos procedimentos técnicos, é uma revisão bibliográfica. Os resultados revelam que a ideia de sustentabilidade apenas é factível quando observados o funcionamento e a estrutura do sistema ambiental e humano, pois os processos de coevolução e/ou panarchy devem ser considerados na identificação dos elementos ou

subsistemas a serem preservados ou mantidos. A compreensão da complexidade e das interações dos sistemas ambientais e humanos é essencial na definição da ideia de sustentabilidade, pois estes evidenciam a essência de seu propósito.

Palavras-Chave: Visão holística e reducionista. Sistemas complexos. Interação humana e ambiental.

ABSTRACT

It is a consensus that the function and structure of the human and environmental systems are complex when analyzed in an isolated and/or integrated way. This subject is part of a current debate about sustainability. In this sense, this research has the goal of offering a literature review about the complexity of the integration between the human and environmental systems, and its relation with the concept of sustainability. This is a qualitative study with an exploratory-descriptive design as to the method, and a bibliographical review As to the technical procedures. The results reveal that the idea of sustainability is only feasible when the functioning of the human and environmental systems are observed, because the process of co-evolution, or panarchy, must be considered when identifying the elements or subsystems which should be preserved or kept. Comprehending the complexity of the interactions of the human and environmental systems is essential when defining the idea of sustainability, because they evidence the essence of its purpose.

Keywords: *Holistic and reductionist view. Complex systems. Human and environmental interaction.*

1. INTRODUÇÃO

Globalmente, a alteração ambiental, o crescimento populacional, o aumento das desigualdades e a crise financeira exigem ações com base em dados científicos fidedignos (POPA et al., 2014). No entanto, as principais correntes de estudos estão mal preparadas para enfrentar os problemas complexos dessas questões e a implementação da sustentabilidade (JAEGER et al., 2011).

Apesar de muitos estudos explorarem as interações de sistemas ambientais e humanos (VI-TOUSEK et al., 1997; GUNDERSON; HOLLING, 2002; LIU et al., 2007a,b), a complexidade nesses sistemas não foi totalmente compreendida (SCHNEIDER; LONDER, 1984; BERKES et al., 2003). Os sistemas ambientais e humanos, quando abordados de forma integrada, apresentam novos e complexos padrões e processos que não são revelados em estudos sociais e ambientais feitos separadamente (ROSA; DIETZ, 1998; LIU et al., 2007b).

Os seres humanos interagem com o ambiente de forma complexa desde o início da história humana (LAMBIN, 2005), mas as intensidades e o âmbito dessas interações tiveram um aumento desde a Revolução Industrial (LIU et al., 2007a). As mudanças ambientais globais relacionam-se com a interação entre os humanos (homem, corporações, máquinas, instrumentos, entre outros) e o ambiental (solo, água, biosfera, plantas, entre outros) (LIAO et al., 2012).

Nessa lógica, as investigações integradas têm o propósito de empregar diferentes visões para melhorar a compreensão dos sistemas ambientais e humanos (NEWELL et al., 2005). Para Lambin (2005) e Lassoie e Sherman (2010), essa compreensão deve exceder o pensamento interdisciplinar e considerar as interações dos sistemas ambientais e humanos, enxergando-os como integrantes dos ecossistemas e da biosfera.

Nesse contexto, este estudo tem como tema a complexidade dos sistemas humanos e ambientais, delimitando-se ao entendimento da interação desses sistemas e, dessa forma, à sua relação com o conceito da sustentabilidade. O objetivo geral consiste em realizar uma revisão teórica sobre a complexidade das interações dos sistemas ambientais (solo, água, ar, plantas, animais, entre outros) e humanos (pessoas, indústria, social, máquinas) e, a partir desta, comparar e analisar essa complexidade com a ideia de sustentabilidade.

Este estudo se justifica pela necessidade de compreender a complexidade das interações entre ambiente e humanos, representando prioridade urgente e crescente (COSTANZA et al., 1993; MICHENER et al., 2001; VAN DER LEEUW; REDMAN, 2002; NEWELL et al., 2005; LAMBIN, 2005; LIU et al., 2007b).

Este estudo está distribuído em seções. Na primeira, apresenta a introdução; na segunda caracteriza os procedimentos metodológicos; na terceira uma revisão da literatura; na quarta descreve os resultados e as discussões; na quinta seção as considerações finais.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A abordagem da pesquisa é qualitativa de caráter exploratório-descritivo cujo procedimento técnico é a revisão bibliográfica. A abordagem qualitativa possui aderência a este estudo, pois se analisam os principais resultados e conclusões de outros estudos com base em leituras, comparando e/ou complementando com outras pesquisas; tem-se, portanto, uma análise subjetiva. Já a pesquisa bibliográfica compreende prioritariamente artigos científicos e livros, os quais possuem rigor científico em sua elaboração.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nos sites dos periódicos da Science Direct, JSTOR, E&S – Ecology and society, Springer link, Wiley Online Library e do Google Scholar. As consultas foram realizadas no período de maio a junho de 2014, e o estudo compreende bibliografias nacionais e internacionais. As palavras-chave foram utilizadas em conjunto, porém individualizadas por idioma, onde todas apareceriam numa mesma bibliografia, tais como: a) em inglês: interaction, human, environmental, complex systems, sustainability; e b) em português: teoria dos sistemas, sistemas complexos, interação, humano, ambiental, conceito de sustentabilidade. O período temporal da pesquisa bibliográfica inicia-se com a publicação de Bertalanffy (1950) sobre os sistemas complexos e finaliza com as publicações de 2014.

O resultado da pesquisa bibliográfica foi de 460 estudos, distribuídos em: a) palavras-chave em inglês: Science direct (103), JSTOR (42), E&S - Ecology and society (4), Springer link (63), Wiley Online Library (44) e Google Scholar (161); b) palavras-chave em português: a pesquisa apenas foi realizada no Google Scholar (43). Após a identificação dos principais artigos e livros nos periódicos e sites, os seus títulos, resumos e as referências foram lidos e analisados para identificar concordância com o tema pesquisado, ou seja, as bibliografias foram priorizadas quanto à sua aderência ao objetivo do estudo. A leitura da bibliografia objetivou ampliar o conhecimento relacionado aos temas vinculados às palavras-chave. As referências que possuem relação com as palavras-chave foram recuperadas, e seus títulos, resumos e referências também foram lidos. Esse processo realizou-se até que as bibliografias começassem a se repetir e não encontrar novas para listar.

