

VULNERABILIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO ÀS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CASO DA ETA GUANDU

Nogueira, M. A. R. B.¹; Formiga-Johnsson, R. M.²; Raber, W.³

¹ *Maria Augusta R. B. Nogueira*, Mestre em Engenharia Ambiental pela UERJ. Instituto Estadual do Ambiente. E-mail: mariabioufrj@gmail.com

² *Rosa Maria Formiga-Johnsson*, Professora adjunta, Universidade do estado do Rio de Janeiro/ Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente. E-mail: formiga.uerj@gmail.com

³ *Wolf Raber*, Mestre em Engenharia Ambiental. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). E-mail: wolf.inea@gmail.com

ABSTRACT

The water treatment plant of Guandu has vital importance to the state of Rio de Janeiro since it is responsible for supplying 8.5 million people in Greater Rio. This paper proposes a methodology for qualitative analysis of vulnerability of the Guandu WTP to climate variability and others threats, in terms of quality and quantity of water resources. We adopted the concept of vulnerability as a function of exposure (the degree to which a system experiences stress), sensitivity (the degree to which a system is affected by stress) and adaptive capacity (the ability of a system to adjust, moderate, or deal the consequences of a stress). Four threats considered the most crucial for the current vulnerability of the WTP Guandu were proposed in the methodology: i) climate variability, ii) interbasin water transfer, iii) environmental conditions and water quality, and iv) environmental accidents.

Keywords: Vulnerability, Climate variability, Guandu Water Treatment Plant.

1 INTRODUÇÃO

O setor das águas é considerado uma das áreas ambientais que serão mais afetadas pelas variabilidades e mudanças climáticas. De fato, em todo o mundo, a disponibilidade hídrica tem sido periodicamente afetada por variabilidades climáticas sazonais, especialmente em consequência dos fenômenos El Niño/La Niña, com resultados muitas vezes desastrosos para a economia e a sociedade (LEMOS *et al.*, 2010).

Estudos como o de Krol e Bronstert (2007) indicam fortes relações entre mudanças no nível de precipitação e disponibilidade de recursos hídricos. Considerando o aumento da demanda de água oriundo do crescimento populacional e das atividades econômicas, os modelos hidrológicos desenvolvidos prevêm ainda crescentes crises de falta de água, em quantidade e qualidade adequadas para os próximos 50 anos.

Assim, pesquisas que buscam entender e caracterizar a vulnerabilidade dos recursos hídricos, face aos impactos negativos das mudanças e variabilidades climáticas globais, adquirem particular importância (LEMOS *et al.*, 2010). Pois quanto maior a dificuldade de um país em lidar com a variabilidade natural do clima e de seus eventos extremos, maiores serão sua vulnerabilidade e seu esforço de adaptação aos efeitos das variabilidades e mudanças climáticas (POPPE; LA ROVERE, 2005).

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade da Estação de Tratamento de Água do Guandu (ETA Guandu), em termos de qualidade e quantidade da água bruta captada, a partir de questionários e de uma extensa revisão bibliográfica sobre o conceito de vulnerabilidade, sobretudo associado à variabilidade e às mudanças climáticas.

A ETA Guandu é considerada a maior estação de tratamento de água em produção contínua do mundo, responsável pelo abastecimento de 8,5 milhões de pessoas em municípios do Rio de Janeiro, da

Baixada Fluminense e Itaguaí (CEDAE, 2010). O rio Guandu é o manancial que abastece a ETA Guandu. Sua vazão, que aumentou de 20m³/s para 160m³/s, atualmente, é resultado de grandes obras que resultaram em um sofisticado sistema de transposição (Complexo Paraíba do Sul – Lajes), compreendendo reservatórios de acumulação de água, usinas hidrelétricas, estações elevatórias, etc. A transposição retira cerca de dois terços das águas do rio Paraíba do Sul e mobiliza praticamente a totalidade do rio Piraí. Concebida primordialmente para a geração de energia no Complexo de Lajes, a transposição tornou-se vital para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro que é hoje profundamente dependente das águas transpostas por este complexo sistema de infraestrutura hídrica.

■ ■ ■

Este trabalho foi escrito com base na da Dissertação de mestrado de Nogueira (2011) e faz parte grupo do projeto de pesquisa “Água doce e Mudanças climáticas: Vulnerabilidade”. Foi concebido com o apoio financeiro do CNPq e da Faperj no âmbito do projeto “Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação”, coordenado pela Prof. Rosa Formiga.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para compreender melhor a extensão do problema foi necessário fazer uma ampla pesquisa bibliográfica envolvendo o tema vulnerabilidade, que definiu as principais linhas de pesquisa que seriam abordadas neste trabalho. Além disso, a revisão possibilitou elucidar os diferentes conceitos que envolvem o tema, permitindo, assim, a identificação da definição mais adequada de vulnerabilidade utilizada neste trabalho, como também, dos fatores que a compõem (exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação) e a relação existente entre eles.

A região hidrográfica de estudo envolve a principal estação de tratamento de água do estado do Rio de Janeiro, a ETA Guandu, e seu suprimento de água bruta. Dessa forma, foi concebido um questionário visando identificar os principais problemas que envolvem a ETA Guandu e a sua área de influência. Esse questionário foi aplicado aos atores-chave envolvidos, a saber: Agência Nacional de Águas (ANA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae) e Light Serviços de Eletricidade S.A.

Após estas etapas metodológicas, foi possível criar um roteiro específico para a análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu, a partir do quadro conceitual de Raber *et al* (2010) que é voltado para a análise de vulnerabilidade de sistemas de abastecimento de água. A metodologia proposta possibilita discutir e identificar, de forma qualitativa, o grau de vulnerabilidade da água captada pela ETA Guandu com relação à diversos fatores de estresse, inclusive a variabilidade climática.

3 VULNERABILIDADE: CONCEITOS E TEORIAS

No Brasil, uma lei recente institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei n^o 12.187, de 29/12/2009) que define vulnerabilidade como sendo o “Grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação de clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos” (BRASIL, 2009).

O conceito de vulnerabilidade às mudanças climáticas, como disposto na legislação, por exemplo, mesmo sendo específico ao tema mudanças do clima é ainda bastante amplo e abrange grande variedade de escolas científicas e abordagens conceituais. Newell *et al.* (2005) enfatizou em seu trabalho que as equipes de pesquisa deveriam estar preparadas para passar grande parte do seu tempo em discussões detalhadas sobre o significado de cada palavra, já que a existência de conceituações e terminologias

concorrentes tem se tornado bastante problemática para a interpretação dos resultados obtidos nessas pesquisas.

