

# VULNERABILIDADE E MODELOS DE SIMULAÇÃO COMO ESTRATÉGIAS MEDIADORAS: contribuição ao debate das mudanças climáticas e ambientais

Flávia F. FEITOSA<sup>1</sup>

Antônio Miguel V. MONTEIRO<sup>1</sup>

## Resumo

O desenvolvimento de políticas urbanas adequadas aos atuais desafios impostos pelas mudanças climáticas e ambientais demanda uma compreensão cada vez mais apurada dos processos sociais e ecológicos que regem o sistema urbano e deve contar com a mobilização de profissionais de distintas áreas do conhecimento. Para avançar nesta direção integradora, propomos a adoção de estratégias mediadoras que promovam uma "transposição de fronteiras", sejam elas entre disciplinas, entre ciência e política, ou entre ciência e sociedade. Como ponto de partida, é importante o estabelecimento de conceitos mediadores, ou seja, palavras já adotadas como conceitos em diferentes disciplinas, com significados negociáveis, que permitem que distintas partes discutam sobre a multidimensionalidade de questões de interesse comum. Em estudos que lidam com as relações sociedade-natureza, apresentamos como o termo vulnerabilidade assume uma posição estratégica como conceito mediador. Adicionalmente, para que um conceito mediador seja materializado de maneira a subsidiar estratégias de planejamento, surge a necessidade de objetos mediadores que permitam agir em situações de incerteza e interesses divergentes. Neste artigo, apontamos os modelos de simulação computacional como objetos mediadores promissores, que viabilizam uma leitura do sistema urbano que compartilha percepções e experiências e possibilita uma exploração "empírica" dos processos inerentes às dinâmicas de vulnerabilidade.

**Palavras-chave:** Conceito mediador. Objeto mediador. Vulnerabilidade. Modelos de simulação computacional.

## Abstract

### **Vulnerability and Simulation Models as Mediation Strategies: Contribution to the Debate on Climate and Environmental Change**

The development of urban policies appropriate to the current challenges posed by climate and environmental changes demands a more accurate understanding of social and ecological processes governing the urban system, and must rely on the mobilization of professionals from different fields of knowledge. To advance in this direction, we propose the adoption of mediation strategies able to 'cross boundaries' between disciplines, between science and policy, and between science and society. As a starting point, it is important to establish boundary concepts, i.e., words and concepts that have been adopted by different disciplines, with negotiable meanings, which allow different parts to discuss on the multidimensionality of issues of common interest. For studies dealing with the relation between nature and society, we show how the term 'vulnerability' has assumed a strategic position as boundary concept. In addition, in order to subsidize planning strategies, boundary concepts should be materialized as boundary objects that allow us to act in situations of uncertainty and divergent interests. This article presents computational simulation models as promising boundary objects, which allow users to share insights and experiences and enable an 'empirical' exploration of processes that are inherent to vulnerability dynamics.

**Key words:** Boundary concept. Boundary object. Vulnerability. Computational simulation models.

<sup>1</sup> Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE) - Av. dos Astronautas, 1758. Jd. da Granja. São José dos Campos, SP, Brasil. CEP: 12227-010 - E-mails: {flavia, miguel}@dpi.inpe.br

## INTRODUÇÃO

A elaboração de respostas adequadas aos atuais desafios das mudanças climáticas e ambientais representa uma tarefa complexa, que deve envolver a coordenação de inúmeras instituições nos mais diversos níveis para a elaboração de estratégias complementares de mitigação e adaptação em distintas escalas geográfico-territoriais e político-institucionais. No entanto, ao longo de boa parte do histórico do desenvolvimento de políticas climáticas, a vertente dominante na mobilização científica para as discussões políticas priorizou a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), apontados como causa do aquecimento global e possuindo um componente antropogênico importante na intensificação de sua produção. Visando um aumento de sua efetividade, tais políticas assumiram um caráter global, internacional e de longo prazo, que busca a participação dos maiores emissores mundiais de GEE (KLEIN, ERIKSEN et al., 2007). Em segundo plano permaneceu a questão da adaptação, que foi, em um primeiro momento, frequentemente apontada como uma estratégia “*do nothing*” e de impacto nocivo aos esforços voltados ao combate das mudanças climáticas (PIELKE, PRINS et al., 2007; GIDDENS, 2010).

Consequentemente, a ciência e prática da adaptação, embora evoluindo rapidamente, ainda permanece em estágio menos desenvolvido. O escopo dos instrumentos que configuram o Regime Internacional de Mudanças Climáticas, como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) e o Protocolo de Kyoto, ilustram a visão dominante de “descarbonização” da economia global. No Brasil, também o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, lançado em setembro de 2008, descreve os esforços iniciais do país para a realização de inventários de emissões de GEE e de providências para implementar a Convenção, enquanto avanços na avaliação de medidas de adaptação permanecem previstos para projetos posteriores (CIM, 2008).

Entretanto, independente do nosso grau de sucesso em relação à redução das emissões para as mudanças climáticas e ambientais já em curso, as políticas de mitigação, sozinhas, serão insuficientes para tratar dos impactos a elas relacionados. As complexidades produzidas pelas novas realidades de um planeta e um Brasil cada vez mais urbanos (UNFPA, 2007; IBGE, 2010), introduzem novas e importantes questões. Uma consequência direta é que as cidades intensificam seu papel como o *habitat* humano dominante amplificando seu peso e sua influência nas decisões em escalas globais, regionais e locais.

Eventos climáticos, como chuvas intensas localizadas ou secas mais agudas e prolongadas, aparecem nas projeções dos modelos de clima global mais recentes e nos modelos ajustados para as escalas regionais (IPCC, 2007; MARENGO, AMBRIZZI et al., 2009). Estes eventos podem ser gatilhos para processos naturais como escorregamentos e fluxos de massa ou transbordamentos, que tenderão a ocorrer com maior frequência e intensidade. Quando associados a características de uso do solo urbano, situações como a catástrofe ocorrida na região serrana do Rio de Janeiro em Janeiro de 2011, que resultou em mais de 900 mortos e 29.000 desabrigados ou desalojados, ou as inundações do Rio Negro em Manaus e suas consequências para os assentamentos em seu entorno, ou ainda os alagamentos em grandes cidades como São Paulo, passam a fazer parte de um quadro de possibilidades cada vez mais frequentes. Em um modelo de desenvolvimento que preserva e intensifica um quadro de assimetrias na vulnerabilidade social de grupos e famílias, associado à persistência de condições inadequadas de vida urbana, as discussões em torno das orientações das estratégias de mitigação e adaptação das políticas climáticas podem ser importantes novos catalisadores para o necessário debate sobre um modelo de desenvolvimento urbano que também acomode nosso futuro climático.

Este artigo traz o argumento de que nossa atual realidade demanda o desenvolvimento de novos protocolos de tomada de decisões frente a cenários incertos de mudanças climáticas, capazes de compensar o atual desequilíbrio causado pela ênfase diferenciada dada às estratégias de mitigação em relação àquelas de adaptação. Tal protocolo deverá

atuar como uma reação ao que Lemos e Rood (2010) chamam de “falácia da incerteza”, ou seja, a crença de que uma redução sistemática da incerteza sobre o futuro climático é indispensável ao desenvolvimento de políticas e racionalização dos processos de tomada de decisão (LEMONS; ROOD, 2010). Ao combater a falácia da incerteza, reforçamos o fato de que a existência de incertezas não pode, em hipótese alguma, servir como justificativa para a inibição de políticas pró-ativas. Ao contrário, o processo de elaboração e implementação destas políticas deve incorporar as incertezas intrínsecas ao problema e assumir que terá que lidar com uma variação de condições climáticas mais ampla do que antes. Além disso, e muito importante, estas incertezas não decorrem apenas de processos climáticos, mas também de uma série de outros fatores como condições de mercado, disponibilidade de recursos ou alternativas tecnológicas, assim como questões relacionadas à legitimidade, comunicação e confiança (DESSAI, HULME et al., 2009; LEMOS; ROOD, 2010).