O escopo final da pesquisa resultou em 95 títulos cuja leitura se deu integralmente no período compreendido entre maio a agosto de 2014. Ressalta-se que este estudo não pretendeu esgotar a localização da bibliografia e nem teve pretensão de abordar todo o assunto, mas apenas coletar informações suficientes para responder adequadamente ao problema de pesquisa.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. VISÃO REDUCIONISTA E HOLÍSTICA

A investigação das partes (reducionista) e da totalidade (holística) de um fenômeno ou sistema refere-se à organização estrutural e funcional (SOULÉ, 1986). A primeira enfatiza os aspectos estruturais dos sistemas naturais e concentra-se em espécies e na dinâmica populacional de espécies isoladas; a segunda centra-se nos aspectos funcionais em nível macro, compreendendo fluxos de energias, reciclagem de nutrientes e a produtividade (DE LEO; LEVIN, 1997).

As ideias reducionistas foram dominantes por muitos anos, cujos fenômenos eram estudados em partes; assim, nem sempre geravam resultados satisfatórios, pois a visão holística é essencial na compreensão e análise do problema (BETIOL, 2012). Essa nova visão da totalidade deixou de estudar partes, separadamente, introduziu a análise de ambientes sistêmicos que influenciam nas diversas partes, antes analisadas de forma isolada (BETIOL, 2012).

As perspectivas estruturais e funcionais são úteis para delinear a preservação da integridade do ecossistema (KING, 1993); nessa lógica, as concepções reducionistas e holísticas se complementam na compreensão total de um sistema complexo (MORIN, 1991). Os aspectos estruturais e funcionais são interligados, e somente o estruturalismo e o funcionalismo puros não são apropriados, pois apesar de ambos serem validados, são restritos a certos limites (DE LEO; LEVIN, 1997). Dessa forma, entende-se que a visão holística abrange todas as áreas e interações em âmbito de sistema.

3.2. A TEORIA DOS SISTEMAS

A teoria geral dos sistemas é uma doutrina da totalidade (BERTALANFFY, 1950; 1968) cujas características consistem na formação de uns elementos sobre outros e a partir de outros; cada um poderia ser, ao mesmo tempo, a parte e o todo (KOESTLER, 1968). Sistema compreende um complexo de itens em interação, e a existência de sistema se refere à interação das partes (BERTALANFFY, 1968; MORIN, 1977).

Os sistemas podem ser abertos ou fechados. O organismo vivo enquadra-se no sistema aberto, pois há um enorme fluxo de entradas e saídas de elementos (BERTALANFFY, 1950); sendo assim, as causas e os efeitos que ocorrem são indeterminados em seu ambiente. A característica básica de cada sistema aberto é que ele se mantém em um estado de mudança perpétua de seus componentes (BERTALANFFY, 1950). Esses sistemas interagem com seu ambiente por meio do sistema de entradas e de saídas; esses aspectos permitem realizar funções específicas no ambiente funcional (BOSSSEL, 1999). Conforme este autor, a fronteira de um sistema é permeável frente às entradas e saídas do meio ambiente, definindo sua identidade e autonomia.

O sistema fechado (mecânico ou determinístico) tem como característica a hermética, por exemplo, as invenções dos seres humanos, tais como: máquinas, motores e tecnologias (FORRESTER, 1968). Nesse tipo de sistema as causas e os efeitos são determinísticos, pois o sistema fechado recebe influência de seu comportamento passado para explicar ou controlar ações futuras (FORRESTER, 1968).

Os sistemas podem ser categorizados, segundo Bossel (1998), em: a) estáticos: que não interagem com seu ambiente, portanto, não sofrem alterações (pedra); b) metabólicos: exigem uma taxa de transferência para viver de matéria, energia ou informação (cachoeira, rádio); c) autosustentáveis: possuem a capacidade de garantir os recursos necessários para viver, ou seja, matéria, energia e informação (organismos simples, robôs de exploração); d) seletivos: respondem seletivamente aos desafios ambientais (organismos que respondem à luz, ao calor, à água); e)

de proteção: protegem-se de influências adversas (organismos que constroem abrigos); f) auto-organizáveis: alteram sua estrutura para se adaptar a mudanças em seu ambiente (plantas, animais, organizações humanas); g) não isolados: modificam o seu comportamento em resposta à presença e às atividades de outros sistemas (predadores, empresas concorrentes); h) sensíveis: sentem dor, estresse, emoções (animais, humanos); i) conscientes: possuem a capacidade de reflexão sobre suas ações e seus impactos posteriores (humanos e primatas); e j) autorreprodutivos (MATURANA; VARELA, 1987): possuem a capacidade de reproduzir os sistemas de sua própria espécie (células do corpo, populações humanas, organismos). Essas dez categorias de sistemas possuem diferentes sensibilidades a perturbações e a estressores (SEN, 1983).

3.3. A TEORIA DA COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS

A teoria da complexidade contrapõe a abordagem reducionista, e apresenta uma nova forma de refletir sobre os problemas da atualidade, que consiste na abordagem holística (SARTORI et al., 2014). O pensamento complexo parte de fenômenos que, ao mesmo tempo, complementam-se, concorrem e se contrariam, o que Morin (1991) sintetizou por meio de um tetragrama (ordem, desordem, interação e organização). Prigogine (1987) complementa que a diferença entre simples e complexos, e entre desordem e ordem é muito estreita, e que a complexidade está profundamente vinculada às leis da natureza.