Além das variações entre o significado das terminologias, o tema vulnerabilidade pode ter abordagens em diferentes escalas temporais, espaciais e sociais, sendo comum encontrar estudos em escala global, regional ou individual, que tratam do tema no tempo presente, passado ou futuro. A ameaça causada pela variabilidade climática, por exemplo, pode ter sua manifestação física representada em escala local e de curto prazo sob a forma de secas, inundações e tempestades; ou, ainda, em escala global e de longo prazo como sob a forma de alterações na temperatura média do planeta modificando a circulação dos ventos e das correntes nos oceanos, influenciando o regime de evaporação e chuvas, proporcionando efeitos na distribuição dos ecossistemas e profundas alterações na composição da biodiversidade.

Dessa forma, o conceito de vulnerabilidade evoluiu ao longo do tempo, variando significativamente entre diferentes domínios de investigação. Adger *et al.*, 2004 constatou que, de modo geral, a vulnerabilidade de um sistema, da população ou de um indivíduo a uma determinada ameaça diz respeito à sua capacidade de ser prejudicado por essa ameaça. Füssel (2007), quanto aos diversos conceitos de vulnerabilidade encontrados na literatura, conclui que não existe um único conceito “correto” ou “melhor” no qual todos os contextos e necessidades de investigação caberiam. Os conceitos, então, têm que ser escolhidos e adaptados especificamente de acordo com as ambições e objetivos de cada estudo.

Janssen (2007) realizou uma extensa revisão bibliográfica envolvendo resiliência, vulnerabilidade e adaptação que incluiu a análise de 3.399 publicações entre 1967 e 2007. Esse trabalho indicou o Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC): *Relatório sobre Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade da Mudança Climática* de 2001 como a publicação mais citada dos últimos anos no campo da vulnerabilidade e capacidade de adaptação à mudança do clima. Segundo esse documento, a vulnerabilidade é definida como "... o grau em que um sistema é suscetível a, ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo variabilidades climáticas e eventos extremos. A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de variação climática ao qual um sistema está exposto, sua sensibilidade e capacidade adaptativa.". Assim para o IPCC os conceitos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa estão subordinados como partes da vulnerabilidade. No entanto, a definição dá poucos indícios sobre como a vulnerabilidade pode ser contextualizada em um estudo específico.

3.1 Correntes de determinação da vulnerabilidade

Adger (2006) revisou as principais correntes de determinação da vulnerabilidade às mudanças ambientais e os desafios presentes na integração destas pesquisas aos conceitos de adaptação e resiliência em sistemas sócio-ecológicos (SES). O termo SES enfatiza a ligação existente entre sistemas ecológicos e sociais, tal como definido em Carpenter *et al* (2001) "... o termo sistema sócio-ecológico integra o ser humano na natureza e salienta que a delimitação entre os sistemas sociais e ecológicos é artificial e arbitrária." Neste conceito, os diferentes enfoques da pesquisa acadêmica para a vulnerabilidade à mudança do clima, por exemplo, devem ser caracterizados sempre tendo em vista que o tema vulnerabilidade à mudanças climáticas não existe isoladamente da política econômica mundial de exploração e uso dos recursos naturais.

Segundo Adger (2006), as duas principais teorias precursoras da idéia de vulnerabilidade integrando o conceito SES foram: a teoria de vulnerabilidade perante a ausência de direitos essenciais ("*lack of entitlements*") e a teoria de vulnerabilidade a desastres naturais ("*natural hazards*"). As pesquisas que envolvem a teoria de desastres, de modo geral, podem ser divididas em três áreas de conhecimento: 1- ecologia política / humana, 2- desastres naturais e 3- o denominado modelo pressão - liberação ("*Pressure and Release model*") que ocupa o espaço entre a ecologia humana e a teoria de vulnerabilidade a desastres naturais (Figura 1).

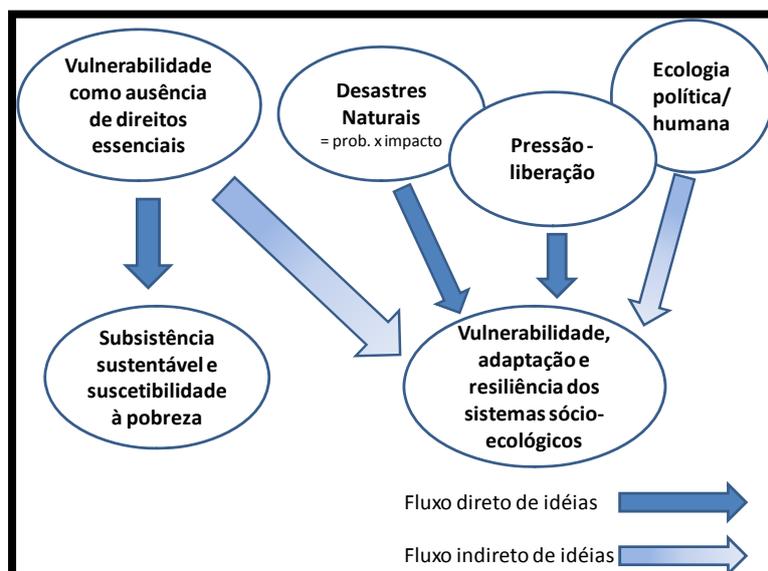


Figura 1: Tradições na investigação da vulnerabilidade e suas evoluções.
 Fonte: Adger, 2006.

A teoria de vulnerabilidade perante a ausência de direitos essenciais lida com um conjunto de fatores institucionais e econômicos associados. Neste caso, são chamados de 'direitos essenciais' os recursos potenciais ou disponíveis para os indivíduos com base em sua própria produtividade. Deste modo, a vulnerabilidade quase sempre pode ser evitada, uma vez que ela é o resultado de processos em que os seres humanos se engajam ativamente. Na explicação para as causas da fome, por exemplo, as quedas na produção de alimentos são associadas à demanda efetiva por alimentos e aos meios sociais e econômicos de sua obtenção e não necessariamente à secas, inundações, ou pragas (SEN, 1981 e 1984, *apud* Adger, 2006). Embora essa abordagem subestime muitas vezes os fatores físicos ou ecológicos que compõem a vulnerabilidade, ela pode ser usada para explicar situações em que as populações foram mais vulneráveis à fome ou outras crises mesmo quando não há absoluta escassez de alimentos decorrente de motivos ambientais óbvios. Essencialmente, a suscetibilidade à pobreza e a ameaça à subsistência sustentável são conseqüências diretas da teoria de ausência de direitos essenciais a qual ocorre, principalmente, quando as pessoas têm renda real ou riqueza insuficientes.