O desenvolvimento de políticas robustas e efetivas de adaptação demanda uma compreensão cada vez mais apurada das cidades e do sistema urbano que elas suportam. As cidades tomadas como *sistemas socioecológicos* (OSTROM, 2007; DU PLESSIS, 2008; GROVE, 2009; OSTROM, 2009) possibilitam observar melhor o sinergismo existente entre os processos sociais e os ecossistemas sobre os quais eles se desenvolvem. Este olhar traz o potencial para a análise do problema com estratégias que possam lidar empiricamente com dinâmicas complexas, onde componentes sociais e biofísicos estão interligados. Permite e aposta em uma possibilidade de exploração empírica, computacional, de abordagem metodológica mista, para estudar as possibilidades de soluções cooperativas, sem deixar de observar as assimetrias dos atores envolvidos, para os diversos dilemas sociais que confrontam estes sistemas.

Como as cidades passam a ser o *locus* da integração das políticas para respostas às mudanças climáticas e ambientais em curso, que devem incluir os desejos e comportamentos dos diferentes grupos que nelas buscam por qualidade e direito à vida, para a elaboração de estudos que busquem avançar nesta direção integradora, propomos neste trabalho o estabelecimento de **estratégias mediadoras** capazes de promover uma constante “transposição de fronteiras” (KLEIN, 1996), sejam elas entre disciplinas, entre ciência e política, entre ciência e domínios profissionais, ou entre ciência e sociedade civil.

Na tentativa de construir bases que facilitem o compartilhamento de conhecimentos e ideias entre membros de distintas comunidades, Star e Griesemer (1989) apresentaram o conceito “objeto de fronteira” (*boundary objects*), considerado pelos autores como um elemento chave para desenvolver e manter a coerência entre mundos sociais que se interceptam. Para eles, um objeto de fronteira deve ser flexível o bastante para adaptar-se às necessidades locais e restrições das diversas partes que o utilizam, mas, ao mesmo tempo, ser suficientemente robusto para manter uma identidade comum e traduzir ideias entre distintas áreas (STAR; GRIESEMER, 1989: 393).

Complementando a proposta de Star e Griesemer, Löwy (1992) apresenta uma distinção entre conceitos e objetos de fronteira (*boundary concepts and objects*) e Mollinga (2008), buscando contribuir para o que chama de uma “organização racional da divergência”, estende esta noção em uma trilogia composta por conceitos, objetos e ambientes de fronteira (*boundary concepts, objects and settings*). No restante deste artigo, o foco será dado aos dois primeiros componentes da trilogia apresentada por Mollinga, aqui chamados de **conceitos e objetos mediadores**. Busca-se, através destes elementos, avançar na racionalização do processo de desenvolvimento e prática de pesquisas em adaptação, desafiado por envolver aspectos interdisciplinares e alto grau de incerteza.

**Conceitos mediadores** são palavras que operam como conceitos em diferentes disciplinas ou perspectivas, referindo-se ao mesmo objeto, fenômeno, processo ou estado, mas com significados distintos em cada uma das áreas (MOLLINGA, 2008). São entidades negociáveis, que simultaneamente delimitam e conectam, permitindo que distintas partes discutam conceitualmente sobre a multidimensionalidade de questões de interesse comum

(KLEIN, 2000; MOLLINGA, 2008). No campo da adaptação, o conceito de **vulnerabilidade** emerge como uma poderosa ferramenta na descrição de estados de suscetibilidade ao dano, impotência e marginalidade de componentes de sistemas socioecológicos frente a eventos climáticos (ADGER, 2006). A multidimensionalidade e flexibilidade do conceito, que tem sido historicamente utilizado por distintas tradições de pesquisas e para diferentes propósitos, o posicionam como um conceito mediador promissor para a ciência e prática da adaptação às mudanças climáticas e ambientais.

Adicionalmente, para que um conceito mediador como o de vulnerabilidade seja materializado de maneira a subsidiar estratégias de planejamento e políticas pró-ativas, surge a necessidade de **objetos mediadores** que nos permitam agir em situações de conhecimento incompleto, não-linearidade e interesses divergentes. Mapas de vulnerabilidade representam objetos mediadores frequentemente discutidos e elaborados no meio acadêmico e que têm recebido uma crescente atenção por parte de gestores públicos das esferas municipais e estaduais. No entanto, em virtude de seu caráter estático, os mapas limitam-se a representar um estado de suscetibilidade do sistema investigado. São incapazes de capturar as interrelações entre vários processos - sejam eles globais ou locais, naturais ou sociais, individuais ou coletivos - que são relevantes para a compreensão das dinâmicas de vulnerabilidade, compreendendo seus diferenciais e suas trajetórias nos territórios das cidades, envolvidas diretamente na avaliação das escolhas de estratégias de adaptação. Assim, apontamos os **modelos de simulação computacional** como objetos mediadores alternativos, capazes de superar limitações apresentadas pelos mapas e proporcionar novas perspectivas aos estudos de vulnerabilidade.

Modelos de simulação computacional são capazes de representar a emergência das propriedades de sistemas socioecológicos a partir das interações entre seus componentes e processos (JANSSEN; OSTROM, 2006). Além disso, possibilitam a integração de conhecimentos de distintos especialistas, tomadores de decisão e representantes da sociedade, bem como a simulação de consequências de políticas e medidas que incluam uma enorme gama de restrições e objetivos, sejam eles econômicos, ambientais, sociais ou políticos.

## VULNERABILIDADE: UM CONCEITO MEDIADOR

Embora já tradicionalmente adotado nos meios acadêmicos, o crescente debate sobre mudanças climáticas globais tem elevado o termo *vulnerabilidade* a uma posição central e estratégica aos estudos focados na questão da adaptação de sistemas socioecológicos frente a variações do clima. O apelo da vulnerabilidade deve-se ao seu significado mais básico, que remete à forte idéia de perda, de insegurança, de suscetibilidade a um determinado dano, e que justifica a importância da própria discussão em torno das mudanças climáticas. No entanto, adotado por profissionais das ciências naturais e sociais em suas mais distintas especialidades, cada um carregando seu próprio entendimento sobre vulnerabilidade, o termo permanece marcado por uma gama de interpretações, gerando inúmeras confusões e desentendimentos quando apresentado a vastas audiências.

