



Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Índice de perturbações ambientais em áreas cársticas do estado do Tocantins – primeira aplicação no Brasil

Fabiane Fernandes Silva¹; Fernando Morais²

Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente, UFT, Palmas – TO. Autor Correspondente: fabiane_fernandes@mail.uft.edu.br; ²Professor Dr. dos Programas de Pós-graduação em Geografia e em Ciências do Ambiente, UFT, Porto Nacional – TO. Autor correspondente. morais@uft.edu.br

Artigo recebido em 01/03/2016 e aceito em 12/05/2016

RESUMO

As áreas cársticas de Aurora do Tocantins e Dianópolis, situadas na região sudeste do estado do Tocantins, constituem as mais significativas paisagens cársticas da porção central do Brasil. Entretanto, a ocupação do solo nesta região para diversos fins tem elevado a fragilidade destas áreas, modificando suas características naturais. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar a integridade ambiental das áreas cársticas. Para tanto, foi utilizada uma metodologia voltada para a análise dos impactos ambientais em ecossistemas cársticos denominada de Karst Disturbance Index (KDI), aplicada a três seguimentos principais de uso e ocupação da terra: fazendas, pontos turísticos e cavernas. Os dados levantados permitem constatar que ambas as áreas de estudo estão sendo degradadas por diversas atividades antrópicas como a visitação irregular em cavernas e outros pontos turísticos, o descarte inadequado de resíduos sólidos, a mineração, construção de hidrelétricas, dentre outros impactos. Nesse contexto, para que seja possível utilizar-se dos recursos naturais, notoriamente indispensáveis à sobrevivência humana, faz-se necessária uma integração da gestão ambiental com atividades voltadas para o uso sustentável destes ambientes.

Palavras-Chave: Carste, Índice de Perturbações Ambientais, Gestão Ambiental, Tocantins.

Karst disturbance index applied in karst areas of Tocantins state - first application in Brazil

ABSTRACT

The Aurora do Tocantins and Dianópolis karst areas, located in the southeastern region of the state of Tocantins constitute significant karst landscapes in central Brazil. However, inadequate land use has increased the fragility of these areas modifying their natural and hydrogeological characteristics. In this sense, the present study analyzes the environmental impacts on this karstic landscape using the Karst Disturbance Index (KDI) from two variables: the use and occupation of the land (Farms, tourist spots and caves). The data collected allow us to affirm that human activities such as irregular visitation in caves and touristic sites, improper disposal of solid waste, mining, construction of hydroelectric power stations are responsible for the severe degradation of both karst areas. In this context, human activities should be integrated with a suitable and sustainable environmental management.

Keywords: Karst, Karst Disturbance Index, Environmental management, Tocantins state.

Introdução

As discussões acerca da necessidade de equilíbrio entre as ações antrópicas e a capacidade de restituição natural do meio ambiente têm desempenhado papel central na busca por uma melhor qualidade da vida no planeta Terra. Neste contexto, os estudos relacionados aos impactos ambientais sobre sistemas cársticos têm se

intensificado nas últimas três décadas. A maioria dos estudos visa compreender como se dão as perturbações antrópicas em terrenos cársticos, bem como as consequências que estas alterações causam em tais ambientes, enfocando as áreas de turismo (Cigna, 1993), agricultura (Urich, 1993; Harding e Ford, 1993) mineração (Gunn e Bailey, 1993), entre outras.

Aproximadamente 5 a 7% do Brasil é constituído por relevo cárstico (Karmann, 1994), com ocorrência de cerca de 6.000 cavernas distribuídas por todo o país. A porção sudeste do estado do Tocantins vem apresentando grande potencial paleontológico, arqueológico e turístico devido sua grande concentração de feições cársticas (Oliveira et al., 2011). Neste contexto, os municípios de Aurora do Tocantins e Dianópolis têm demonstrado um relevante potencial científico para estudos dos sistemas cársticos (Lobo e Lourenção, 2007). Com o objetivo de detectar as perturbações ambientais em duas áreas cársticas, o presente estudo utilizou-se pela primeira vez no Brasil do *Karst Disturbance Index (KDI)*. Este método foi desenvolvido por Van Beynen e Townsend (2005), especificamente para análises de sistemas cársticos.

O *Karst Disturbance Index (KDI)* é um método elaborado com base teórica numa visão holística e abordagem sistêmica, e pode ser aplicado para quantificar o grau de perturbação antrópica provocada em ambientes cársticos (Van Beynen e Bialkowska-Jelinska, 2012). Apesar da possibilidade de aplicação em qualquer área cárstica (Van Beynen et al., 2007; North et al., 2009; Calô e Parise, 2006; De Waele, 2009; North et al., 2009), nenhum trabalho utilizando este índice havia sido realizado no Brasil até o presente momento.