Em contra ponto, a teoria de vulnerabilidade a desastres naturais que também pode ser chamada de risco-desastre, explora os aspectos biofísicos da vulnerabilidade e conceitua o impacto de um desastre como função da exposição a eventos exógenos e sensibilidade (dosagem de resposta) do sistema atingido (FÜSSEL, 2007). Nesta abordagem, a vulnerabilidade é vista como a quantidade de danos causados ao sistema pela exposição resultante da freqüência e severidade de um desastre ou evento climático específico, ou seja, ela se preocupa com o dano (resultado), experimentado por um sistema com sensibilidade específica, através da exposição a desastres. De forma mais abrangente, a vulnerabilidade é definida por Adger *et al.* (2004) como "a natureza do desastre e seu impacto físico de primeira ordem, e um componente biológico ou social associado com as propriedades do sistema afetado que atua para ampliar ou reduzir os danos resultantes deste impacto de primeira ordem."

Os elementos físicos da exposição, a probabilidade de ocorrência e o impacto do desastre natural servem como base para a análise de vulnerabilidades de modo geral (BURTON; KATES; WHITE, 1993). Além disso, é recorrente, em muitos desastres naturais, que a vulnerabilidade da população humana se baseie em grande parte no local onde residem, na forma que utilizam os recursos naturais ou no enfrentamento de competição por estes recursos. Brooks, Adger e Kelly (2005) também abordam a teoria de risco-desastre (vulnerabilidade biofísica) como uma ocorrência probabilística de desastres relacionados ao clima compreendendo os eventos meteorológicos (físicos) de risco que são, então, mediados de acordo com a vulnerabilidade do sistema exposto.

Esta visão descritiva fornece elementos de compreensão sobre a distribuição das condições perigosas, os efeitos na população e suas estruturas bem como uma estimativa de danos potenciais (FÜSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007 e TURNER *et al.*, 2003). No entanto, a capacidade das

pessoas para lidar com o perigo recebe pouca atenção nesta linha de análise. Conseqüentemente, o papel da economia política e de estruturas institucionais e sociais na formação da exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa é relativamente ignorado neste cenário (TURNER *et al.*, 2003). Com isso, os indicadores nesta abordagem biofísica devem incluir fatores como capitalização dos danos, estatísticas de mortalidade humana, custos de reconstrução ou danos em ecossistemas, para minimizar esta falha (ADGER *et al.*, 2004).

A ecologia política / humana aplica um modelo explicativo de vulnerabilidade socioeconômica a múltiplos estresses. A vulnerabilidade é o estado interno (propriedade inerente) de um sistema que faz com que a sociedade humana fique vulnerável a danos causados por perigos externos, considerando que a natureza do risco não é especificada (ADGER *et al.*, 2004). Esta definição proveniente da 'ciência social' é muitas vezes referida como a vulnerabilidade social, pois descreve e caracteriza as condições de um determinado sistema como sendo composto por fatores socioeconômicos e pela capacidade dos diferentes grupos de antecipar, lidar, resistir, recuperar ou se adaptar a um estresse externo (ADGER, 2006, FÜSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007 e TURNER *et al.*, 2003). Neste conceito, a vulnerabilidade é determinada por fatores como a pobreza e a desigualdade, a marginalização, o direito a alimentos, o acesso e a capacidade de mobilizar recursos, que liga a ecologia política à investigação sobre os direitos essenciais (FÜSSEL, 2007). É importante salientar que a vulnerabilidade de um sistema específico ou de uma unidade exposta é extremamente dependente da natureza intrínseca deste sistema e do estresse específico ou série de estresses aos quais ele está exposto (ADGER *et al.*, 2004 e BROOKS; ADGER; KELLY, 2005). Neste contexto, estresse refere-se a impactos físicos.

Recentemente, estudiosos da teoria de desastres naturais e da ecologia política / humana experimentaram combinar fatores internos de um sistema vulnerável à sua exposição a riscos externos, em cenários mais ou menos integrados. Exemplos dessa mistura de conceitos incluem o "modelo pressão - liberação" ("*Pressure and Release model*") por Blaikie *et al.*, (1994), o "modelo lugar de perigo" ("*hazard of place model*") por Cutter (2003) e o "cenário de vulnerabilidade associada" ("*coupled vulnerability framework*") apresentado em Turner *et al.*, (2003).

De acordo com Adger (2006), o modelo "pressão - liberação" ocupa espaço entre a teoria de desastres naturais e da teoria da ecologia política / humana ao conceituar a vulnerabilidade de um grupo social como produto de um risco físico ou biológico. Este modelo associa a dimensão externa da vulnerabilidade (exposição) a uma dimensão interna (sensibilidade e capacidade de adaptação), que é resultado de uma progressão cumulativa de características sociais inerentes da unidade exposta. Esta dimensão interna faz com que o sistema seja vulnerável ou, ao contrário, capaz de lidar com tensões externas (BLAIKIE *et al.*, 1994; FÜSSEL; KLEIN, 2006; HEBB; MORTSCH, 2007; TURNER *et al.*, 2003 e WISNER *et al.*, 2003).

A necessidade de abordar condições físicas e sociais de forma única para diferentes sistemas sócio-ecológicos levou à criação de avaliações de vulnerabilidade com base na localização, também conhecido como "modelo lugar de perigo" (CUTTER; MITCHELL; SCOTT, 2000, FÜSSEL; KLEIN, 2006, HEBB; MORTSCH, 2007, TURNER *et al.*, 2003). Padrões de distribuição de riscos e os processos subjacentes que dão origem a eles são analisados, ao mesmo tempo, para diferentes tipos de riscos em um local específico (CUTTER; MITCHELL; SCOTT, 2000). Um ponto forte desta análise baseada na localização é a sua capacidade de envolver a participação pública e a colaboração de várias partes interessadas em resolver problemas de vulnerabilidade (TURNER *et al.*, 2003).