Essa diversidade de significados, frequentemente problemática e objeto de análise por parte de inúmeros pesquisadores (CUTTER, 1996; O'BRIEN, ERIKSEN et al., 2004; HOGAN; MARANDOLA JR., 2005; ADGER, 2006; FÜSSEL; KLEIN, 2006), é também o que revela a riqueza do conceito e potencializa seu uso como um **conceito mediador**. Por natureza, conceitos mediadores são conceitos relativamente vagos e, por esta razão, com forte poder de coesão entre grupos (LÖWY, 1992). Segundo Löwy (1992), problemas interdisciplinares são mais bem servidos por conceitos que não são definidos de forma muito precisa, pois são eles que criam espaço para a exploração criativa e transposição de fronteiras entre campos

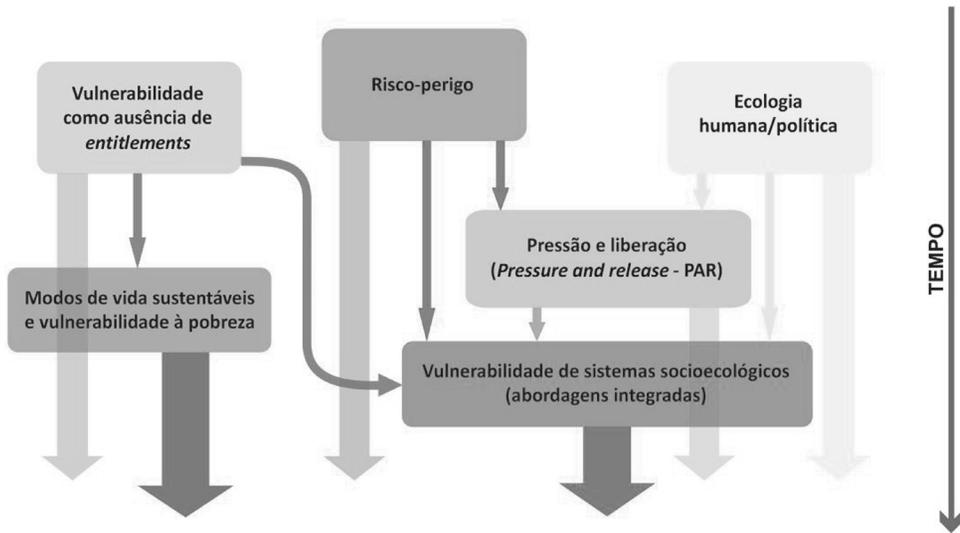
do conhecimento. Ao tentarmos definir um conceito precisamente, corremos o risco de privilegiar uma de suas múltiplas dimensões e perspectivas (MOLLINGA, 2008), enquanto a riqueza de conceitos como o de vulnerabilidade está justamente na pluralidade que a diversidade das disciplinas que já o adotam tende a produzir. Embora diferentes, os significados adotados para o conceito de vulnerabilidade não são independentes, mas intimamente relacionados, o que possibilita o despertar da curiosidade sobre suas dimensões "além-fronteira". É graças a esta curiosidade e às tentativas de capturar as interrelações entre os significados que avanços na direção de uma compreensão conjunta e interdisciplinar vêm sendo alcançados.

Adger (2006), numa tentativa de classificar os significados do termo vulnerabilidade entre inúmeras áreas que lidam com as relações sociedade-natureza, enfatizou a atual predominância de duas linhas teóricas relevantes: uma, trata da vulnerabilidade social, com ênfase nas questões relacionadas à pobreza, enquanto a outra se refere à vulnerabilidade de sistemas socioecológicos (Figura 1). A primeira linha teórica inclui duas vertentes, aquela associada à abordagem de "modos de vida sustentáveis" (*sustainable livelihoods framework*) (CHAMBERS; CONWAY, 1992; CARNEY, 1998; SCOONES, 1998; SANDERSON, 2000; HAAN; ZOOMERS, 2005) e aquela associada à pobreza estrutural em um contexto de exclusão social (MOSER, 1998; KAZTMAN, BECCARIA et al., 1999). Ambas possuem suas raízes em uma tradição de estudos de vulnerabilidade influenciada pela teoria de *entitlements* (SEN, 1981; 1984), palavra que, traduzida para o português como "intitlamento", foi definida por Sen (1984) como "um conjunto de pacotes alternativos de bens que uma pessoa pode adquirir usando a totalidade de direitos e oportunidades ao qual tem acesso" (SEN, 1984, p. 497, tradução nossa), e que incluem, por exemplo, terra, trabalho, moradia, economias, suporte do estado, etc. Esta corrente pioneira enfatiza a sensibilidade e capacidade diferenciada de indivíduos e coletividades de lidar com a exposição ao risco. Swift (1989) analisou vulnerabilidade em função de bens adquiridos em tempo de segurança e que atuam como um seguro informal contra incertezas futuras. Estes bens incluem investimentos (em educação, saúde, moradia, equipamentos, terras, etc.), provisões (de comida, dinheiro, jóias, etc.). Também a capacidade de reivindicação de ajuda para garantir os direitos básicos assume um papel importante para a redução da vulnerabilidade, seja ela direcionada ao governo, ONGs, empregadores, amigos ou família (SWIFT, 1989). Seguindo esta linha, criticada por desconsiderar dinâmicas dos sistemas biofísicos, vulnerabilidade é analisada e compreendida como resultante de uma série de fatores socioeconômicos, culturais e institucionais.

A segunda linha teórica, voltada para a vulnerabilidade de sistemas socioecológicos, apesar de também incorporar indiretamente a questão dos *entitlements*, partiu principalmente de áreas que analisam vulnerabilidade sob a ótica dos desastres naturais. Estas áreas, que ainda permanecem presentes em trabalhos da atualidade, são as seguintes (Figura 1): risco-perigo (*risk-hazard*), ecologia humana ou política, e pressão e liberação (*pressure and release*).

A tradição de pesquisa risco-perigo, representada nos clássicos trabalhos de White e Haas (1975) e Burton, Kates e White (1978), compreende vulnerabilidade como uma medida dos efeitos adversos provocados por perturbações naturais. Ou seja, a partir da caracterização de fatores de risco biofísicos, busca-se estimar perdas potenciais de populações ou lugares específicos, comumente entendendo a quantificação destas perdas (ocorridas ou projetadas) como uma *proxy* de vulnerabilidade. Embora tente incorporar visões de distintos domínios disciplinares, a linha teórica risco-perigo é frequentemente criticada em virtude de sua demasiada ênfase a eventos naturais extremos e seus impactos, bem como por negligenciar a contribuição de fatores socioeconômicos, políticos e culturais na conformação de vulnerabilidades diferenciadas entre os componentes de um sistema (BLAIKIE, CANNON et al., 1994; HEWITT, 1995; PELLING, 2003). Outro ponto sujeito a críticas diz respeito ao seu caráter causa-efeito, no qual vulnerabilidade é vista como o ponto final de uma seqüência de análises predominantemente lineares (estudos de impactos biofísicos ou projeções de emissões e cenários climáticos) seguida pela identificação de ajustes necessários diante de

determinada ameaça (KELLY; ADGER, 2000; EAKIN; LUERS, 2006). No entanto, em virtude de sua objetividade e visibilidade, esta é a abordagem que costuma ser privilegiada por planejadores e gestores. Projetos de engenharia e sistemas de alerta são capazes de demonstrar claramente a potenciais investidores e opinião pública como o governo está respondendo ao risco, enquanto reformas sociais e urbanas representam um processo lento, de longo prazo e menor visibilidade.



**Figura 1 - Tradições de pesquisas em vulnerabilidade**

Elaborado a partir de Adger (2006).

A insatisfação em relação ao caráter excessivamente tecnocrático e prescritivo da abordagem risco-perigo deu origem à tradição da ecologia humana que, influenciada pela tradição marxista e teoria da dependência, busca analisar processos estruturais que ajudem a compreender a razão pelo qual os mais pobres e excluídos são particularmente vulneráveis a desastres naturais (HEWITT, 1983; WATTS; BOHLE, 1993; HEWITT, 1997). Dentro desta perspectiva, desastres não devem ser considerados apenas como ocorrências "naturais" (O'KEEFE, WESTGATE et al., 1976) e sim como parte de uma relação contínua entre sociedade e natureza. Neste caso, a vulnerabilidade depende primariamente das condições sociais, políticas, ambientais e econômicas e da posição relativa de vantagem ou desvantagem que um grupo particular ocupa (HEWITT, 1997). Portanto, ao contrário da abordagem risco-perigo, que considera a ordem social vigente como uma mera contribuição à mitigação de impactos, os ecologistas humanos a consideram como causa da vulnerabilidade e enfatizam o papel do desenvolvimento econômico no processo de adaptação a riscos ambientais (ADGER, 2006).