Área de estudo

As áreas cársticas de Dianópolis e Aurora do Tocantins localizam-se na região sudeste do Estado do Tocantins (Figuras 1 e 2). Ambas se caracterizam por maciços calcários aflorados com

morfologia adequada à presença de cavidades e outras feições cársticas, tendo sido descobertas cavernas com dimensões consideráveis, além de várias delas apresentarem uso turístico. De acordo com Karmann e Sánchez (1979), as formações carbonáticas da região pertencem à Província Espeleológica do Bambuí (Subgrupo Paraopeba). Esta província espeleológica constitui o maior conjunto de ocorrências calcárias favoráveis à presença de cavernas no Brasil.

O município de Dianópolis possui uma área 3.217 km², com população de 19.110 habitantes (IBGE, 2010). É uma região com predominância de vegetação xeromorfa aberta, dominada e marcada por um estrato herbáceo. Esta área encontra-se situada na borda do Planalto Sedimentar do São Francisco, numa sequência metassedimentar (Proterozóico Médio) (Zampaulo et al., 2007), com altitude média de 693 m.

A cidade de Aurora do Tocantins possui área de 753 km² e 3.446 habitantes (IBGE, 2010) e está localizada na borda oeste da Serra Geral, com predomínio das rochas areníticas do Grupo Urucuaia, além dos calcários do Grupo Bambuí, ambos pertencentes à Bacia Sedimentar Sanfranciscana. Esta área apresenta uma altitude média de 468 m (Zampaulo e Ferreira, 2009).

O clima da região é tropical equatorial e de grande amplitude térmica, com temperaturas variando entre 20°C durante a noite e 40 C° durante o dia (INVTUR, 2008). Esta região apresenta um tipo de vegetação com grandes áreas descontínuas, localizada entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Savana Estépica (*Caatinga*) (SEPLAN, 2008).

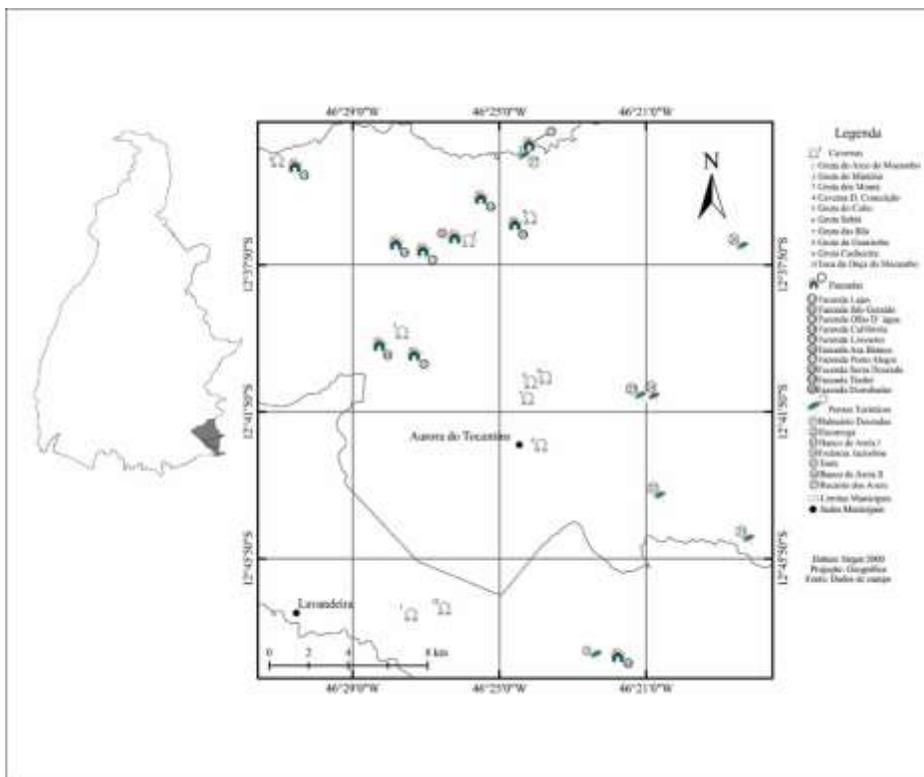


Figura 1 – Localização da área cárstica de Aurore do Tocantins.