A epistemologia possui como bases fundamentais a pluralidade e a complexidade dos sistemas biológicos, antrópicos e físicos e, para que seja compreendida, necessita-se do paradigma da complexidade (MORIN, 1999). A teoria da complexidade, por sua vez, articula-se com a da transdisciplinaridade (NICOLESCU, 1999) e a da incerteza (HEISENBERG, 1962). A transdisciplinaridade impulsiona um novo entendimento de uma realidade com a junção de variáveis que passam entre, além e através dos sistemas, transcendendo assim a lógica clássica no entendimento da complexidade, abrindo a possibilidade de uma nova visão da realidade (NICOLESCU, 1999). A teoria da incerteza vincula-se à ideia de impossibilidade da descrição objetiva da natureza, sem mencionar o processo da observação, sendo esse fenômeno identificado como uma indeterminação (HEISENBERG, 1962). Morin (1999) complementa que a complexidade reconhece uma zona obscura, com bases irracionais e incertas, avançando, dessa forma, no conhecimento do risco, da desordem e da desorganização.

Na compreensão da totalidade de um sistema complexo, é essencial o conhecimento das variáveis específicas e de como as partes que compõem esse sistema se relacionam (MORIN, 1991; LEVIN, 1992). Dessa forma, é oportuno entender, examinar e aproveitar essa complexidade ao invés de tentar eliminá-la dos sistemas (AXELROD; COHEN, 2000).

As características dos sistemas complexos compreendem: a) a não linearidade e feedback, o que significa que pequenas causas podem gerar grandes resultados ou vice-versa; as interações geram feedback que podem aumentar ou diminuir os efeitos (STACEY, 1996; CILLIERS, 1998); b) o todo é diferente da soma de suas partes, ou seja, para alcançar o todo além das partes, devem-se somar as interações das partes (AXELROD, 1997); c) os sistemas dentro de sistemas (hierárquicos), ou seja, subsistemas, e com um enorme número de elementos que interagem de forma dinâmica (CILLIERS, 1998; ROE, 1998); e) os sistemas abertos, pois trocam perenemente energia e matéria com o ambiente exógeno (CILLIERS, 1998; CILLIERS, 2000); f) a auto-organização, a qual traduz a estrutura e o funcionamento de forma integrada (ANDERSON, 1999); g) a operacionalidade em condições distantes do equilíbrio, ou seja, precisam de um fluxo de energia contínuo para continuar organizado e sobrevivendo (CILLIERS, 1998); h) os elementos dos subsistemas não conhecem o comportamento do sistema total (CILLIERS, 1998). As características básicas, descritas por Prigogine (1987) compreendem a irreversibilidade e sem rumo, e estes são utilizados na descrição fundamental da natureza.

O padrão da organização gera a estabilidade do sistema e esta preserva o padrão da organização (CAPRA, 1997), o que Gondolo (1999) determina como conservação e/ou a manutenção de sua identidade. Os sistemas complexos, segundo Odum (1986), possuem os seguintes tipos de estabilidade: a) resistência; b) resiliência; c) multiestabilidade e d) estabilidade, instabilidade e nova estabilidade. Os sistemas complexos dificilmente desenvolvem a resistência e a resiliência de forma mútua; já a multiestabilidade, estabilidade, instabilidade e a nova estabilidade podem ser desenvolvidas pelo sistema ao mesmo tempo (ODUM, 1986).

A resiliência é a capacidade de um sistema no qual ocorreu um distúrbio retornar ao seu estado anterior da ocorrência desse distúrbio (DE ANGELES, 1980; PIMM, 1984; WESTMAN, 1987; CHRISTOFOLETTI, 1999); já a resistência compreende a capacidade da estrutura e a função do sistema permanecerem imunes aos distúrbios (HOLLING, 1973; HARWELL et al., 1977; WESTMAN, 1987; CHRISTOFOLETTI, 1999). As estabilidades de resiliência e resistência não expressam uma capacidade absoluta dos sistemas, pois isso ocorre apenas dentro de determinada amplitude de variação (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A multiestabilidade possui estados alternativos de estabilidade, podendo oscilar entre um ou outro, ao longo do tempo (CLARK et al., 1995); após um distúrbio num sistema, para voltar ao estado de estabilidade, um simples retorno às condições ambientais existentes pré-distúrbio pode não ser o suficiente (CLARK et al., 1995). A partir desse ponto crítico, surge a evolução: um novo tipo de estabilidade ainda não experimentada (HOLLING, 2001).

A evolução é uma reorganização de um sistema e, nesse estágio, o sistema possui alta resiliência, mas baixa interligação e fraca organização; portanto, esse ambiente é propício para experiências (HOLLING, 2001). Essas experiências, em muitos casos, irão falhar, mas os sobreviventes irão acumular os frutos das mudanças, gerando um período de crise e oportunidade (HOLLING, 2001). A quebra de sistema seguida de uma renovação é denominada por Schumpeter (1950) por destruição criativa, na qual a renovação de um sistema flui apenas quando o anterior rompe. Essa instabilidade do sistema promove a autogeração espontânea (PRIGOGINE, 1987) e, além disso, substitui o determinismo, dos sistemas fechados, promovendo uma visão mais clara das atividades humanas frente às ambientais (PRIGOGINE, 1989).

Essas estabilidades e mudanças nos ciclos adaptáveis ocasionadas por distúrbios provocados por perturbadores endógenos e exógenos, tanto em bases dos ecossistemas quanto em sistemas socioecológicos, denominam-se de coevolução (HOLLING, 2001). A panarchy é a junção das hierarquias e dos ciclos adaptáveis os quais formam a base do ecossistema (SIMON, 1977; HOLLING, 2001). Nessa estrutura hierárquica, os sistemas ambientais, humanos e os sistemas integrados (ambientais e humanos) (HOLLING, 1996; FOLKE et al., 1998) estão interligados por meio de intermináveis ciclos adaptativos de crescimento, acumulação, reestruturação e renovação. Dessa forma, a panarchy possui duas abordagens contraditórias, mas que são características de todos os sistemas complexos, a estabilidade (conservadora) e a mudança (criativa) (HOLLING, 2001; GUNDERSON; HOLLING, 2002).