Buscando a união entre duas tradições tão distintas, risco-perigo e ecologia humana/política, Blaikie et al. (1994) propõe o modelo "Pressão e Liberação" (*Pressure and Release - PAR*). Este modelo parte do pressuposto de que um desastre é resultante da intersecção entre duas forças opostas: de um lado está a exposição a um perigo ou ameaça biofísica, enquanto do outro estão os processos que geram vulnerabilidade. Para aliviar a pressão gerada por estas duas forças, Blaikie e colegas prescrevem a redução da vulnerabilidade, que, de acordo com os autores, pode ser classificadas em três níveis: causas de fundo, pressões dinâmicas e condições inseguras. As causas de fundo estão relacionadas ao aces-

so desigual ao poder, às estruturas e aos recursos. As pressões dinâmicas são processos econômicos e políticos que alteram circunstâncias locais, como crescimento demográfico, padrões de migração bem como dinâmicas de urbanização e do mercado de terra. Já as condições inseguras representam contextos particulares de vulnerabilidade expressos no tempo e espaço, que podem ser configurados pelo ambiente físico, pela economia local, instituições ou relações sociais (BLAIKIE, CANNON et al., 1994). Apesar da ênfase dada à questão da vulnerabilidade, o modelo PAR tem sido criticado por não ser capaz de propiciar uma visão sistêmica dos mecanismos e processos relativos à vulnerabilidade na qual componente sociais e ecológicos interagem na produção do perigo (ADGER, 2006; CUTTER, EMRICH et al., 2009).

A fertilização cruzada entre as tradições de pesquisa em vulnerabilidade foi progressivamente ampliando a abrangência do conceito, que passou a incorporar noções como exposição ao risco, sensibilidade, resiliência e capacidade de enfrentamento e adaptação. Em paralelo, o reconhecimento de que mesmo sistemas físicos considerados mais “puros”, como os hidrológicos e meteorológicos, vêm sendo influenciados pela ação humana, configurou uma crescente insatisfação em relação à separação entre processos sociais e naturais nos estudos de vulnerabilidade. Este contexto propiciou a emergência de **abordagens integradas e sistêmicas** (SMIT; PILIFOSOVA, 2003; TURNER II, KASPERSON et al., 2003; O'BRIEN, LEICHENKO et al., 2004; EAKIN, 2005; LUERS, 2005; WESTERHOFF; SMIT, 2009), que, embora incorporando elementos de tradições como risco-perigo, ecologia humana/política e vulnerabilidade como ausência de *entitlements*, voltam-se para a análise da vulnerabilidade de sistemas socioecológicos, e não de um particular ecossistema, grupo populacional, atividade econômica ou recurso. Sempre enfatizando a necessidade de incorporar interações dinâmicas entre componentes ecológicos (biofísicos) e sociais (humanos) nas análises, esta linha de trabalho parte da idéia de que a vulnerabilidade de um sistema é reflexo da exposição e sensibilidade deste sistema a perturbações (naturais ou não) e de sua capacidade de responder, adaptar-se ou recuperar-se dos efeitos destas condições adversas.

Ao contrário de tradições anteriores, em especial a risco-perigo, que compreendia vulnerabilidade como um **produto** residual (impactos das mudanças climáticas *menos* adaptação), as abordagens integradas sinalizam uma mudança relevante: vulnerabilidade passa a ser compreendida como um **processo**, uma propriedade ou estado dinâmico de um sistema socioecológico dotado de interações complexas e não-lineares (KELLY; ADGER, 2000; O'BRIEN, ERIKSEN et al., 2004). Embora avanços na conceituação da vulnerabilidade ainda sejam necessários, esta transição de paradigmas reforça o caráter mediador do conceito e sua capacidade de viabilizar uma progressiva troca entre tradições de pesquisa que, apesar de claramente distintas, explicitam elementos de interesse comum ou complementares.

## DE CONCEITO A OBJETO MEDIADOR

O processo de evolução do conceito de vulnerabilidade mostra como sua imprecisão e flexibilidade, muitas vezes compreendida como uma desvantagem, é também o que o potencializa seu caráter mediador, capaz de alinhar distintos domínios disciplinares em torno de um problema comum e facilitar um pensar coletivo sobre a multidimensionalidade da questão. A exploração cada vez mais ativa de conceitos mediadores como o de vulnerabilidade costuma ser acompanhada pela geração de operacionalizações que materializam estes conceitos, facilitam sua apreensão e respondem à demanda cada vez maior por elementos capazes de subsidiar processos de tomada de decisão, mesmo em condições de incerteza e conhecimento incompleto. Nestes casos, conceitos mediadores são traduzidos na forma de **objetos mediadores**.

Medidas, mapas e perfis de vulnerabilidade têm sido comumente adotados como objetos mediadores para avaliações e sistematizações dos distintos graus de vulnerabilidade de famílias, meios de vidas, grupos populacionais, bairros, setores, cidades, regiões ou países. Medidas de vulnerabilidade são geralmente obtidas a partir de funções matemáticas que relacionam algumas características do sistema de interesse, sejam elas sociais ou biofísicas, a potenciais perdas socioeconômicas. Algumas destas medidas são aplicadas à escala global ou continental, buscando comparar de forma objetiva o grau de vulnerabilidade entre países (EASTER, 1999; MOSS, BRENKERT et al., 2001; LEICHENKO; O'BRIEN, 2002; BROOKS, ADGER et al., 2005; CARDONA, 2005; SOPAC; UNEP, 2005), o que pode ser relevante para a alocação de prioridades de financiamento ou intervenção. Entre estas medidas encontra-se o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (*Environmental Vulnerability Index* - EVI) desenvolvido pela Comissão de Geociência Aplicada do Pacífico Sul (*South Pacific Applied Geoscience Commission* - SOPAC) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (SOPAC; UNEP, 2005), com forte ênfase nos aspectos ecológicos da vulnerabilidade. Outro exemplo é o conjunto de indicadores de vulnerabilidade apresentado por Brooks, Adger e Kelly (2005), que parte da relação "risco = perigo x vulnerabilidade" para avaliar vulnerabilidade de países às mudanças climáticas a partir de indicadores de risco e dados socioeconômicos.