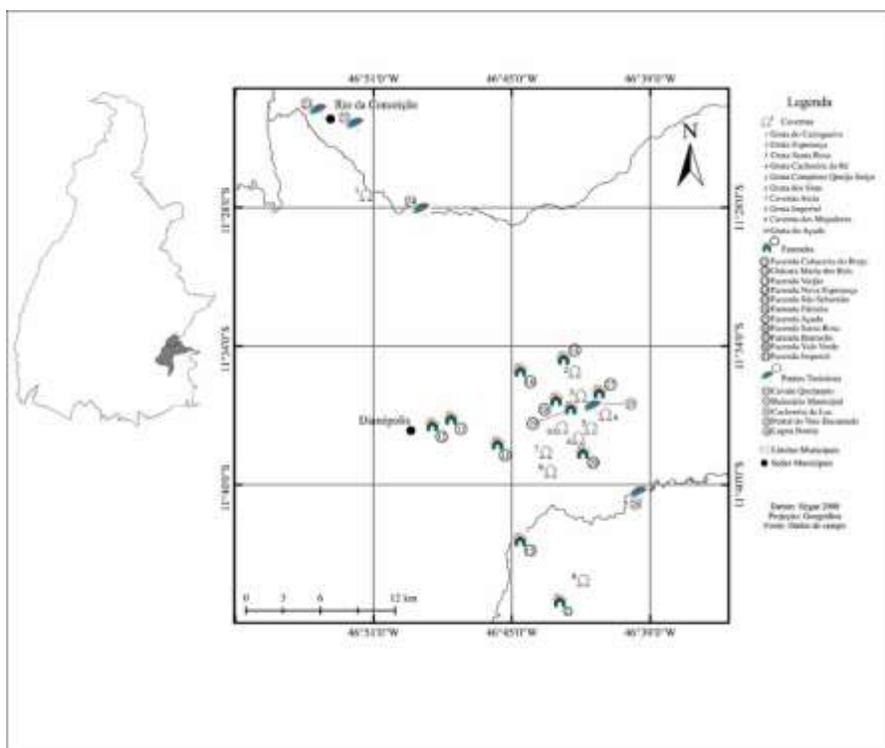


Figura 2 – Localização da área cárstica de Dianópolis.

Metodologia

O *Karst Disturbance Index (KDI)* é uma metodologia proposta por Van Beynen e Townsend (2005), que mede os fatores de perturbação no carste, levando em consideração o grau de interferência antrópica. Este índice é composto por informações sobre cinco categorias: Geomorfologia, Hidrologia, Biota, Atmosfera e Fatores Culturais. Estas 5 categorias são compostas por 13 atributos e 30 indicadores, que foram avaliados em três escalas diferentes: macro, meso e micro (Quadro 1). Esta metodologia visa analisar todo o sistema cárstico (Van Beynen e Townsend, 2005), com uma visão macro, é possível a compreensão dos processos em larga escala, sendo possível notar quais impactos afetam este sistema, como atividades de mineração, hidrelétricas, desmatamento e sobreexploração das águas subterrâneas. A escala meso é mais localizada, ou seja, são os impactos em menor escala espacial, exemplos disso são as construções

que cobrem feições cársticas, poluição do solo e remoção de artefatos históricos; enquanto que a avaliação em escala micro constitui-se na análise das condições individuais da feição cárstica, podendo ser incorporados no estudo, os condutos acessíveis à exploração humana.

No presente estudo, algumas escalas foram modificadas como, por exemplo, o indicador lixo, que na versão original é analisado na escala micro. Neste estudo este item foi avaliado em escala *meso*, por observar que nos sistemas estudados este tipo de impacto pode provocar alterações no sistema cárstico nesta escala.

Os dados sobre as áreas estudadas foram obtidos por meio de relatórios técnicos, análise de imagens de satélite, entrevistas com a população local e observações em trabalhos de campo.

Quadro 1 – Indicadores utilizados na avaliação das perturbações ambientais nas áreas estudadas.

Categoria	Atributos	Escala	Indicador
Geomorfologia	Superfície de Relevô	Macro	Mineração
		Macro/Meso	Inundações (Hidrelétrica, Irrigação)
		Meso	Drenagem de águas pluviais
		Meso	Entupimento/Entulhamento
	Solo	Macro	Erosão
		Micro	Impermeabilização
	Subsuperfície cárstica	Macro	Inundações na caverna
		Micro	Vandalismo (Remoção de decoração)
		Micro	Remoção de sedimentos minerais
		Micro	Compactação de sedimentos no chão
Atmosfera	Qualidade do ar	Macro	Dissecação
		Micro	Condensação/ corrosão induzidas pelo homem
Hidrologia	Qualidade da água	Meso	Pesticidas/ Herbicidas
		Micro	Derramamentos industriais/ petróleo
	Qualidade da água	Mac/Mes/Mic	Floração de algas
	Quantidade da água	Macro	Alteração na tabela de água
Micro		Alterações nas águas da caverna/gotejamento	
Biota	Perturbação na vegetação	Mac/Mes/Mic	Remoção de vegetação
		Micro	Riqueza de espécies
	Vegetação na caverna	Micro	Densidade Populacional
		Micro	Riqueza de espécies
Fatores Culturais	Artefatos humanos	Mac/Mes/Mic	Destruição/remoção de artefatos históricos
		Mac/Mes/Mic	Proteção Regulamentar