3.2 Estrutura conceitual unificada

Füssel (2007) reconhece os problemas existentes no desenvolvimento de conceitos e terminologias de vulnerabilidade concorrentes e, assim, propõe em seu trabalho uma estrutura conceitual comum para permitir a comunicação clara e transparente entre os diferentes grupos de pesquisa. Revisando diversas linhas de investigação de vulnerabilidade à mudanças climáticas, ele propõe uma forma geral de conceituação aplicável para o termo vulnerabilidade, distinguindo-o entre as seguintes dimensões: ambiente (ou escala) e domínios de conhecimento dos fatores de vulnerabilidade. A escala é separada em (1) fatores internos de vulnerabilidade que descrevem as propriedades do sistema vulnerável ou da própria comunidade e (2) fatores externos que se referem a algum agente estressante fora do sistema vulnerável dependendo do âmbito de aplicação da investigação de vulnerabilidade. Os domínios de conhecimento

distinguem-se entre: (1) fatores de vulnerabilidade socioeconômica normalmente investigados pela ciência social (ecologia humana / política), e (2) fatores biofísicos que são foco das disciplinas de investigação física (investigação dos desastres naturais) (Figura 2). As categorias dos domínios de conhecimento podem se sobrepor, o termo sistema socio-ecológico descrito anteriormente expressa essa interligação do sistema (TURNER *et al.*, 2003 e ADGER, 2006).

Estas dimensões acopladas ao conceito de vulnerabilidade fornecem "uma estrutura mínima para descrever a multiplicidade dos conceitos de vulnerabilidade na literatura", que podem ser ainda mais discriminados a fim de descrever os fatores relevantes de uma forma mais aprofundada (FÜSSEL, 2007). Fatores de vulnerabilidade social internos poderiam ser distinguidos como qualquer fator genérico como, por exemplo, pobreza, desigualdade social e saúde, ou como algum fator específico para um determinado estresse como a situação das habitações localizadas nas planícies de inundação de rios. "Fatores como pobreza e desigualdade estão representando vulnerabilidade genérica e capacidade adaptativa, ou seja, são fatores que determinam a vulnerabilidade e a capacidade de se adaptar a uma ampla gama de estresses." (ADGER *et al.*, 2004)



Figura 2: Diagrama conceitual dos quatro principais componentes que podem ser usados para definir a vulnerabilidade.

Fonte: FÜSSEL, 2007, modificado por Wolf Raber, 2010.

Distinguir as dimensões da escala tem particular importância na investigação da vulnerabilidade de um único setor ou área de bacias hidrográficas. Cumming, Cumming e Redman (2006) enfatizam que quando a competência das instituições de gestão não correspondem à dimensão ambiental ou ecossistêmica do sistema natural, as ações públicas podem resultar em experiências mal sucedidas de gestão, ineficiência e perda de capacidade adaptativa do sistema sócio-ecológico. Turner *et al.* (2003) também menciona, na investigação de vulnerabilidade "place based", que a análise da vulnerabilidade deve sempre considerar, simultaneamente, locais e escalas de estudo, além dos limites do sistema primário. Dessa forma, é possível capturar o leque de partes interessadas, *feedbacks* e processos espaço-temporais que definem a vulnerabilidade de sistemas associados hierárquicos e complexos. Neste "cenário associado de vulnerabilidade" para uma investigação sustentável, Turner conectou as condições humanas e ambientais externas e as dinamizou com o sistema humano-ambiental interno de interesse em que reside a vulnerabilidade. As condições externas configuram estresses a que o sistema interno (local da investigação) é exposto. Por conseguinte, os mecanismos de adaptação do sistema vulnerável investigado podem então afetar ou atingir dimensões espaço-temporais transcendentais ao sistema local.

3.3 Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos

A equação desenvolvida por Yohe e Tol em 2002, adaptada por Engle e Lemos em 2007, no estudo de mecanismos institucionais e de governança que influenciam a capacidade de adaptação da gestão das águas no Brasil, resume de forma clara os diferentes fatores que compõem a vulnerabilidade.

Consideramos que, esta equação tem importância fundamental para a aplicação prática da maioria das linhas de pesquisa e conceitos vistos até o momento, pois relaciona vulnerabilidade, exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

$V = f [E (AC); S (AC)]$
Onde:
V = Vulnerabilidade
AC = Capacidade adaptativa
E = Grau de exposição
S = Grau de sensibilidade

Figura 3: Vulnerabilidade segundo Yohe e Tol, adaptada por Engle e Lemos.
Fonte: Engle e Lemos, 2007.

Esta equação considera que vulnerabilidade é função da exposição e da sensibilidade que, por sua vez, são diretamente influenciadas pela capacidade adaptativa. Quanto maior for a capacidade adaptativa, menor será o grau de exposição, o grau de sensibilidade e, conseqüentemente, a vulnerabilidade.

3.4 Exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa

Pensar no conceito de vulnerabilidade apenas faz sentido quando o delimitamos: Vulnerabilidade de um sistema, local específico ou unidade à uma exposição ou à uma série de exposições. Neste trabalho, a exposição é vista como a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresses ambientais ou político-sociais, ou seja, diz respeito à natureza, magnitude, freqüência, duração e extensão do estresse climático, por exemplo, sobre uma determinada unidade de análise (ADGER, 2006, BURTON; KATES; WHITE, 1993 e O'BRIEN *et al.*, 2004). A variabilidade climática é, na verdade, o fator de estresse no qual o sistema é exposto. A exposição em si é conseqüente desta variabilidade como uma inundação que ocorreu na área estudada por exemplo.

A sensibilidade é encarada como o grau em que um sistema é afetado ou como ele vai responder aos estresses, seja de forma positiva ou negativa (IPCC, 2001 e O'BRIEN, 2004). Segundo Hebb e Mortsch (2007), a identificação de vulnerabilidades aos impactos causados pelas alterações climáticas encontra-se ainda em estágio inicial de desenvolvimento, com apenas alguns exemplos sustentáveis. O principal motivo para este atraso é que o dano experimentado por um sistema sócio-ecológico (SES) de natureza física, em um primeiro momento, certamente implicará em futuros prejuízos de caráter social, que não são tão óbvios. Assim, a sensibilidade de um sistema, deve ser entendida como uma resultante de um complexo conjunto de inter-relações entre condições físicas e sociais.

A capacidade adaptativa de um sistema, segundo o IPCC, descreve sua capacidade para: (1) se ajustar a um estresse climático atual ou esperado, ou (2) moderar os danos potenciais visando tirar proveito das oportunidades geradas com o estresse, ou (3) lidar com as conseqüências do estresse. Nesse sentido, as adaptações são ainda definidas como "ajustes em práticas, processos ou estruturas". De acordo com Folke *et al.* (2005) a noção de adaptação implica na capacidade de responder às mudanças e até mesmo transformar os sistemas sócio-ecológicos em estados melhorados. Assim, sistemas com alta capacidade de adaptação são capazes de se reconfigurar quando sujeitos a alguma alteração sem que ocorra déficits significativos nas funções cruciais do sistema sócio-ecológico. Os termos adaptação ou ação adaptativa são usados para descrever a operacionalização potencial da capacidade adaptativa.