Uma série de outros trabalhos utiliza a capacidade analítica e de visualização de sistemas de informações geográficas para capturar atributos a serem incorporados nos índices de vulnerabilidade (ex.: uso e cobertura do solo), computar medidas e apresentar os resultados na forma de mapas, permitindo a identificação de áreas que necessitam de atenção imediata ou análises adicionais (CUTTER, BORUFF et al., 2003; LUERS, LOBELL et al., 2003; O'BRIEN, LEICHENKO et al., 2004; SCHRÖTER, CRAMER et al., 2005; TORRESAN, CRITTO et al., 2008). Alguns destes mapas partem de perspectivas integradas cujas medidas buscam capturar a vulnerabilidade de sistemas socioecológicos a partir de componentes como exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação. É o caso do trabalho de Luers (2003), aplicado ao Vale Yaqui no México, e do trabalho de O'Brien et al. (2004), que mapeia a vulnerabilidade da agricultura em distritos da Índia a perturbações globais climáticas e econômicas. Destacam-se ainda os trabalhos de Cutter e colegas (CUTTER, MITCHELL et al., 2000; CUTTER, BORUFF et al., 2003; BORUFF; CUTTER, 2007), que medem vulnerabilidade a partir de um modelo conceitual híbrido proposto pela própria autora, conhecido como *hazard-of-place* (CUTTER, 1996). Situado entre as perspectivas risco-perigo e ecologia política, o modelo *hazard-of-place* parte da descrição de interações locais entre a vulnerabilidade biofísica (exposição ao evento natural) e vulnerabilidade social. Algumas tentativas de materialização do conceito para a realidade norte-americana são apresentadas por Cutter et al. (2003), no mapeamento da vulnerabilidade social das cidades do país, e, na escala local, por Cutter et al. (2000), que identifica graus de vulnerabilidade biofísica e social da cidade de Georgetown em South Carolina.

Considerando as tradições de pesquisa apresentadas na Figura 1, pode-se afirmar que a maioria dos trabalhos que buscam quantificar a vulnerabilidade reflete tradições influenciadas por áreas que analisam a partir dos desastres naturais (ex.: risco-perigo e pressão e liberação). No entanto, existe ainda uma série de trabalhos quali-quantitativos que seguem outra linha de estudos, baseada na perspectiva voltada para "modos de vida sustentáveis". Estes trabalhos, ao contrário dos demais que mensuram e mapeiam a vulnerabilidade de *lugares*, buscam descrever o grau de vulnerabilidade de *indivíduos, famílias ou grupos populacionais* à pobreza. Uma técnica utilizada nos estudos desta natureza é o estabelecimento de perfis de vulnerabilidade visualizados em um polígono, no qual cada vértice representa a possibilidade de acesso a alguma categoria de recursos (ex.: capital natural, financeiro e social). Exemplos desta forma de representação aplicada ao estudo de vulnerabilidade são apresentados por Allison e Mvula (2002), para descrever perfis de pescadores em cinco vilas de Malaw, e por Stephen (2004), para populações rurais em Delanta, Etiópia. Em uma tentativa de apresentar uma medida que una o que Adger (2006) tratou como as duas principais tradições de estudos de vulnerabilidade contemporâneas, uma

focada em modos de vida sustentáveis e a outra na vulnerabilidade de sistemas socioecológicos, Hahn et al. (2009) propõe o índice de vulnerabilidade de meios de vida (*Livelihood Vulnerability Index* – LVI). Construído para estimar a vulnerabilidade de comunidades em dois distritos de Moçambique, o LVI é composto por múltiplos indicadores que quantificam a exposição a desastres naturais e variabilidade climática, atributos sociais e econômicos que afetam a capacidade adaptativa das famílias, e condições de saúde, alimentação e acesso à água que influenciam a sensibilidade a impactos das mudanças climáticas. Os perfis de vulnerabilidade resultantes deste índice são visualizados em polígonos que ora assumem a forma de um heptágono, com vértices representando o grau de acesso a diferentes tipos de recursos, ora assumem a forma triangular, com vértices representando os componentes exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

De maneira geral, os esforços de mensuração e mapeamento da vulnerabilidade são estratégias de representação do conceito que podem assumir o papel de objetos mediadores, ou seja, objetos que facilitem o diálogo entre acadêmicos e gestores públicos, e subsidiem o desenvolvimento de políticas e o monitoramento do progresso em relação à redução da vulnerabilidade. Por reunir aspectos sociais e ambientais inerentes ao conceito de vulnerabilidade, estes objetos são vistos por pesquisadores e tomadores de decisão como um avanço em relação aos tradicionais mapas de riscos naturais ou de pobreza.

Contudo, diante da mudança de paradigma em torno do conceito de vulnerabilidade - que deixa a condição de produto residual e passa a ser compreendido como um processo -, é importante ressaltar que mapas e indicadores, por natureza, são estáticos e incapazes de refletir a natureza dinâmica da vulnerabilidade, tanto na sua manifestação quanto nas suas causas. Representam, portanto, apenas uma “fotografia” do estado do sistema de interesse em um determinado instante. Estes instrumentos são inadequados para a identificação e compreensão de fatores que acentuam a vulnerabilidade, já que representam apenas medidas da presença e intensidade de algumas características da unidade de análise, enquanto a implicação ou potencial efeito destas sobre as dinâmicas de vulnerabilidade permanecem somente como suposições. Em alguns casos, podem ser exploradas correlações entre características da unidade de análise (ex.: *proxies* do capital humano e financeiro das famílias) e determinados efeitos ocorridos diante de uma perturbação ou choque. Não é possível, no entanto, realizar análises sistêmicas e multiescalares capazes de identificar qualquer relação de causalidade entre o conjunto de condições pré-existentes e os efeitos identificados. Uma alternativa para avançarmos na construção de objetos mediadores mais aptos para a operacionalização do conceito de vulnerabilidade são os **modelos de simulação computacional**, capazes de representar interações entre inúmeros processos, de natureza e escalas diversificadas, que são significativos para a compreensão das dinâmicas de vulnerabilidade de sistemas socioecológicos.

## REPRESENTANDO PROCESSOS COMPLEXOS: MODELOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO OBJETOS MEDIADORES

Dentro de uma visão sistêmica, o conceito de vulnerabilidade assume um caráter essencialmente dinâmico e relacional, imerso em múltiplas e simultâneas interações entre processos sociais e biofísicos. Ilustrando este paradigma, encontra-se o modelo conceitual de Turner II et al. (2003), no qual a vulnerabilidade de um lugar é afetada por condições climáticas e ambientais globais e locais, bem como por questões políticas, sociais e econômicas de vários níveis. Vulnerabilidade, neste caso, é considerada localmente, porém situada dentro de um contexto abrangente e multiescalar. É composta por três elementos: exposição, sensibilidade e resiliência. Exposição diz respeito à frequência, magnitude e duração das perturbações com as quais o sistema de interesse tem contato (KASPERSON, DOW

et al., 2005). A sensibilidade é determinada pelo conjunto de condições socioambientais de um sistema que influencia no quanto este é modificado e/ou afetado quando exposto a perturbações. Já a resiliência engloba a capacidade de resposta do sistema, que por sua vez influencia nos impactos provocados pela exposição (e.g., perdas de vidas e materiais) e no ajuste e/ou criação de mecanismos de adaptação após estes impactos (TURNER II, KASPERSON et al., 2003). Estes elementos da vulnerabilidade podem revelar dinâmicas inesperadas, graças à não-linearidade dos processos envolvidos, que são capazes de retroalimentar o sistema em seus distintos níveis. O caráter imprevisível e evolutivo da vulnerabilidade é também reforçado pela forte presença de componentes sociais, representados por agentes em constante processo de adaptação e aprendizagem a partir de suas experiências e que são capazes de mudar propriedades estruturais do sistema. Em suma, estamos lidando com sistemas complexos adaptativos, o que implica em graus de imprevisibilidade mais drásticos do que os dos sistemas caóticos (HILHORST, 2004), que ao menos estabelecem alguns princípios (praticamente inatingíveis) para a previsibilidade, como o conhecimento completo dos valores de todas as variáveis relevantes.