		Mac/Mes/Mic	Cumprimento dos regulamentos
		Mac/Mes/Mic	Educação Pública
	Infraestrutura	Macro	Construção de estradas
		Meso	Construção sob feições cársticas
		Micro	Construção dentro das cavernas

(Adaptado de Van Beynen e Townsend, 2005).

Para a avaliação desses indicadores, atribui-se a cada um uma nota de 0 a 3, baseando-se na extensão e gravidade do impacto. A nota 0 significa que não há perturbações antrópicas, enquanto a nota 1 é atribuída quando há alterações leves, a nota 2 às alterações graves, e a nota 3 é atribuída no caso de perturbações irremediáveis. A limitação dos escores para apenas quatro possibilidades remove parte da subjetividade, quando comparada às escalas que abrangem de 0-10 (Van Beynen e Townsend, 2005).

Após os valores terem sido atribuídos para cada indicador, os mesmos são somados e, em seguida, divididos pelo número total de indicadores, e depois multiplicados por 3, que é a nota máxima possível para cada indicador. A interpretação destas notas encontra-se resumida na Tabela 1. Quanto maior for o valor, ou seja, mais próximo de 1, maior será o grau de impacto.

Quando um indicador não é aplicável na área, o mesmo deverá ser desconsiderado na

avaliação. Para os indicadores considerados importantes, mas com dados insuficientes para avaliá-lo, atribui-se a variável LD “*Lack of Data*”, que significa falta de dados, sugerindo que mais estudos na área são necessários para avaliar o indicador. Neste trabalho aos indicadores Riqueza de espécies e Densidade populacional, ambos para as cavernas e águas subterrâneas simultaneamente foi dado uma variável LD para ambas as áreas (Aurora do Tocantins e Dianópolis).

A soma de LDs permite que se avalie o nível de confiabilidade do índice aplicado. Para se calcular tal coeficiente, divide-se o número de LDs pelo número total de indicadores. Quanto maior o valor, menor o coeficiente de confiabilidade. Valores de LD menores que 0,1 demonstram alta confiança no *KDI*, enquanto valores maiores que 0,4 sugerem insuficiência de dados para a avaliação dos distúrbios ambientais na área cárstica.

Tabela 1 – Classificação de impactos em áreas cársticas

Pontuação	Grau de Distúrbio
0.8 – 1	Altamente Perturbada
0.6 – 0.79	Moderadamente Perturbada
0.4 – 0.59	Perturbada
0.2 – 0.39	Baixo Impacto
0 – 0.19	Intacta

Fonte: Van Beynen e Townsed (2005).

Neste estudo, foram avaliadas as perturbações antrópicas em feições cársticas situadas em pontos turísticos, em fazendas e as cavernas propriamente ditas.

Para as observações nas cavernas foi preenchida uma ficha de caracterização de cavidades, proposta por Dias (2003). Tal ficha contempla informações que abrangem as áreas de Espeleometria, Geoespeleologia, Bioespeleologia e áreas afins, bem como as características gerais e as intervenções antrópicas encontradas nas cavidades. Com efeito, a utilização de tal metodologia facilitou a coleta de informações, atentando principalmente para os impactos referenciados no *KDI*.

Para a avaliação da remoção de vegetação foram utilizadas imagens de satélite e trabalhos com processamento digital para identificar o índice de desmatamento entre os anos de 1990 e 2010 nas áreas de estudo. Para tal, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita 220, ponto 69 e órbita 221, pontos 68 e 69 referentes ao mês de junho dos anos de 1990, 2000 e 2010.

Resultados e discussão

Os dados deste estudo referem-se a sete pontos turísticos, dez fazendas e dez cavernas na

área cárstica de Aurora do Tocantins (Figura 1), além de cinco pontos turísticos, onze fazendas e oito cavernas na área cárstica de Dianópolis (Figura 2). Ressalta-se que as áreas cársticas, mesmo possuindo denominações coincidentes com os nomes das cidades, não possuem seus limites restritos a área destes municípios.