3.4. A COMPLEXIDADE DAS INTERAÇÕES DOS SISTEMAS AMBIENTAIS E HUMANOS

Os sistemas humanos e ambientais são reconhecidos como grupos conectados e incorporados em interações mútuas (LIU et al., 2007a,b), ou entidades hierárquicas (GUNDERSON; HOLLING, 2002; ALLEN; STARR, 1982). Dessa forma, a compreensão do sistema humano e ambiental deve ser na forma integrada, ou seja: holística (ROSA; DIETZ, 1998; LOW et al., 1999; REDMAN, 1999; KINZIG, 2001; GUNDERSON; HOLLING, 2002). Porém, Newell et al. (2005) salientam que a longa separação das disciplinas ambientais e humanas provocou profundas divisões, e que a integração desse conhecimento não seria uma opção, mas sim, essencial.

As interações dos sistemas humanos e ambientais ocorrem em diferentes complexidades organizacionais, temporais e espaciais (LIU et al., 2007a,b; LASSOIE; SHERMAN, 2010). As complexidades organizacionais, segundo Liu et al. (2007a,b), subdividem-se em: a) interações mútuas entre humanos e ambiente via diversos níveis, formando complexas teias de interação (PICKETT et al., 2005); b) efeitos indiretos da produção e uso de produtos pelos humanos, que os isolam do ambiente natural, criando menos dependência, mas a produção dos produtos depende dos sistemas ambientais; c) propriedades emergentes revelam características únicas não pertencentes aos sistemas humanos e ambientais separados; d) vulnerabilidade é o grau em que as interações dos sistemas humanos e ambientais são propensos a vivenciar danos em função das alterações nas variáveis endógenas e exógenas (CHAPIN et al., 2003); e) limites e resiliência: neste caso, os limites correspondem a pontos de transição dentro de regimes (BROCK, 2003; BROCK et al., 2005; BROCK, 2006). O reflexo da degradação dos ecossistemas atinge os humanos apenas quando essas mudanças chegam aos limites suportados (MEA, 2005). E a resiliência é a capacidade de esses sistemas preservarem as estruturas e o funcionamento análogos após os distúrbios do contínuo desenvolvimento (HOLLING, 1973; GUNDERSON; HOLLING, 2002; WALKER; MEYERS, 2004; FOLKEA, 2006; WALKER et al., 2006).

As complexidades espaciais, segundo Liu et al. (2007a,b), subdividem-se em integrações: a) por meio de escalas espaciais encaixadas umas nas outras, do local ao global; b) para além das fronteiras, são os que ocorrem além dos limites ou das políticas do ecossistema, sendo assim, os efeitos dos humanos distantes afetam sistemas ambientais locais e/ou vice-versa; c) de heterogeneidade, que variam entre os locais. Essas interações se constituem em variáveis heterogêneas e que combinadas podem produzir comportamentos que afloram resultados muitas vezes inesperados (LAMBIN, 2005).

As complexidades temporais, conforme Liu et al. (2007a,b), subdividem-se em: a) o aumento dos impactos humanos em sistemas ambientais nas últimas décadas foi maior que qualquer outro em toda a história (KINZIG, 2001; ROOT et al., 2003; ROOT et al., 2005); b) os crescentes impactos ambientais em sistemas humanos aumentaram a vulnerabilidade deles em muitos lugares e até provocaram restrições para a própria subsistência humana (ALLISON; HOBBS, 2004); c) as heranças que correspondem aos impactos cumulativos e evolutivos das interações passadas em sistemas humanos e ambientais, influenciando as condições atuais e futuras (RICHTER; RICHTER, 2000; FRANCIS; FOSTER, 2001; THOMPSON et al., 2002); d) as escalas temporais que existem entre as interações dos sistemas humanos e ambientais e seus reflexos ecológicos e socioeconômicos que, em alguns casos, são lentos e quase imperceptíveis; e) o ritmo e o aumento de escalas que, no passado, geralmente, eram em nível local; hodiernamente, ocorrem cada vez mais em nível global e continental, com ritmo acelerado; e f) o aumento dos efeitos indiretos devido à rápida urbanização, entre outros, resultando em menor proporção de humanos participando diretamente de ecossistemas que fornecem recursos críticos, pois a maioria consome produtos fabricados e transportados de lugares distantes.

Nesse contexto, as interações dos sistemas humanos e ambientais evoluíram como o que ocorreram de interações diretas para indiretas, de adjacentes nas articulações para mais distantes, de escala local a escala global, e de padrões e processos simples para complexos (LIU et al., 2007a).

3.5. CONCEPÇÕES DE SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade mais citado na literatura, segundo Quental et al. (2011), compreende “[...] aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (WCED, 1987). Costanza e Patten (1995) definem a sustentabilidade como algo capaz de evitar a extinção, ou seja, de

sobreviver e se reproduzir. Blewitt (2008) define-a como uma ideia de que o futuro seja mais saudável do que o presente para se viver. Já para Bañon Gomis et al. (2011), seria uma forma habitual de agir; para tanto, as pessoas devem ter a intenção de evitar efeitos deletérios para os domínios ambientais, sociais e econômicos, consistente com uma relação harmoniosa que propicia uma vida promissora. Brinsmead e Hooker (2011) destacam que a sustentabilidade objetiva assegurar que os processos sejam preservados e melhorados no espaço, e para Benson e Craig (2014) consiste na aptidão dos sistemas em longo prazo continuarem exercendo uma atividade, um processo ou o uso de recursos naturais.

Os conceitos de sustentabilidade são entendidos como vagos (LÉLÉ, 1991; MEBRATU, 1998; MOLDAN et al., 2012), amorfos, com múltiplos significados (LÉLÉ, 1991; MEBRATU, 1998; CIEGIS et al., 2009), inúteis (COSTANZA; PATTEN, 1995; CIEGIS et al., 2009), insuficientes para conduzirem as transições na adaptação das relações humanas com a biosfera para o futuro (ADAMS, 2006), abrangentes, congregando uma ampla gama de ideias (LÉLÉ, 1991) e pouco explicados (SARTORI et al., 2014). A conceitualização da sustentabilidade deveria ser mais específica, sem que houvesse interpretações incorretas ou subjetivas (GATTO, 1995). Conforme Cabezas et al. (2005) e Voinov e Farley (2007), apesar de inexistir um consenso desse conceito, há um reconhecimento crescente da degradação dos sistemas ambientais causada pelo sistema humano.