Em termos operacionais, o paradigma sistêmico de vulnerabilidade impõe desafios ainda maiores do que aqueles inerentes às demais correntes de pesquisa. A representação da vulnerabilidade não inclui apenas a caracterização de lugares e suas populações, mas também a captura de processos e interações locais e globais que envolvem componentes de naturezas distintas. Em virtude desta dificuldade, o modelo de Turner II e colegas tem sido aplicado em análises de natureza predominantemente qualitativa (TURNER II, MATSON et al., 2003). Nestes casos, as análises objetivam aprofundar o conhecimento sobre processos e interações que geram condições vulneráveis, e não a identificação de futuros impactos sobre o sistema ou de populações particularmente vulneráveis (EAKIN e LUERS, 2006), o que é condizente com a noção de que as dinâmicas de vulnerabilidade e suas consequências são imprevisíveis e marcadas por incertezas.

A imprevisibilidade inerente a sistemas complexos adaptativos, e portanto à vulnerabilidade, demanda a adoção de objetos mediadores capazes de incorporar uma maneira de pensar diferenciada, que envolva uma compreensão compartilhada das dinâmicas de vulnerabilidade em relação a múltiplas realidades e cenários. Ao mesmo tempo, é importante que estes objetos mediadores conciliem as ambições teóricas da abordagem sistêmica a uma visão pragmática, que inclua uma definição precisa do escopo e unidades de análise, identificação de atributos relevantes ao estudo, esclarecimento do que é compreendido como um “dano” ao sistema, bem como uma exploração cuidadosa dos aspectos dinâmicos e relacionais da vulnerabilidade (EAKIN; LUERS, 2006).

Uma alternativa analítica apropriada para atender a estes requisitos e explorar a natureza complexa dos sistemas socioecológicos são os **modelos de simulação computacional**. Mais rigorosos do que descrições verbais qualitativas e mais flexíveis do que modelos matemáticos, os modelos de simulação representam uma ferramenta promissora para a troca de experiências e conhecimentos entre pesquisadores de distintos domínios disciplinares, tomadores de decisão e outros representantes da sociedade. Entretanto, enquanto no campo das ciências físicas e naturais - em especial da meteorologia, climatologia e hidrologia - as técnicas de modelagem e simulação estão consolidadas como um instrumental reconhecido e utilizado, no campo das ciências sociais seu uso permanece bem menos explorado, encontrando resistência por parte de muitos profissionais. —Boa parte desta resistência deve-se à maneira como são utilizados estes modelos, frequentemente percebidos como uma “caixa-preta” ou “bola de cristal” que revela previsões determinísticas sobre o comportamento de um determinado sistema e disponibiliza pouco espaço para o debate e aprendizagem.

A adoção de modelos de simulação computacional como objetos mediadores demanda um giro ontológico, no qual o modelo como produto dá lugar ao **processo de construção e uso do modelo**, cujo objetivo não é o de fornecer respostas quantitativas exatas a uma

pergunta e sim estabelecer um instrumental para compartilhar visões, estruturar discussões, testar e gerar hipóteses e levantar novas questões. É no processo de construção deste *objeto mediador*, que se fundamenta a nova base epistemológica para os estudos integrados de vulnerabilidade em sistemas socioecológicos. Modelos são então representações computacionais que não anulam os processos, mas os incorporam, recuperando assim uma possibilidade de leitura do fenômeno que compartilha percepções, e que devolve a possibilidade de exploração “empírica” sistematizada do objeto através da exploração do conceito de experimentos com simulação.

Uma abordagem de simulação computacional bastante intuitiva para processos desta natureza é a modelagem baseada em agentes (*agent-based modelling* – ABM), que é explorada para finalidades diversas, algumas delas com explícita relevância para a questão da vulnerabilidade de sistemas socioecológicos (DOWNING, MOSS et al., 2001; BHARWANI, BITHELL et al., 2005; ZIERVOGEL, BITHELL et al., 2005; ACOSTA-MICHLIK; ESPALDON, 2008; KRÖMKER, EIERDANZ et al., 2008; FEITOSA, LE et al., 2011). ABM consiste em um conjunto de unidades tomadoras de decisão, denominadas agentes, que interagem umas com as outras e com o ambiente em que estão situadas. Os agentes são objetos autônomos e heterogêneos que representam o comportamento de uma determinada entidade (ex.: famílias, agências governamentais e outras organizações), agindo constantemente de acordo com um conjunto de regras que podem ser modificadas por intermédio de um processo de adaptação ou aprendizagem (GILBERT, 2008).

Uma importante vantagem da ABM, que aumenta sua transparência e por conseguinte sua aptidão para assumir um papel de mediação, diz respeito à possibilidade de avaliar a plausibilidade do comportamento dos agentes, da maneira como eles interagem, e das consequências destes comportamentos e interações. Outra vantagem, relacionada à capacidade destes modelos de simular explicitamente processos que ocorrem a nível local, é a maneira natural com a qual os pesquisadores podem explorar as dinâmicas de sistemas formados por muitos componentes, cujas interações dão origem a padrões emergentes (por exemplo, de vulnerabilidade) que não podem ser compreendidos apenas pela soma das partes. Ou seja, é possível ilustrar como certas ações, sejam de famílias ou instituições diversas, podem contribuir para mudanças cumulativas em escalas mais abrangentes. Considerando a imprevisibilidade dos sistemas socioecológicos, simulações desta natureza tornam-se úteis por permitir a incorporação das incertezas inerentes ao problema: a idéia não é obter “previsões”, e sim identificar como o comportamento do sistema evolui e influencia outros processos. Assim, pesquisadores e tomadores de decisão são capazes de explorar a emergência de cenários alternativos, alguns destes com padrões inesperados e não intuitivos, discutir o quão desejáveis seriam estas novas configurações e delinear estratégias de adaptação.

Modelos de simulação baseados em agentes podem ser entendidos com um laboratório que auxilia na compreensão de um problema de duas maneiras: (a) no processo de construção deste laboratório, que é contínuo; e (b) no projeto, interpretação, verificação e avaliação dos experimentos de simulação. A compreensão de detalhes pertinentes a estas duas fases é fundamental para que os envolvidos possam entender as potencialidades e limitações dos modelos, o que eles fazem e como podemos aprender com eles. É importante ter em mente que um modelo de simulação será sempre uma simplificação do sistema de interesse, cujo poder explanatório depende de vários fatores, entre eles as premissas consideradas, forma de implementação e dados utilizados.

Para acentuar a natureza mediadora dos modelos, é também aconselhável que o processo de construção e uso deste laboratório integre, além de teorias e dados, métodos quantitativos e qualitativos já tradicionalmente adotados (ex. estudos de campo e etnográficos, modelos matemáticos e estatísticos, etc.). Os modelos baseados em agentes são ainda bastante propícios para a aplicação de técnicas participativas, que permitam que os próprios atores cujo comportamento é representado no modelo participem e contribuam

para o processo de modelagem (DOWNING, MOSS et al., 2001; PAHL-WOSTL, 2002). Neste caso, a representação dos comportamentos dos agentes é formulada não apenas a partir de teorias e conhecimentos extraídos de dados empíricos, mas também de acordo com as perspectivas dos atores envolvidos no processo, incluindo sua compreensão subjetiva sobre como o sistema em questão funciona e sobre as regras formais e informais que regem as tomadas de decisão (PAHL-WOSTL, 2002).