Dos 30 indicadores do *KDI*, um foi eliminado e quatro receberam a variável LD, ou seja, não

possuem dados suficientes para serem analisados. Dos 25 indicadores possíveis de serem avaliados, 10 apresentaram alterações antrópicas e os demais 15 indicadores obtiveram a nota 0 para a área de Aurora do Tocantins. Já em Dianópolis 11 indicadores apontaram algum grau de interferência humana no sistema cárstico, enquanto que os 14 restantes foram avaliados com nota 0 (Tabela 2).

Tabela 2 – Avaliação dos indicadores nas áreas de estudo.

Categoria	Indicador	Dianópolis	Aurora do Tocantins
Geomorfologia	Mineração	2	0
	Inundações (Hidrelétrica, Irrigação)	3	0
	Drenagem de águas pluviais	1	1
	Entupimento/Entulhamento	0	0
	Depósito de lixo	1	2
	Erosão	1	1
	Compactação	0	0
	Inundações na caverna	0	0
	Vandalismo (Remoção de decoração)	1	1
	Remoção de sedimentos minerais	0	0
	Compactação de sedimentos no chão	0	0
	Atmosfera	Dissecação	0
Condensação/ corrosão induzidas pelo homem		0	0
Hidrologia	Pesticidas/ Herbicidas	0	0
	Derramamentos industriais/ petróleo	0	0
	Floração de algas	Suprimido	Suprimido
	Alteração na tabela de água	0	0
	Alterações nas águas da caverna/gotejamento	0	0
Biota	Remoção de vegetação	1	1
	Riqueza de espécies (caverna)	LD	LD
	Densidade Populacional (caverna)	LD	LD
	Riqueza de espécies (águas subterrâneas)	LD	LD
	Densidade populacional (águas subterrâneas)	LD	LD
Fatores Culturais	Destruição/remoção de artefatos históricos	0	0
	Proteção Regulamentar	2	2
	Cumprimento dos regulamentos	2	2
	Educação Pública	3	3
	Construção de estradas	1	1
	Construção sobre feições cársticas	0	1
	Construção dentro das cavernas	0	0
Valores totais indicadores		18	15
Número de indicadores		25	25
<i>KDI</i>		0,24	0,20
Valor de LDs		0,16	0,16

A disponibilidade dos dados varia de região para região, dependendo da profundidade da

pesquisa e dos dados disponíveis para cada local (Van Beynen e Townsend, 2005). Após tabular os

resultados do *KDI*, foi calculado o grau de confiabilidade na pesquisa, obtendo-se o coeficiente de 0,16 para ambas as áreas, demonstrando bom grau de confiança do índice obtido.

Mineração

Em Dianópolis foi possível constatar a existência de três mineradoras de calcário em funcionamento, sendo percebidas marcas de detonação nos maciços com cavidades. Devido à existência dessas mineradoras e à constatação dos distúrbios causados ao ambiente cárstico de Dianópolis como desmatamento, poluição do ar e alterações no afloramento rochoso, onde encontra-se a cavidade, esse indicador recebeu um valor 2. Em Aurora do Tocantins foi atribuído um valor 0 para todos os pontos analisados, pois não há atividade mineradora na área estudada.

A prática mais destrutiva para a superfície cárstica são as grandes minerações realizadas a céu aberto, podendo remover todas as notáveis características da paisagem (Van Beynen e Townsend, 2005). Em muitos países, pedreiras de calcário também representam impactos em áreas cársticas, sendo consideradas as atividades de maior impacto causadas pela ação humana (Gunn e Bailey, 1993).

Hidrelétricas

A crescente instalação de hidrelétricas no município de Dianópolis tem chamado atenção, principalmente quando se leva em conta o tamanho do município. Atualmente são nove Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em funcionamento, todas elas instaladas no rio Palmeiras. O aumento desse tipo de empreendimento na área cárstica de Dianópolis tem contribuído para a erosão do solo, supressão de mata ciliar, desvio de leito do rio e assoreamento do sistema hidrográfico, além de submersão total de cavernas, contribuindo para a atribuição da nota 3 para esse indicador.

Alterações nos regimes de água subterrânea e superficial têm um efeito negativo sobre a fauna do carste, sendo que a construção de barragens e reservatórios, na maioria das vezes, resulta na destruição de habitats de espécies cavernícolas raras (Milanović, 2002).

Assim, entende-se que, ainda que não tenha sido feito um levantamento prévio detalhado, possivelmente, muitas espécies ainda desconhecidas possam ter sido destruídas com a construção das barragens na área cárstica de Dianópolis. Pelo fato de não existir instalação desse tipo de

empreendimento em Aurora do Tocantins, a nota 0 foi atribuída para tal indicador.