A sustentabilidade avança em direção a uma compreensão das condições humanas ao meio ambiente com a dupla finalidade de satisfazer as necessidades da sociedade e sustentar os sistemas de suporte da vida no planeta (KATES et al., 2001; RAVEN, 2002; LAMBIN, 2005). A compreensão das condições humanas e ambientais refere-se, entre outras, às integrações dos sistemas ambientais e humanos que representam o escopo central das pesquisas sobre sustentabilidade (WAGGONER; AUSUBEL, 2002; CLARK; DICKSON, 2003; FOLKE et al., 2002; CABEZAS et al., 2005; YOUNG et al., 2006; LIU et al., 2007a,b). A essência da sustentabilidade é a adequada gestão da interação ambiental e humana, com especial ênfase às interações que envolvam riscos aos processos ambientais, essencialmente aqueles que dão suporte à vida (BRINSMEAD; HOOKER, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A visão holística, abordando – de forma mútua – a organização estrutural e funcional do sistema (ambiental e humano), compreendendo a análise das partes, das interações e do todo, é a forma mais adequada de compreensão e estabelecimento da sustentabilidade, o que também se adere às ideias de Morin (1991), King (1993), De Leo e Levin (1997), Brinsmead e Hooker (2011) e Seager et al. (2013). Nessa lógica, a sustentabilidade deve abranger as dimensões ambientais, sociais e econômicas que, por sua vez, devem ser compreendidas e analisadas de forma isolada por dimensão e também as interações entre, além e através das dimensões para compreender a sustentabilidade, o que vem ao encontro da visão holística, também reconhecida como sistêmica.

A sustentabilidade abrange os elementos dos sistemas abertos e fechados. No primeiro, as causas e os efeitos são indeterminados; mantém-se em perpétua mudança de seus elementos, e sua fronteira é permeável, corroborado por Bertalanffy (1950), Koestler (1968), Morin (1977) e Bossel (1999). Apesar dos sistemas fechados serem determinísticos, os mesmos também interagem com outros elementos do sistema como um todo, por exemplo, um motor consome energia e libera fluido e/ou emissões atmosféricas. Os sistemas, aberto e/ou fechado, são classificados por dez diferentes categorias segundo Bossel (1999), porém todos interagem ao mesmo tempo quando inseridos num mesmo ecossistema, e são justamente essas interações que promovem a complexidade do sistema.

A complexidade dos sistemas articula-se com a teoria da transdisciplinaridade e da incerteza: não existe uma verdade absoluta e/ou uma descrição objetiva do fenômeno (sistema), porém uma nova visão da realidade, corroborada por Nicolescu (1999) e Heisenberg (1962). Entrelaçando essa lógica da complexidade dos sistemas com a sustentabilidade, percebe-se que esta última também não pode ser considerada absoluta e ou abordada sob uma descrição objetiva, pois assim como os sistemas possuem a possibilidade de alteração ou mudanças no decorrer do tempo, a concepção de sustentabilidade necessita acompanhá-la. Esse raciocínio vem ao encontro das críticas atribuídas à definição da sustentabilidade: vago, múltiplos significados, abrangente, junção de muitas ideias, entre outras (ver em LÉLÉ, 1991; MEBRATU, 1998). Portanto, a sustentabilidade apresenta essas características, em especial, de ser flexível e indefinida, pois permitem que posições inconciliáveis encontrem áreas comuns sem comprometer ambas as posições.

As concepções de sustentabilidade, em sua maioria, determinam que um sistema deve ser preservado, a um nível, e realizado dentro de certos limites, num futuro indefinido (VOINOV; FARLEY, 2007). Silva Neto e Basso (2010) destacam que é necessário especificar o que sustentar e alertam que, de qualquer forma, a sociedade no futuro será diferente. Nesse caso, questiona-se sob o ponto de vista da sustentabilidade: o que deve ser preservado e/ou mantido e por quanto tempo? A resposta a essas questões é complexa, pois com base nas interações dos sistemas (ambiental e humano), considerando as complexidades organizacionais, espaciais e temporais (apontadas por LIU et al., 2007a,b; LASSOIE; SHERMAN, 2010), a panarchy (descritas por HOLLING, 2001), e a destruição criativa (ver em SCHUMPETER, 1950) nota-se que os sistemas estão em perpétuas mudanças e sem rumo de direção. Bossel (1999) aponta que os sistemas (ambiental e humano) não podem ser mantidos no mesmo estado, pois têm a necessidade de evoluir; essa capacidade de evolução e mudança deve ser preservada nos sistemas para serem considerados sustentáveis. Quental et al. (2011) destacam que a panarchy promove a sustentabilidade de um sistema. Schumpeter (1950) defende que a criação do novo está relacionada com a destruição necessária do velho, e considera a preservação como uma estagnação. Voinov e Farley (2007) destacam que a destruição ou desaparecimento de um subsistema contribui para a sustentabilidade do sistema total fornecendo, assim, recursos e espaço para a reorganização e a adaptação. Costanza e Patten (1995) defendem que um sistema, continuamente, elimina seus componentes para proteger sua própria existência: sua sustentabilidade.

Diante desses debates é prudente apresentar a definição de sustentabilidade defendida por Norton (1992); este entende que a sustentabilidade consiste no relacionamento entre os sistemas humanos e naturais dinâmicos, no sentido amplo; nele, as mudanças ocorrem de forma lenta, de tal forma que a vida humana pode continuar, indefinidamente, desenvolvendo-se, mas observando uma relação na qual os efeitos das atividades humanas continuem dentro de limites e não degradem a saúde e a integridade dos sistemas de auto-organização que abastecem os recursos naturais para essas atividades. Já Costanza (1992) destaca que a sustentabilidade envolve a capacidade do sistema de manter a sua estrutura e a sua função ao longo de um período temporal, frente à resiliência. Nota-se que esses conceitos incluem a ideia da complexidade dos sistemas ambientais e humanos e contribuem robustamente para a discussão realizada na sequência deste estudo.