Esta maneira de pensar a modelagem tem o potencial de encorajar o envolvimento de pessoas de diferentes comunidades, com distintas visões disciplinares e/ou políticas, e que terão interpretações também distintas sobre cada fase do processo. É exatamente o reconhecimento, negociação e discussão sobre estas diferenciadas interpretações que abre caminho para uma construção coletiva do conhecimento no qual o modelo, compreendido como um objeto mediador, viabiliza uma leitura dos sistemas socioecológicos que compartilha percepções e experiências e possibilita a exploração "empírica" dos processos inerentes às dinâmicas de vulnerabilidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No campo da adaptação aos efeitos das mudanças climáticas, no qual pesquisadores de distintas áreas trabalham simultaneamente para determinar a natureza e magnitude de um problema, identificar suas consequências e propor respostas de cunho político a elas, a vulnerabilidade representa um conceito mediador promissor, cuja flexibilidade vem facilitando uma construção do conhecimento cada vez mais conjunta e interdisciplinar. Neste processo, o conceito de vulnerabilidade evoluiu: deixou de representar apenas um produto residual, equivalente às consequências adversas das mudanças climáticas remanescentes após a adoção de medidas de adaptação (*Vulnerabilidade = Impactos - Adaptação*), e passou a ser compreendido como um processo inerente a sistemas socioecológicos, influenciado por interações complexas entre componentes biofísicos e sociais.

Os reflexos desta evolução no campo conceitual, no entanto, permanecem pouco expressivos na prática da adaptação, ainda muito limitada a uma visão prescritiva e tecnocrata, típica da tradição de pesquisa "risco-perigo". No caso das cidades brasileiras, por exemplo, frequentemente atingidas por desastres atribuídos ao excesso de chuvas, é fundamental que medidas de adaptação não se restrinjam apenas a obras de engenharia, sistemas de alerta contra desastres naturais, e ao monitoramento da ocupação de áreas previamente identificadas em mapas de risco. Apesar da relevância destas medidas, fruto de estudos focados em eventos naturais e condições ambientais dos lugares, é fundamental que o caráter sistêmico da vulnerabilidade, que também envolve processos sociais, seja considerado. Afinal, por que as pessoas permanecem ocupando áreas de risco? Qual a natureza dos processos sociais que configuram determinadas condições de vulnerabilidade? O monitoramento da ocupação urbana não pode estar restrito às áreas suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, já que as dinâmicas destes locais não são independentes daquelas predominantes nas demais áreas da cidade. Políticas de remoção de famílias moradoras de áreas de risco serão sempre insuficientes se não vierem acompanhadas de reformas sociais e urbanas que considerem a cidade como um todo e priorizem o combate à especulação imobiliária e o cumprimento da função social da propriedade urbana.

Para avançarmos na compreensão da natureza sistêmica da vulnerabilidade e na elaboração de políticas de adaptação condizentes com esta visão, este artigo sugere a adoção de modelos de simulação computacional como objetos mediadores. Ao contrário dos mapas, cuja natureza é estática, modelos de simulação incorporam a representação de processos e interações multiescalares que envolvem componentes heterogêneos, muitos

deles em constante processo de adaptação e aprendizagem. Por intermédio de modelos, é possível explorar, por exemplo, como políticas voltadas para a regulamentação de propriedades localizadas em áreas privilegiadas da cidade podem estar relacionadas à ocupação de áreas de risco pelos mais pobres, mesmo que esta relação se dê de maneira não-linear e pouco intuitiva. Neste processo de aprendizagem por intermédio da construção e uso de modelos, é sempre importante considerar o caráter complexo e evolutivo do nosso objeto de estudo e ressaltar que o objetivo das simulações computacionais não deve ser o de obter de previsões determinísticas, e sim estimular o debate e discussão em relação a múltiplos cenários e realidades, bem como possíveis alternativas de adaptação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP pelo financiamento do projeto no qual está inserido este trabalho (processo 2010/06532-6).

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MICHLIK, L.; ESPALDON, V. Assessing vulnerability of selected farming communities in the Philippines based on a behavioural model of agent's adaptation to global environmental change. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, p. 554-563, 2008.
- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006.
- ALLISON, E. H.; MVULA, P. M. **Fishing livelihoods and fisheries management in Malawi**. LADDER Working Paper No.22. Norwich, U.K.: Overseas Development Group, University of East Anglia, 2002. 32p.
- BHARWANI, S. et al. Multi-agent modelling of climate outlooks and food security on a community garden scheme in Limpopo, South Africa. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 360, n. 1463, p. 2183-2194, 2005.
- BLAIKIE, P. et al. **At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. London: Routledge, 1994. 124p.
- BORUFF, B. J.; CUTTER, S. L. The environmental vulnerability of Caribbean island nations. **Geographical Review**, v. 97, n. 1, p. 932-942, 2007.
- BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 151-163, 2005.
- BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. **The environment as hazard**. New York: Oxford University Press, 1978. 284p.
- CARDONA, O. D. **Indicators of Disaster Risk and Risk Management**: Program for Latin America and the Caribbean. Summary Report. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division. Washington D.C., 2005. 43p.
- CARNEY, D., Ed. **Sustainable rural livelihoods: what contributions can we make?** . London: Department for International Development. 1998. 213p.
- CHAMBERS, R.; CONWAY, G. **Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century**. IDS Discussion Paper 296. Brighton: Institute for Development Studies, 1992. 33p.

CIM - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Brasília: Governo Federal, 2008. 132p.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.

CUTTER, S. L. et al. **Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature**. Final Report to Oxfam America. Columbia: University of South Carolina, 2009.

CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S. Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 90, n. 4, p. 713-737, 2000.

DESSAI, S. et al. Climate prediction: a limit do adaptation? . In: ADGER, W. N.; LORENZONI, I., et al (Ed.). **Adapting to climate change: thresholds, values, governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 532p.

DOWNING, T. E.; MOSS, S.; PAHL-WOSTL, C. Understanding climate policy using participatory agent-based social simulation. **Lecture Notes in Computer Science: Multi-Agent Based Simulation**, v. 1979/2001, p. 127-140, 2001.

DU PLESSIS, C. Understanding Cities as Social-Ecological Systems. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE - SB'08, 2008. Melbourne, Australia. 21-25 September. Disponível em: <<http://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/3306>>. Acesso em: 10 Jun. 2011

EAKIN, H. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. **World development**, v. 33, n. 11, p. 1923-1938, 2005.

EAKIN, H.; LUERS, A. L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 31, p. 365-94, 2006.

EASTER, C. Small States Development: A Commonwealth Vulnerability Index. **The Round Table**, v. 351, n. 1, p. 403-422, 1999.

FEITOSA, F. F.; LE, Q. B.; VLEK, P. L. G. Multi-Agent Simulator for Urban Segregation (MASUS): A Tool to Explore Alternatives for Promoting Inclusive Cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 2, p. 104-115, 2011.

FÜSSEL, H.-M.; KLEIN, R. J. T. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. **Climatic Change**, v. 75, p. 301-329, 2006.

GIDDENS, A. **A política da mudança climática**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. 314p.

GROVE, J. M., Ed. Cities: Managing densely settled social-ecological systems. In: CHAPIN, F., KOFINAS, G. P.; FOLKE, C. (Ed.) **Principles of ecosystem stewardship**. Resilience-based natural resource management in a changing world. New York, NY: Springer, 2009. p.281-294.

HAAN, L.; ZOOMERS, A. Exploring the frontier of livelihoods research. **Development and change**, v. 36, n. 1, p. 27-47, 2005.

HAHN, M.; RIEDERER, A. M.; FOSTER, S. O. The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change - A case study in Mozambique. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 1, p. 74-88, 2009.

HEWITT, K. The idea of calamity in a technocratic age. In: HEWITT, K. (Ed.). **Interpretations of calamity: from the viewpoint of human ecology**. London: Allen and Unwin, 1983. p. 3-31.