Drenagem de águas pluviais

No presente estudo fez-se uma pequena alteração para análise deste indicador, já que a metodologia de Van Beynen e Townsend (2005) utiliza a porcentagem, e nesta pesquisa optou-se por fazer apenas observações acerca do manejo das águas pluviais. Em Aurora do Tocantins, destacam-se os pontos turísticos balneário Douradas, rio Azuis e Estância Jackeline. Em Dianópolis os atrativos denominados corredeira “Cavalo Queimado” e o balneário municipal, que apresentaram algum tipo de impacto antrópico relacionado às águas pluviais, como má destinação, por exemplo. Estacionamentos de veículos mal situados, além de manchas de vazamentos de óleos observadas em alguns desses locais, contribuíram para que a nota 1 fosse atribuída para ambas as áreas. Na concepção de Van Beynen e Townsend (2005), tais atividades podem poluir o aquífero. Conforme Pérez (1978), o estacionamento de veículos próximo a superfícies cársticas é um dos problemas mais comuns em pontos turísticos, tendo como consequência a contaminação dos sistemas subterrâneos.

Lixo

Em Aurora do Tocantins foram observados depósitos de lixo a céu aberto em vários pontos. Um deles localiza-se em frente a um morro de calcário na área de recarga à margem esquerda do córrego Cana-Brava. Nos pontos turísticos Recanto dos Azuis e Estância Jackeline, foi notado o descarte indiscriminado de resíduos sólidos, cabendo aqui ressaltar que estes sítios contam com diversas placas de advertência acerca da correta acomodação dos resíduos produzidos pelos usuários.

Nas fazendas foi observada a prática de descartar resíduos sobre as feições cársticas (Figura 3). Segundo a população local, essa prática existe há mais de quinze anos. Conforme Parise e Pascali (2003), o descarte de lixo em feições cársticas pode poluir os aquíferos e as consequências dessa poluição elevam os riscos à saúde pública. Na área de Dianópolis, embora em menor quantidade, alguns pontos também foram avaliados como distúrbio ambiental para esse indicador. Observou-se durante as atividades de campo, lixo deixado às margens dos rios. Devido a essas práticas inadequadas de destinação dos resíduos domésticos, esse indicador obteve valor 1 para Dianópolis e 2 para Aurora do Tocantins.



Figura 3 – Lixo disposto sobre *lapiás* em Aurora do Tocantins.

Erosão

A erosão em ambas as áreas tem sido intensificada principalmente nas propriedades rurais. Em Dianópolis observou-se erosão devido ao desmatamento para construção de usinas hidrelétricas, além de atividades como mineração, sendo atribuída a nota 1 para este indicador. Em Aurora do Tocantins, a retirada de mata ciliar tem gerado focos de erosão moderada em vários pontos, com feições chegando a dimensões de aproximadamente 57 m, sendo desta forma, avaliada com nota 1. Para Veni et al. (2001), a erosão quase sempre é consequência de atividades antrópicas, transportando solo para a parte mais

baixa do sumidouro, obstruindo desta forma, o dreno, tornando-se um problema ambiental em áreas cársticas.

Vandalismo

O indicador de ações de vandalismo foi avaliado em escala micro, como proposto na metodologia original. Em Dianópolis, dentre as oito cavernas visitadas, uma delas apresentou pichações nas paredes (Figura 4a). Em Aurora do Tocantins foram visitadas 10 cavernas, sendo que em três delas foram observadas alterações antrópicas como retirada de espeleotemas e pichações nas paredes (Figura 4b). Para ambas as áreas foi atribuída a nota 1.



Figura 4 – Pichações em feições cársticas. a) Caverna em Dianópolis; b) Caverna em Aurora do Tocantins. Fotos tiradas nos pontos 4 e 21 das figuras 1 e 2, respectivamente.

Pesticidas e herbicidas

Para este indicador, utilizou-se como base os relatórios da Companhia de Saneamento do Tocantins (SANEATINS), empresa responsável pelo abastecimento de água em Aurora do Tocantins e Dianópolis. Detectou-se durante os trabalhos de campo, por meio de conversas com os moradores, a prática de utilização de pesticidas por alguns agricultores, bem como a indicação de utilização de agrotóxicos na Serra Geral, onde existem grandes plantações de soja há mais de 20 anos. Apesar da aflição demonstrada por parte dos moradores da cidade de Aurora do Tocantins em relação à poluição das águas por produtos químicos, os relatórios de potabilidade, cedidos pela SANEATINS, demonstraram ausência de tais elementos na água para ambos os municípios, o que fez com que a nota atribuída a este indicador tenha sido 0. Os resultados são baseados na Portaria 518/2004 do Ministério do Meio Ambiente.