4 METODOLOGIA PARA ANÁLISE QUALITATIVA DE VULNERABILIDADE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A análise qualitativa da vulnerabilidade aplicada neste trabalho está de acordo essencialmente com o apanhado conceitual exposto por Füssel em 2007 e desenvolvido por Raber *et al* em 2010. O trabalho de Füssel teve como objetivo principal apresentar um modo de análise da vulnerabilidade que permite descrever, resumidamente, qualquer conceito de vulnerabilidade na literatura, assim como identificar as diferenças entre conceitos alternativos. Além disso, o quadro conceitual desenvolvido a partir deste trabalho é uma ferramenta útil para aqueles que tentam desenvolver modelos formais de vulnerabilidade sem deixar de lado a diversidade de modelos conceituais e de definições inerentes ao tema e para os estudos que abordam avaliações interdisciplinares de vulnerabilidade, principalmente os relativos à mudanças climáticas.

De acordo com essa linha de pesquisa é possível distinguir 2 (duas) dimensões indispensáveis para a identificação da vulnerabilidade de um determinado local. A primeira delas é o Domínio de conhecimento que pode ser dividido entre socio-econômico e biofísico. Indicadores socio-econômicos de vulnerabilidade são aqueles que dizem respeito à economia, a distribuição de poder, as instituições sociais, práticas culturais e outras características dos grupos sociais geralmente investigados pela ciências sociais e humanas. Indicadores biofísicos de vulnerabilidade, em contrapartida, estão relacionados com as propriedades do sistema investigado pelas ciências físicas. Estas duas categorias podem se sobrepor, por exemplo, no caso de infraestrutura construída. A segunda delas é escala de estudo, que pode ser interna (endógena) que refere-se a indicadores de vulnerabilidade próprios do sistema vulnerável ou externa (exógena) que refere-se a algo que ultrapassa os limites do sistema estudado (Figura 2). Esta distinção normalmente reflete limites geográficos ou do poder de influência. Nota-se que a designação de um indicador como interno ou externo depende do escopo da avaliação da vulnerabilidade.

Seguindo a separação da escala e dos domínios de conhecimento proposta por Füssel (2007) e tendo em vista o raciocínio exposto em (YOHE; TOL, 2002 e ENGLE; LEMOS, 2007) onde a vulnerabilidade é vista como uma função da exposição e da sensibilidade perante a capacidade adaptativa, foi possível ter uma visão mais clara de como seria criar um roteiro adaptado para uma análise qualitativa de vulnerabilidade de pontos de extração de água para abastecimento urbano em uma determinada bacia hidrográfica.

Assim, foi criado um roteiro genérico (Figura 4) onde os pontos de extração de água para abastecimento urbano e a população conectada podem ser considerados como unidade exposta de análise com propriedades internas específicas. As propriedades biofísicas internas como, por exemplo, a localização dos pontos de extração, a tecnologia de tratamento utilizada e demandas de abastecimento foram caracterizadas como a sensibilidade da unidade exposta. Outras fontes de água ou a possibilidade de redução da demanda dos usuários ao longo do tempo com políticas que incentivam o reuso ou melhorias no sistema para evitar perdas representam um segundo aspecto da sensibilidade em caso de interrupção ou redução do fornecimento de água. A capacidade adaptativa dos sistemas vulneráveis, neste caso, está relacionada com as propriedades socioeconômicas dos serviços públicos e usuários de água expostos aos impactos dos possíveis desastres.

Considerando os sistemas sócio-ecológicos, em uma bacia hidrográfica a quantidade e a qualidade da água em um ponto arbitrário são determinadas por fatores como: topografia, intensidade de precipitação, práticas de gestão, uso e ocupação do solo e outros. Assim, as dimensões biofísicas e humanas formam, em conjunto, o ambiente externo localizado a montante do ponto de captação. A gestão das águas a montante inclui aspectos com as decisões tomadas pelas partes interessadas e condições biofísicas relevantes, como o uso e ocupação do solo, por exemplo, estão interligadas com o sistema humano. Em termos práticos, o ambiente externo seria caracterizado pelo cenário a montante da área de estudo, suas condições biofísicas e socioeconômicas. Dessa forma, as chuvas concentradas causadas pelas variabilidades climáticas não significam um perigo em si, mas sim a inundações na qual o sistema de análise é exposto.

Neste caso, o sistema de análise é representado pelo ponto de captação de água que caracteriza o ambiente interno a jusante. A sensibilidade deste sistema é resultado de fatores como a localização geográfica e proteção contra inundações da captação, assim como da demanda da população atendida.