A sustentabilidade do sistema (ambiental e humano) apenas pode ocorrer caso sejam respeitados os ciclos de renovação e estabilidade, compreendendo a panarchy, ocorrendo, naturalmente, sem interferência de ambas as partes, principalmente a humana. Holling (1996) aponta que a preservação artificialmente de uma variável (elemento ou subsistema) pode tornar um sistema mais homogêneo; conseqüentemente, menos resiliente e mais propenso à degradação via distúrbios. A interferência, principalmente do sistema humano no ambiental, caso fosse realizada para manipulá-lo, traria dificuldades para que fossem tomadas decisões sobre quais

elementos (subsistemas) interferir, dessa forma, os esforços devem ser direcionados ao sistema como um todo, ou seja, a preservação da biosfera. Ao encontro dessa afirmação, Holling (2001), Silva Neto e Basso (2010) destacam que os sistemas totais ou maiores (ex.: biosfera) evoluem lentamente podendo levar até milhões de anos; os sistemas inferiores (subsistemas) evoluem, adaptam-se, ou desaparecem rapidamente, podendo ocorrer em questão de anos ou dias.

Portanto, a direção da sustentabilidade depende de um resultado imprevisível gerado pelo processo evolutivo. Esta direção deve permitir a mudança perpétua, o que não pode ser planejado e previsto com confiança e precisão, cuja ideia é corroborada por Bossel (1999).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade representa um dos assuntos mais discutidos e estudados na atualidade; mesmo assim, a compreensão e o estabelecimento de seu conceito ainda desafiam muitos estudiosos e cientistas. Dessa forma, objetivou-se, por meio deste estudo, realizar uma revisão bibliográfica das complexidades dos sistemas humanos e ambientais e de sua relação com o conceito da sustentabilidade.

Os principais resultados encontrados revelam que as visões reducionista e holística devem ser utilizadas – de forma complementar e integrada – no estudo da sustentabilidade, compreendendo as dimensões triple bottom line, pois a reducionista se refere à estrutura e a holística às funções. Com a união dessas duas abordagens, tem-se uma visão da integridade do sistema (ambiental e humano) abordando as dimensões e suas interações.

A sustentabilidade, devido às características da complexidade dos sistemas, não pode ser considerada absoluta e/ou descrita com objetividade, pois os sistemas ambientais e humanos estão em perpétuas mudanças. Graças a essa reflexão que a sustentabilidade apresenta um conceito flexível e indefinido; dessa forma, adere-se a todas as áreas inseridas nos sistemas ambientais e humanos.

A complexidade dos sistemas ambientais e humanos, considerando as interações organizacionais, espaciais e temporais, não apresenta uma direção ou um rumo definido; até mesmo uma projeção torna-se difícil creditada às evoluções de suas próprias interações. Portanto, a sustentabilidade, por sua vez, objetiva preservar ou manter o sistema, porém a definição do que preservar ou manter é complexa e difícil de identificar, mas salienta-se que devem ser preservadas as estruturas hierárquicas superiores, e estas devem compreender os principais elementos já as estruturas hierárquicas inferiores compreendem os elementos complementares a serem preservados ou mantidos.

As estruturas hierárquicas inferiores de um sistema devem ser revistas em períodos temporais definidos para ajustá-las à panarchy do sistema, e para que estas ocorram sem a interferência: pelo processo natural de evolução. Porém, é oportuno salientar que é necessário observar as evoluções que estão ocorrendo em função das alterações provocadas no sistema ambiental pelo humano, especialmente nas estruturas hierárquicas inferiores, pois as evoluções podem não representar o reflexo natural do processo, mas induzido, podendo-se preservar ou manter elementos ou subsistemas que estariam marcados por sofrerem o processo panarchy pelas leis da própria natureza.

Nesse contexto, é arriscada a escolha de um subsistema existente para ser preservado ou mantido via sustentabilidade; para tanto, é sugerido que se pense na possibilidade de reestabelecer (projeção) as formas originais dos sistemas, principalmente o ambiental e, com isso, entender as transformações que ocorrem sem a intervenção humana como parte da própria evolução dos

sistemas. Nessa lógica, a intervenção do que deve ser preservado e mantido da posição atual para o futuro pode provocar uma oposição contra a própria coevolução, provocando distúrbios maiores ainda.

REFERÊNCIAS

ADAMS, W. M. The Future of Sustainability: Re-Thinking Environment and Development in the Twenty-First Century. Gland, Switzerland: World Conservation Union, p. 1-18, 2006.

ALLEN, T. F. H.; STARR, T. B. Hierarchy: perspectives for ecological complexity. Chicago: University of Chicago Press, 1982.

ALLISON, H. E.; HOBBS, R. J. Resilience, adaptive capacity, and the “Lock-in Trap” of the Western Australian agricultural region. *Ecology and Society*, v. 9, p. 3, 2004.

ANDERSON, P. Complexity Theory and Organization Science. *Organization Science*, v. 10, n. 3, p. 216-232, may-june 1999.

AXELROD, R. M. The Complexity of Cooperation: agent-bases models of competition and collaboration. New Jersey: Princeton University Press, 1997.

AXELROD, R. M.; COHEN, M. D. Harnessing complexity: organizational implications of a scientific frontier. New York: The Free Press, 2000.

BAÑÓN GOMIS, A. J. et al. Rethinking the Concept of Sustainability. *Business and Society Review*, v. 116, p. 171–191, 2011.

BETIOL, V. M. Sistemas, complexidade, e os sistemas ambientais na prática no Brasil. *Revista Geonorte*, v. 1, n. 4, p. 91-101, 2012.

BENSON, M. H.; CRAIG, R. K. The end of sustainability. *Society & natural resources. An International Journal*, v. 27, n. 7, p. 777-782, 2014.

BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2003.

BERTALANFFY, L.V. An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 1, n. 2, p. 134-165, 1950.

BERTALANFFY, L. V. Teoria geral dos sistemas. 1. ed. Petrópolis: Vozes, 1968.

BLEWITT, J. Understanding Sustainable Development. London: Earthscan Publishers, 2008.