Biota

Dos indicadores da Biota presentes no *KDI*, apenas a *remoção de vegetação* foi possível de ser avaliada, aos demais (*riqueza de espécies* e *densidade populacional*), atribuiu-se a variável LD, que indica ausência de dados em ambas as áreas.

Em Aurora do Tocantins obteve-se os seguintes resultados: em 1990 a vegetação era representada por 34% da área total de estudo, caindo para 31% no final do período analisado (2010).

Em Dianópolis, a vegetação cobria 34% da área em 1990, tendo sofrido considerável redução no início do século XXI, representando 27% no ano de 2010.

Os dados de Aurora do Tocantins e Dianópolis diferenciam-se um pouco, uma vez que as características de uso da terra em tais áreas também são distintas. Enquanto primeiro intervalo em Aurora do Tocantins obteve-se um acréscimo de 4% de área vegetada, no segundo período, compreendido entre o ano de 2000 e 2010, notou-se uma redução em 13%. Em Dianópolis, a perda de vegetação demonstrou-se mais intensa entre os primeiros dez anos, reduzindo 24%, enquanto que nos últimos anos aumentou 3,8%. Dessa forma, ambas as áreas obtiveram nota 1, uma vez que, considerando os últimos vinte anos, apresentaram considerável perda de vegetação.

Proteção Regulamentar

A avaliação deste indicador contribui para o entendimento da gestão do carste, sendo, portanto,

observada a necessidade de regulamentos voltados para sua proteção em ambas as áreas estudadas. Embora a legislação, em alguns de seus artigos, contemple o carste, colocando as cavernas como bens da União, as pesquisas de campo, associadas às informações locais, demonstraram que o sistema cárstico (principalmente as cavidades) nas áreas estudadas não se encontra protegido, podendo ser atribuída a nota 2 para ambas as áreas.

As cavernas que se encontram dentro das Unidades de Conservação são protegidas pelo Governo Federal, contudo, essa legislação não atinge as que se encontram dentro de propriedades privadas. Uma questão observada em nível local refere-se ao cuidado exacerbado com as cavernas. Em uma delas pode-se perceber a utilização de um portão na entrada com o objetivo de impedir o fluxo de pessoas que pudessem, porventura, danificar a cavidade. Contudo, essa prática pode alterar também a dinâmica ecológica, podendo ocasionar perturbações em tal ecossistema. Além dessa alteração, cercas próximas a outras cavidades também foram observadas. Para Pérez (1978), este tipo estrutura alteram as características das cavidades, interferindo na migração da fauna e no fluxo de matéria que circulam no ambiente, impactando o ecossistema cavernícola.

De acordo com Van Beynen e Townsend (2005), a forma mais visível de proteção do carste está relacionada com a legislação vigente, que regulamenta o uso da terra e proíbe atividades que possam causar alterações nestes ambientes.

Cumprimento dos Regulamentos

A necessidade da aplicação e execução da legislação referente ao carste observada nas áreas de estudo contribuiu para que, para ambos os municípios fosse atribuída a nota 2, por compreender-se que não atendem aos requisitos básicos de execução das leis que regulamentam as atividades em áreas cársticas. Para Van Beynen e Townsend (2005), embora seja importante um conjunto de regulamentos que protejam determinado ambiente, pouco é eficaz se não forem cumpridos. Os regulamentos que protegem o meio ambiente, além dos programas educacionais, de abrangência federal, estadual ou local, quase nunca contemplam as peculiaridades dos ambientes cársticos (NORTH et al., 2009), como observado em ambas as áreas.

Educação Pública

No tocante ao indicador educação pública, constatou-se a falta de programas de educação

ambiental voltados para a questão do carste em ambas as áreas, tal fato condicionou atribuição de nota 3, tanto para Dianópolis como para Aurora do Tocantins. De acordo com Pelicioni (2004), uma adequada gestão ambiental depende majoritariamente do envolvimento de atores locais, e é determinada pelo grau de educação da população local. Ressalta-se que embora haja ações desenvolvidas por um grupo de Espeleologia na cidade de Aurora do Tocantins, as mesmas apresentam pouca abrangência espacial e envolvimento da população muito restrito.