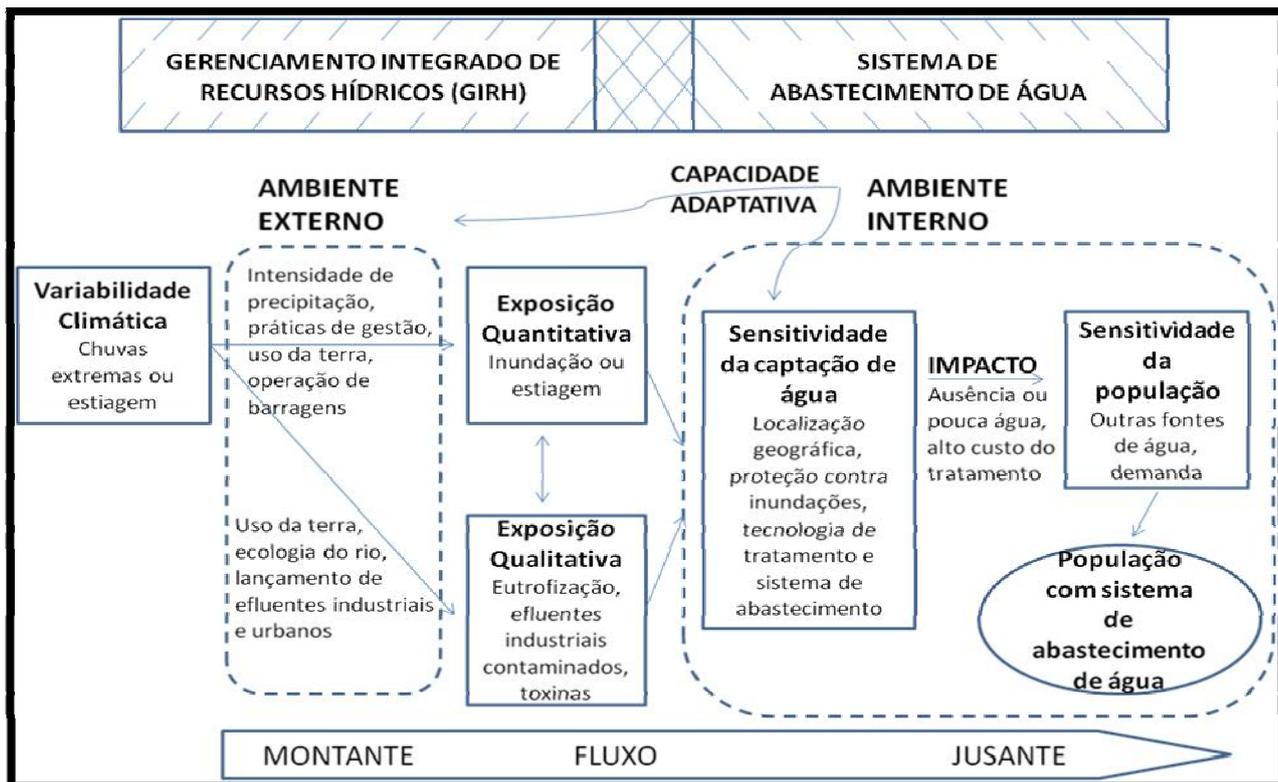


Figura 4: Estrutura conceitual da vulnerabilidade da disponibilidade hídrica para abastecimento público, em bacias hidrográficas, perante impactos da variabilidade climática.

Fonte: Raber *et al*, 2010.

Este quadro de vulnerabilidade especificamente distingue duas sensibilidades diferentes que são principalmente de natureza biofísica. O primeiro conceito de sensibilidade é inerente à utilidade da água. A sensibilidade é determinada pela localização geográfica do ponto de extração da água, proteção contra cheias, tecnologia de tratamento de água e demanda. O segundo conceito de sensibilidade está ligado ao caso de falha ou pausa de abastecimento de água da concessionária de água. A capacidade da população de reduzir a sua demanda por água, instalações internas de armazenamento ou a disponibilidade de outras fontes de águas superficiais ou subterrâneas determinam a sensibilidade para danos adversos ao bem-estar da população.

Os impactos são conseqüências das mudanças climáticas sobre os sistemas naturais e humanos, sem considerar a adaptação (IPCC, 2001). O quadro de vulnerabilidade mostra que os impactos de primeira ordem podem ser mais ou menos onerosos, dependendo dos custos de tratamento da água fornecida pela concessionária para a população. Dependendo da sensibilidade da população os impactos serão mais ou menos sentidos no bem-estar da população.

Com base neste roteiro conceitual e revisão bibliográfica, foi possível desenvolver um roteiro específico para a análise qualitativa de vulnerabilidade da ETA Guandu, quanto à disponibilidade de água bruta em qualidade e quantidade, que permita dimensionar sua vulnerabilidade perante os diversos fatores de estresse selecionados, inclusive da variabilidade climática.

5 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A ETA GUANDU: ANÁLISE QUALITATIVA DE VULNERABILIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Com base na revisão bibliográfica sobre vulnerabilidade, adotamos o primeiro pressuposto para desenvolver uma metodologia de análise qualitativa de vulnerabilidade, específica ao caso da ETA Guandu: a intensificação dos eventos extremos, oriunda ou não das mudanças climáticas globais, constitui apenas um dos fatores de estresse aos quais as Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu estão sujeitas.

Trata-se, portanto, de mais uma camada (*layer*) que compõe a vulnerabilidade da ETA Guandu em termos de quantidade e qualidade da água bruta captada. Dessa forma, é necessário ter uma abordagem holística acerca dos principais fatores de estresse para a disponibilidade da água bruta e dimensionar a importância do fator variabilidade climática (intensificação de eventos extremos) na composição da vulnerabilidade como um todo.

A partir da criação deste roteiro específico, foi possível discutir e identificar o grau de vulnerabilidade, de forma qualitativa, da ETA Guandu perante diversos fatores de estresse permitindo, assim, dimensionar a importância da variabilidade climática e eventos extremos na composição de sua vulnerabilidade como um todo.

Ressaltamos que o conceito de vulnerabilidade adotado neste estudo é relacionado à exposição (natureza e grau em que um sistema experimenta estresses ambientais; por exemplo, estiagem e inundação) e à sensibilidade (grau em que um sistema é afetado, de forma positiva ou negativa; tal como a qualidade de água em um ponto de captação).

O grau de exposição e sensibilidade de um sistema depende, por sua vez, da sua capacidade adaptativa, ou seja, a capacidade de um determinado sistema (i) de se ajustar a um estresse atual ou esperado, (ii) de moderar os danos potenciais gerados por um estresse, ou (iii) de lidar com as consequências do estresse (por exemplo, utilização de tecnologias avançadas para tratamento de água).

A figura 5 apresenta o esquema conceitual construído para a análise da vulnerabilidade das águas captadas pela ETA Guandu, em termos de quantidade e qualidade, indicando os diferentes elementos que compõem a sua vulnerabilidade potencial (fator de estresse, exposição, sensibilidade e ações adaptativas). Apesar de serem apresentados de modo independente, os elementos que compõem a vulnerabilidade devem ser interpretados de maneira sistêmica, respeitando as interligações e a complexidade entre eles.