BOSSEL, H. Earth at a crossroads: paths to a sustainable future. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

BOSSEL, H. Indicators for sustainable development: theory, method, applications – a report to the Balaton Group. Technical Report, Internacional Institute for Sustainable Development, Canada, 1999.

BRINSMEAD, T. S.; HOOKER, C. Complex systems dynamics and sustainability: conception, method and policy. In: HOOKER, C. Handbook of the philosophy of science. North-Holland, Amsterdam, 2011.

BROCK, W. A. Tipping points, abrupt opinion changes, and punctuated policy change, Nº 28, Working papers, Wisconsin Madison - Social Systems, 2003.

BROCK, W. A.; CARPENTER, S. R.; SCHEFFER, M. Regime shifts, environmental signals, uncertainty and policy choice. In: NORBERG, J. ; CUMMING, G. (eds). A theoretical framework for analyzing social-ecological systems. New York: Columbia University Press, 2005.

BROCK, W. A. Tipping points, abrupt opinion changes, and punctuated policy changes. In: REPE-TTO, R. (ed). Punctuated Equilibrium and the Dynamics of U.S. Environmental Policy.

Abrupt Opinion Changes, and Punctuated Policy Change. Connecticut: Yale University Press, New Haven, p. 47–77, 2006.

CABEZAS, H. et al. Sustainable systems theory: ecological and other aspects. Journal of Cleaner Production, v. 13, n. 5, p. 455-467, 2005.

CAPRA, F. A. Teia da vida: uma nova compreensão dos sistemas vivos - Alfabetização Ecológica. São Paulo: Cultrix - Amana-Key, 1997.

CHAPIN, F. S. et al. Science and technology for sustainable development special feature: illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., v. 100, p. 8080–8085, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999.

CIEGIS, R. et al. The concept of Sustainable development and its use for sustainability scenarios. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, v. 20, n. 2, p. 28–37, 2009.

CILLIERS, P. Complexity and postmodernism: understanding complex systems. 1. ed. Routledge, 1998.

CILLIERS, P. What can we learn from a theory of complexity? Emergence, v. 1, n. 2, p. 23-33, 2000.

CLARK, N.; PEREZ-TEJO, F.; ALEN, P. The nature os systems. In: ELGAR, E. Evolutionary dynamics and sustainable development: a systems approach. Aldershor, p. 19-41. 1995.

CLARK, W. C.; DICKSON, N. M. Sustainability science: the emerging research program. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 100, n. 14, p. 8059–8061, 2003.

COSTANZA, R. Toward an operational definition of ecosystem health. In: COSTANZA, R., HASKELL, B. D., NORTON, B. G. (Eds.). Ecosystem health: new goals for environmental management. Washington, DC: Island Press, 1992. p. 239–256.

COSTANZA, R. et al. Modeling complex ecological economic systems: towards an evolutionary dynamic understanding of people and nature. BioScience, v. 43, p. 545–555, 1993.

COSTANZA, R.; PATTEN, B. Defining and predicting sustainability. Ecol. Econ., v. 15, p. 193-196, 1995.

DE ANGELES, D. L. Energy flow, nutrient cycling, and ecosystem resilience. Ecology, v. 61, p. 764–771, 1980.

DE LEO, G. A.; LEVIN, S. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. Conservation Ecology, v. 1, n. 1, p. 3, 1997.

FOLKE, C.; BERKES, F.; COLDING, J. Ecological practices and social mechanisms for building resilience and sustainability. In: BERKES F.; FOLKE C., editors. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 1998.

FOLKE, C. et al. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, v. 31, n. 5, p. 437–440, 2002.

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

FORRESTER, J. M. Principles of systems. Cambridge: Wright - Allen Press Inc., 1968.

FRANCIS, D. R.; FOSTER, D. R. Response of small lake systems to changing land use history in New England. *The Holocene*, v. 11, p. 301–312, 2001.

GATTO, M. Sustainability: is it a well defined concept? *Ecological Applications*, v. 5, n. 4, p. 1181–1184, 1995.

GONDOLO, G. C. F. Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental: Bacia do Guarapiranga, região metropolitana de São Paulo. São Paulo: Annablume, 1999.

GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S. Panarchy: understanding transformation in human and natural systems. Washington, D.C: Island Press, 2001.

HARWELL, M. A.; CROPPER JR., W. P; RAGSDALE, H. L. Nutrient recycling and stability: a reevaluation. *Ecology*, v. 58, p. 660–666, 1977.

HEISENBERG, W. Physics and philosophy: the revolution in modern science. New York: Harper Torchbooks, 1962.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annu. Rev. Ecol. System*, v. 4, p.1–23, 1973.

HOLLING, C. S. What Barriers? What Bridges? In: GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S.; LIGHT, S. S. (Eds.). Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions. New York: Columbia Univ. Press, p. 3–34. 1996.

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

JAEGER, C. C.; TABARA, J. D.; JAEGER J. European Research on Sustainable Development. Berlin: Springer-Verlag; 2011.

KATES, R.W. et al. Sustainability science. *Science*, v. 292, p. 641–642, 2001.

KING, A.W. Consideration of scale and hierarchy. In: WOODLEY, J; KAY S. J.; FRANCIS G., editors. Ecological integrity and the management of ecosystems. Canada: St. Lucie Press, 1993. p. 19–46.

KINZIG, A. P. Bridging disciplinary divides to address environmental and intellectual challenges. *Ecosystems*, v. 4, p. 709–715, 2001.

KOESTLER, A. Le cheval dans la locomotive. Paris: Calmann-Lévy, 1968.

LAMBIN, E. F. Conditions for sustainability of human–environment systems: information, motivation, and capacity. *Global Environmental Change*, v. 15, p. 177–180, 2005.

LASSOIE, J. P.; SHERMAN, R. E. Promoting a coupled human and natural systems approach to addressing conservation in complex mountainous landscapes of Central Asia. *Frontiers of Earth Science in China*, v. 4, n. 1, p. 67-82, 2010.

LÉLÉ, S. M. "Sustainable Development" A Critical Review. *World Development*, v. 19, n. 6, p. 607-621, 1991.