\_\_\_\_\_. Excluded perspectives in the social construction of disaster. **International Journal of Mass Emergencies and Disasters**, v. 13, n. 3, p. 317-319, 1995.

\_\_\_\_\_. **Regions of risk: a geographical introduction to disasters**. New York, USA: Addison Wesley Longman, 1997. 389p.

HILHORST, D. Complexity and diversity: Unlocking social domains of disaster response. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G., et al (Ed.). **Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People**. Sterling, VA: Earthscan, 2004. 4, 52-66.

HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E. Towards an Interdisciplinary Conceptualization of Vulnerability. **Population, Space and Place**, v. 11, p. 455-471, 2005.

IBGE. Sinopse do Censo Demográfico 2010. 2010. Disponível em: < <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse> >. Acesso em: 10 Jun. 2011.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report - Summary for Policymakers**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Geneva, Switzerland, 2007. 104p.

JANSSEN, M. A.; OSTROM, E. Governing social-ecological systems. In: TESFATSION, L. e JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of Computational Economics**. Amsterdam: Elsevier, v.2, 2006. p.1466-1496.

KASPERSON, R. E. et al. Vulnerable People and Places. In: HASSAN, R.;SCHOLE, R., et al (Ed.). **Ecosystems and Human Well-bein: Current state and trends**. Washington, DC: Island Press, v.1, 2005. p.143-164.

KAZTMAN, R. et al. **Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay**. Oficina Internacional del Trabajo. Santiago de Chile: OIT, 1999. 111p.

KELLY, P. M.; ADGER, W. N. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. **Climatic Change**, v. 47, n. 4, p. 325-352, 2000.

KLEIN, J. T. **Crossing boundaries: knowledge, disciplinaries, and interdisciplinaries**. Charlottesville/London: University Press of Virginia, 1996. 281p.

\_\_\_\_\_. A conceptual vocabulary of interdisciplinary science. In: WEINGART, P.; STEHR, N. (Ed.). **Practising Interdisciplinarity**. Toronto: University of Toronto Press, 2000. p.3-24.

KLEIN, R. J. T. et al. Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. **Climatic Change**, v. 84, n. 1, p. 23-44, 2007.

KRÖMKER, D.; EIERDANZ, F.; STOLBERG, A. Who is susceptible and why? An agent-based approach to assessing vulnerability to drought. **Regional Environmental Change**, v. 8, n. 4, p. 173-185, 2008.

LEICHENKO, R.; O'BRIEN, K. The dynamics of rural vulnerability to global change: the case of Southern Africa. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 7, p. 1-18, 2002.

LEMOS, M. C.; ROOD, R. B. Climate projection and their impact on policy and practice. **Climate Change**, v. 1, n. 5, p. 670-682, 2010.

LÖWY, I. The strength of loose concepts: boundary concepts, federative experimental strategies and disciplinary growth: the case of immunology. **History of Science**, v. 30, p. 371-396, 1992.

LUERS, A. L. The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 214-223, 2005.

LUERS, A. L. et al. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. **Global Environmental Change**, v. 13, p. 255-267, 2003.

MARENGO, J. A. et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2009.

- MOLLINGA, P. P. **The rational organisation of dissent:** boundary concepts, boundary objects and boundary settings in the interdisciplinary study of natural resources management. Bonn: ZEF/University of Bonn, 2008. 46 p.
- MOSER, C. O. N. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. **World development**, v. 26, n. 1, p. 1-19, 1998.
- MOSS, R. H.; BRENKERT, A. L.; MALONE, E. L. **Vulnerability to climate change. A quantitative approach.** Oak Ridge: Pacific Northwest National Laboratory, United Nations Department of Energy. TN. 2001. 70p.
- O'BRIEN, K. et al. **What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research.** Oslo: Center for International Climate and Environmental Research (CICERO), 2004. 16p.
- \_\_\_\_\_. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, v. 14, p. 303-313, 2004.
- O'KEEFE, P.; WESTGATE, K.; WISNER, B. Taking the naturalness out of natural disasters. **Nature**, v. 260, p. 566-567, 1976.
- OSTROM, E. A diagnostic approach for going beyond panaceas. **PNAS**, v. 104, n. 39, p. 15181-15187, 2007.
- \_\_\_\_\_. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-ecological Systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009.
- PAHL-WOSTL, C. Participative and Stakeholder-Based Policy Design, Evaluation and Modeling Processes. **Integrated Assessment**, v. 3, n. 1, p. 3-14, 2002.
- PELLING, M. **The Vulnerability of Cities.** London: Earthscan, 2003. 212p.
- PIELKE, R. et al. Lifting the taboo on adaptation. **Nature**, v. 445, n. 8, p. 597-598, 2007.
- SANDERSON, D. Cities, disasters and livelihoods. **Environment and Urbanization**, v. 12, n. 2, p. 93-102, 2000.
- SCHRÖTER, D. et al. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. **Science**, v. 310, n. 5752, p. 1333-1337, 2005.
- SCOONES, I. **Sustainable rural livelihoods. A framework for analysis.** IDS Working Paper 72. Brighton IDS, 1998. 22p.
- SEN, A. **Poverty and famines:** An essay on entitlement and deprivation. London: Oxford University Press, 1981. 257p.
- \_\_\_\_\_. **Resources, Values and Development.** Oxford: Basil Blackwell, 1984. 560p.
- SMIT, B.; PILIFOSOVA, O. From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction. In: SMITH, J. B.; KLEIN, R. J. T., et al (Ed.). **Climate Change, Adaptive Capacity and Development.** London: Imperial College Press, 2003. 2, p. 9-28.
- SOPAC - South Pacific Applied Geoscience Commission.; UNEP - United Nations Environment Program. **Building resilience in SIDS: The Environmental Vulnerability Index.** Suva, Fiji: SOPAC, 2005. 13p.
- STAR, S. L.; GRIESEMER, J. Institutional ecology, "translations" and boundary objects: amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology. **Social Studies of Science**, v. 19, p. 387-420, 1989.
- STEPHEN, L. Vulnerable regions versus vulnerable people: An Ethiopian case study. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G., et al (Ed.). **Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People.** London: Earthscan, 2004. 7, p.99-114.
- SWIFT, J. Why are rural people vulnerable to famine. **IDS Bulletin - Institute for Development Studies**, v. 20, n. 2, p. 8-15, 1989.

TORRESAN, S. et al. Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. **Sustainability Science**, v. 3, p. 1, 2008.

TURNER II, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **PNAS**, v. 100, n. 14, p. 8074-8079, 2003.

\_\_\_\_\_. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. **PNAS**, v. 100, n. 14, p. 8080-8085, 2003.

UNFPA. **State of World Population 2007. Unleashing the Potential of Urban Growth**. New York: United Nations Population Fund, UNFPA, 2007. 108p.

WATTS, M. J.; BOHLE, H. G. The space of vulnerability - the causal-structure of hunger and famine. **Progress in Human Geography**, v. 17, n. 1, p. 43-67, 1993.

WESTERHOFF, L.; SMIT, B. The rains are disappointing us: dynamic vulnerability and adaptation to multiple stressors in the Afram Plains, Ghana. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 14, p. 317-337, 2009.

WHITE, G. F.; HAAS, J. E. **Assessment of research on natural hazards**. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1975. 487p.

ZIERVOGEL, G. et al. Agent-based social simulation: a method for assessing the impact of seasonal climate forecast applications among smallholder farmers. **Agricultural Systems**, v. 83, n. 1, p. 1-26, 2005.

Recebido em julho de 2011

Aceito em outubro de 2011