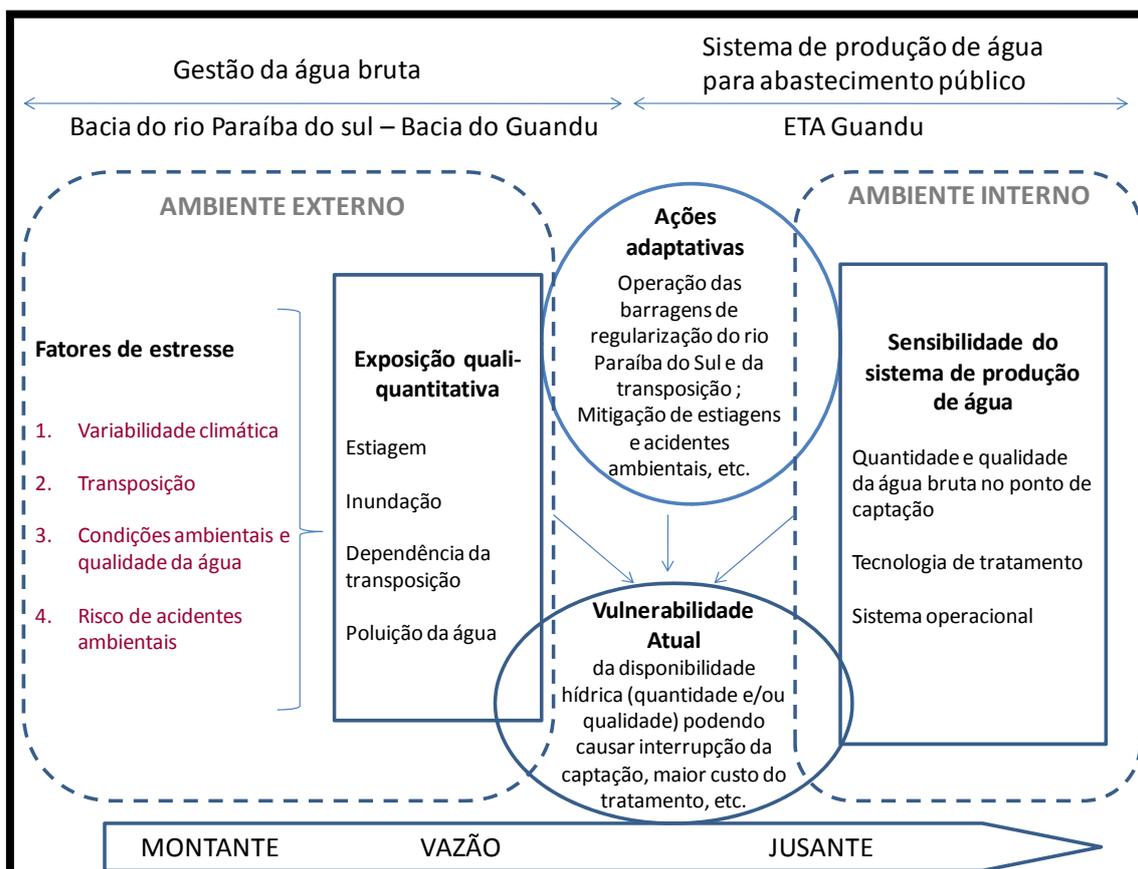


Figura 5: Esquema conceitual de análise qualitativa da vulnerabilidade da ETA Guandu.
 Fonte: Adaptado pela autora de Raber *et al*, 2010.

Os **fatores de estresse** caracterizam os estímulos que resultam na exposição de um determinado sistema. Considerando que as bacias dos rios Paraíba do sul e Guandu estão localizadas em áreas fortemente industrializadas e urbanizadas do país, os fatores de estresse foram considerados levando em conta sua dimensão (bio)física quanto político-social.

Dentre os numerosos e variados estresses que sofrem as águas captadas pela ETA Guandu, oriundos da bacia do rio Paraíba do Sul ou da própria bacia do Guandu, selecionamos 4 (quatro) fatores de estresse:

- 1) Variabilidade climática, aqui entendida como intensificação de eventos hidrológicos extremos;
- 2) Transposição das águas da Bacia do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu;
- 3) Condições ambientais e poluição da água, na bacia Paraíba do Sul, a montante da transposição, e na bacia do Guandu, a montante da captação da ETA Guandu; e
- 4) Acidentes ambientais, na bacia Paraíba do Sul, a montante da transposição, e na bacia do Guandu, a montante da captação da ETA Guandu.

A seleção destes fatores de estresse foi feita a partir da revisão bibliográfica sobre as duas bacias, complementadas por entrevistas e questionários junto à ANA, ONS, Light, Cedae e Inea. Cada fator foi escolhido de forma independente.

A **exposição** ocorre de acordo com a natureza e o grau do fator de estresse. Neste trabalho, selecionamos quatro exposições relativas aos principais problemas envolvendo a quantidade e qualidade da água bruta que o sistema estudado pode enfrentar como consequência dos fatores de estresse selecionados, a saber:

- 1) Estiagem ou período prolongado de baixa pluviosidade ou sua ausência, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição. (SEDEC, S.D.);

- 2) Inundação ou transbordamento de água da calha normal de rios em áreas não habitualmente submersas (SEDEC, S.D.);
- 3) Dependência da transposição, para a disponibilidade de água para a ETA Guandu e
- 4) Contaminantes físico, químicos e biológicos, oriundos de diversas fontes nas Bacias Paraíba do Sul e Guandu, com destaque para a turbidez e toxinas.

A **sensibilidade** da ETA Guandu refere-se a uma abordagem mais precisa do impacto que a exposição terá sob esse sistema. Para Fussel (2007) a sensibilidade é vista como o componente interno da vulnerabilidade, ou seja, são as propriedades ou atributos inerentes ao sistema analisado. Estas propriedades indicam de que forma e intensidade o sistema é afetado, ou seja, de que maneira ele sente a exposição.

Neste caso, a sensibilidade do sistema de produção de água: ETA Guandu foi determinada através de 3 (três) componentes:

- 1) Localização geográfica do ponto de captação de água bruta;
- 2) Tecnologia de tratamento e
- 3) Sistema operacional.

A **capacidade adaptativa** refere-se ao quanto o sistema é capaz de moderar, responder, ou se ajustar ao impacto visando tirar proveito das oportunidades geradas com o estresse. Iremos encarar a capacidade adaptativa com relação aos indicadores que se revelarem mais importantes na composição da vulnerabilidade, como por exemplo, a operação das barragens de regularização do rio Paraíba do Sul e da transposição e a mitigação de estiagens e acidentes ambientais.

A **vulnerabilidade** revela a relação entre a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa. Se a exposição for grave e a sensibilidade for baixa, por exemplo, uma estiagem severa e falhas na gestão ou até no próprio sistema de operação da transposição e barragens, o impacto será extremamente alto assim como a vulnerabilidade potencial. Neste trabalho consideraremos apenas os indicadores que caracterizam os chamados impactos de primeira ordem com o objetivo de simplificar a análise.

6 CONCLUSÃO

A extensa revisão bibliográfica revelou que o conceito de vulnerabilidade, sobretudo associado às variabilidades e mudanças climáticas, é bastante amplo e abrange diversas escolas científicas e abordagens conceituais. Ele deve, portanto, ser escolhido e adaptado de acordo com os objetivos e as finalidades de cada estudo.