LEVIN, S. A. The problem of pattern and scale in ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture. *Ecology*, v. 73, p.1943–1967, 1992.

LIAO, W.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G. Thermodynamic analysis of human–environment systems: a review focused on industrial ecology. *Ecological Modelling*, v. 228, p. 76-88, 2012.

LIU, J. et al. Coupled human and natural systems. *Ambio*, v. 36, n. 8, 2007a.

LIU, J. et al. Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, v. 317, p.1513, 2007b.

LOW, B. et al. Human ecosystem interactions: a dynamic integrated model. *Ecol. Econ.*, v. 31, p. 227–242, 1999.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *The tree of knowledge: the biological roots of human understanding*. Boston, MA, US: New Science Library/Shambhala Publications, 1987.

MEBRATU, D. Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, v. 18, n. 6, p. 493-520, 1998.

MICHENER, K. W. et al. Defining and unraveling biocomplexity. *BioScience*, v. 51, p. 1018-1023, 2001.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.

MOLDAN, B. et al. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators*, v.17, p. 4-13, 2012.

MORIN, E. *La méthode. 1. La nature de la nature*. Paris: Seuil, 1977.

MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 1991.

MORIN, E. *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du future*. São Paulo: UNESCO, 1999.

NEWELL, B. et al. A conceptual template for integrative human-environment research. *Global Environmental Change*, v. 15, p. 299-307, 2005.

NICOLESCU, B. *O manifesto da transdisciplinaridade*. Trad. Lúcia Pereira de Souza. São Paulo: Trion, 1999.

NORTON, B. G. A new paradigm for environmental management. In: COSTANZA, R., HASKELL, B. D., NORTON, B. G. (Eds.). *Ecosystem Health: new goals for environmental management*. Washington, DC: Island Press, 1992. p. 23–41.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

PIMM, S. L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, v. 307, p. 321–326, 1984.

PICKETT, S. et al. Biocomplexity in coupled natural human systems: a multidimensional framework. *Ecosystems*, v. 8, p. 225–232, 2005.

- POPA, F. et al. A pragmatist approach to transdisciplinarity in sustainability research: from complex systems theory to reflexive science. *Futures*, v. 20, 2014.
- PRIGOGINE, I. Exploring complexity. *European Journal of Operational Research*, v. 30, n. 2, p. 97-103, 1987.
- PRIGOGINE, I. The philosophy of instability. *Futures*, v. 21, n. 4, p. 396-400, 1989.
- QUENTAL, N. et al. Sustainability: characteristics and scientific roots. *Environment, Development and Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 257-276, 2011.
- RAVEN, P. H. Science, sustainability, and the human prospect. *Science*, v. 297, n. 5583, p. 954-958, 2002.
- REDMAN, C. L. Human dimensions of ecosystem studies. *Ecosystems*, v. 2, p. 296–298, 1999.
- RICHTER, B. D.; RICHTER, H. E. Prescribing flood regimes to sustain riparian ecosystems along meandering rivers. *Conserv. Biol.*, v. 14, p.1467–1478, 2000.
- ROE, E. Taking complexity seriously: policy analysis, triangulation and sustainable development. Boston (MA): Kluwer Academic Publishers, 1998.
- ROSA, E. A.; DIETZ, T. Climate change and society: speculation, construction and scientific investigation. *International Sociology*, v. 13, p. 421–455, 1998.
- ROOT, T. et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, v. 421, p. 57–60, 2003.
- ROOT, T. et al. Human-modified temperatures induce species changes: joint attribution. *Proc. Natl. Acad. of Sci. U.S.A.*, v.102, p. 7465–7469, 2005.
- SARTORI, S. et al. Sustainability and sustainable development: A taxonomy in the field of literature. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo v. XVII, n. 1, p. 1-20, jan.-mar. 2014.
- SCHNEIDER, S. H.; LONDER, R. The coevolution of climate and life. San Francisco, CA: Sierra Club Books, 1984.
- SCHUMPETER, J. A. Capitalism, socialism and democracy. New York: Harper & Row, 1950.
- SEAGER, T. P. et al. Environmental sustainability, complex systems, and the disruptive imagination. *Environ Syst Decis.*, v. 33, p. 181-183, 2013.
- SEN, A. Poverty and famines: an essay on entitlement and deprivation. Oxford University Press, 1983.
- SIMON, H. A. The organization of complex systems. *Boston Studies in the Philosophy of Science*, v. 54, p. 25-261, 1977.
- SILVA NETO, B.; BASSO, D. A ciência e o desenvolvimento sustentável: para além dopositivismo e da pós-modernidade. *Ambiente & Sociedade*, v. XIII, n. 2. p. 315-329. jul.-dez. 2010.
- SOULÉ, M. E. Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Massachusetts, USA: Sinauer, Sunderland, 1986.
- STACEY, R. D. Complexity and creativity in organizations. San Francisco: Berret-Koehler Publishers, 1996.

THOMPSON, L. et al. Paleoclimate: Kilimanjaro ice core records: evidence of holocene climate change in tropical Africa. *Science*, v. 298, p. 589, 2002.

VAN DER LEEUW, S. E.; REDMAN, C. L. Placing archaeology at the center of socio-natural studies. *Am. Antiquity*, v. 67, p. 597–605, 2002.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

VOINOV, A.; FARLEY, J. Reconciling sustainability, systems theory and discounting. *Ecological Economics*, v. 63, p. 104-113, 2007.

WAGGONER, P. E.; AUSUBEL, J. H. A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 12, p. 7860–7865, 2002.

WALKER, B.; MEYERS, J. A. Thresholds in ecological and social–ecological systems: a developing database. *Ecology and Society*, v. 9, n. 2, 2004.

WALKER, B. H. et al. Exploring resilience in social-ecological systems through comparative studies and theory development: introduction to the special issue. *Ecology and Society*, v. 11, n. 1, p. 12, 2006.

WESTMAN, W. E. Measuring the inertia and resilience of ecosystems. *BioScience*, v. 28, n. 11, p. 705-710, 1978.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). *Our common future: The Brundtland report*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

YOUNG, O. R. et al. The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 304-316, 2006.