Nesta pesquisa, adotamos conceitos de Fussel (2007) e propostas metodológicas de Yohe e Tol (2002), adaptadas por Engle e Lemos (2007), onde a vulnerabilidade é definida como função da 'exposição' (natureza e grau em que um sistema experimenta estresses ambientais; por exemplo, estiagem) e da 'sensibilidade' (grau em que um sistema é afetado, de forma positiva ou negativa; tal como a qualidade de água em um ponto de captação). O grau de exposição e sensibilidade de um sistema depende, por sua vez, da sua 'capacidade adaptativa', ou seja, a capacidade de um determinado sistema de se ajustar, moderar ou lidar com as conseqüências de um estresse (por exemplo, utilização de tecnologias avançadas para tratamento de água).

Para o desenvolvimento da metodologia específica ao estudo de caso da ETA Guandu, utilizamos ainda o esquema conceitual de Raber *et al* (2010) que propõem uma estrutura metodológica para análise da vulnerabilidade da disponibilidade hídrica para abastecimento público, em bacias hidrográficas, perante impactos da variabilidade climática.

Durante o desenvolvimento da metodologia, foi possível apreender que o fator de estresse 'variabilidade climática' é apenas mais uma camada (*layer*) que compõe a vulnerabilidade como um todo. A partir da análise da extensa literatura sobre as bacias, entrevistas e questionários com atores-chave,

selecionamos então três outros fatores de estresse considerados como os mais determinantes para a vulnerabilidade atual da água captada pela ETA Guandu, formando o seguinte conjunto de estressores: i) variabilidade climática; ii) transposição; iii) condições ambientais e qualidade da água; e iv) acidentes ambientais. A relação entre a exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa da ETA Guandu e sua área de influência, perante cada um destes quatro fatores de estresse, é que determinam a vulnerabilidade global das águas captadas no rio Guandu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGER, W. N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. *New Indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Technical Report 7, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 123p. 2004.

ADGER, W. N. *Vulnerability*. Global Environmental Change. 2006.

BLAIKIE, P. T.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London: Routledge. 1994.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres. 5 ed. S.D. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/asp>> Acesso em 10 jan. 2010.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. Lei nº 12.187. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 de dezembro de 2009.

BROOKS, N., ADGER, W. N., KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications of adaptation. *Global Environmental Change*. v.15 p.151-163. 2005.

BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. *The Environment as Hazard*. The Guilford Press, New York. 1993.

CARPENTER, S.; WALKER, B.; ANDERIES, J. M.; ABEL, N. *From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? Ecosystems*. v.4, p.765-781. 2001.

CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. *Obras de proteção da tomada d'água da CEDAE no rio Guandu*. Relatório de Impacto Ambiental, Rio de Janeiro, 2010.

CUMMING, G. S.; CUMMING, D. H. M.; REDMAN, C. L. *Scale Mismatches in Social-Ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions*. *Ecology and Society*. v.11, p.1-14. 2006.

CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S. *Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case study of Georgetown Country, South Carolina*. *Annals of the Association of American Geographers*. v.90, n.4 p.713-737. 2000

CUTTER, S. L. *The vulnerability of science and the science of vulnerability*. *Annals of the Association of American Geographers*. v.93, p.1-12. 2003.

ENGLE, N. L.; LEMOS, M. C. *Capacidade de Adaptação as Mudanças Climáticas e Gerenciamento de Recursos Hídricos no Nordeste Brasileiro: Estudo Preliminar*. Trabalho submetido ao Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) de 2007. 2007

FOLKE, C.; HAHN, T.; OLSSON, P.; NORBERG, J. *Adaptive governance of social-ecological systems*. *Annual Review of Environment and Resources* v.30, p.441-73. 2005.

FÜSSEL, H. M.; KLEIN, R. J. T. *Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking*. *Climatic Change*. v.75, n.3, p.301-329. 2006.

FÜSSEL, H. M. *Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research*. *Global Environmental Change*. v.17, p.155-167. 2007.

HEBB, A.; MORTSCH, L. *Floods: Mapping vulnerability in the upper Thames watershed under a changing climate*, CFCAS Project, Project Report XI. 2007.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL on CLIMATE CHANGE. *Impacts, Adaptation and Vulnerability: Intergovernmental panel on climate change, Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, McCarty, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. S. (Eds.) Cambridge University Press. 2001.

JANSSEN, M. A. An Update on the Scholarly Networks on Resilience, Vulnerability, and Adaptation with the Human Dimensions of Global Environmental Change. *Ecology and Society*. v.12, p.2-9. 2007.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*. v.22, p.259-68. 2007.

LEMOS, M. C., A. BELL, N. ENGLE, R. FORMIGA-JOHNSSON, NELSON D. R. Technical Knowledge and Water Resources Management: A Comparative Study of River Basin Councils, Brazil. *Water Resource Research*, in press. 2010.

NEWELL, B.; CRUMLEY, C. L.; HASSAN, N.; LAMBIN, E. F.; PAHL-WOSTL, C.; UNDERDAL, A.; WASSON, R. *A conceptual template for integrative human-environment research*. *Global Environmental Change*. v.15, p.299-307. 2005.

NOGUEIRA, Maria Augusta Roberto Braga. *Intensificação dos eventos hidrológicos extremos e a ETA guandu: uma análise qualitativa da vulnerabilidade*. 2011. 152f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O'BRIEN, K.; LEICHENKO, R.; KELKAR, U.; VENEMA, H.; AANDAHL, G.; TOMPKINS, H.; JAVED, A.; BHADWAL, S.; BARG, S.; NYGAARD, L.; WEST, J. *Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India*. *Global Environmental Change*. v.14, p.303-313. 2004.

POPPE, M. K.; LA ROVERE, E. (Org.). *Mudanças climáticas*. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Presidência da República, 2005. (Cadernos do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República-NAE, v. 1).

RABER, W.; JOHNS, O; NOGUEIRA, M. A. R. B. Assessing vulnerability of domestic water supply towards climate variability in major river basins of the state Rio de Janeiro, Brazil. Relatório de pesquisa. Projeto Variabilidades e mudanças climáticas & abastecimento urbano de água no Estado do Rio de Janeiro: impactos, vulnerabilidade e capacidade de adaptação. Rio de Janeiro, 2010.

TURNER II, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. *A framework for vulnerability analysis in sustainability science* Proceedings of the National Academy of Sciences US. v.100, p.8074–8079. 2003.

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2ed., UNEP. 2003.

YOHE, G.; TOL, R. S. J. Indicators for social and economic coping capacity—moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change*. v.12, n.1, p.25–40. 2002.