Construção de Estradas

Para o indicador construção de estradas foi atribuída a nota 1 para ambas as áreas cársticas, uma vez que durante os trabalhos de campo observou-se

a construção de muitas estradas não pavimentadas, algumas muito próximas aos leitos de rios. Para Day (2007), esse tipo de construção, quando realizada sem o devido planejamento, altera o ecossistema cárstico, provoca a redução da biodiversidade e, muitas vezes, chega a destruir sítios arqueológicos.

Construção sobre as feições cársticas

Este indicador foi avaliado com peso 0 para Dianópolis, uma vez que não se observou nenhuma construção desse tipo na área. Já para Aurora do Tocantins atribuiu-se a nota 1, uma vez constatada a construção de uma estrada pavimentada sobre a nascente do rio Azuis (Figura 5). Esse indicador diferencia-se do anterior, por contemplar estradas construídas especificamente sobre as feições cársticas.



Figura 5 – Estrada pavimentada sobre a nascente do rio Azuis, maior atrativo turístico da área cárstica de Aurora do Tocantins.

Conclusões

Os resultados obtidos na presente pesquisa indicam que, embora as áreas de estudo ainda sejam pouco conhecidas do ponto de vista científico, ambas apresentam distintas e interessantes paisagens que são dignas de estudos que visem sua proteção.

Os resultados do *KDI* demonstraram que, ainda que em estágio inicial, as duas áreas cársticas encontram-se perturbadas, uma vez que obtiveram índices de 0,24 e 0,2 para Dianópolis e Aurora do Tocantins, respectivamente. Vale ressaltar que este método vem sofrendo modificações em função das distintas realidades apresentadas pelas áreas onde foi aplicado desde a sua concepção. Porém, por ser a primeira vez que este foi aplicado no Brasil, buscou-se aproximar ao máximo da versão original de Van Beynen e Townsend (2005). A partir dos dados levantados e das discussões realizadas, pode-se concluir que:

- Aurora do Tocantins demonstrou uma tendência maior para os impactos nas cavernas e disposição de lixo em locais inadequados, enquanto que em Dianópolis as interferências mais impactantes estão relacionadas às mineradoras e hidrelétricas;
- Ainda que seja pequena, a visita às cavernas tem sido realizada sem planejamento, provocando alterações antrópicas nestes ambientes;
- Na área cárstica de Aurora do Tocantins necessitam-se que sejam realizadas análises químicas da água, para tentar evidenciar a ocorrência de resíduos de pesticidas, fator muito enfatizado pelos moradores durante os trabalhos de campo;
- O cálculo do grau de semelhança da vegetação por meio de imagens de satélite mostrou-se eficaz para avaliar esta variável em áreas com poucos estudos históricos de vegetação.

A metodologia do *KDI* pode contribuir para a avaliação de áreas cársticas de forma sistêmica, indicando aos gestores, quais áreas devem ter prioridade em ações de gestão e planejamento ambientais, visando o uso racional dos recursos naturais. Cabe ressaltar ainda a necessidade estudos mais completos, que visem compreender melhor as relações entre as componentes/variáveis do sistema cárstico analisadas no *KDI*.

Agradecimentos

Este estudo foi desenvolvido com auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq na forma de bolsa de produtividade em pesquisa, processo nº

314759/2009-3, concedida ao segundo autor. Os autores agradecem às prefeituras dos municípios de Aurora do Tocantins e Dianópolis e aos membros do Tocantins Espelogrupo, pela ajuda nos trabalhos de campo. A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de mestrado concedida ao longo da pesquisa.

Referências

- Calô, F.; Parise, M., 2006. Evaluating the human disturbance to karst environments in southern Italy. *Acta Carsologica* 35, 47–56.
- Cigna, A.A., 1993. Environmental management of tourist caves: The examples of Grotta di Castellana and Grotta Grande Del Vento, Italy. *Environmental Geology* 21, 173-180.
- Day, M., 2007. The karstlands of Antigua, their land use and conservation. *The Geographical Journal* 173, 170–185.
- De Waele, J.; Plan, L.; Audra, P., 2009. Recent developments in surface karst geomorphology: An introduction. *Geomorphology* 106, 1-8.
- Dias, M.S., 2003. Ficha de caracterização de cavidades. in: Congresso Brasileiro De Espeleologia, 27, Januária. *Anais...* p. 151-160.
- Gunn, J.; Bailey, D., 1993. Limestone quarrying and quarry reclamation in Britain. *Environmental Geology* 21, 167-172.
- Harding, K.A.; Ford, D.C., 1993. Impacts of primary deforestation upon limestone slopes in northern Vancouver Island, British Columbia. *Environmental Geology* 21, 167-172.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. Informações estatísticas. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=> [o](#). Acessado em 20 de junho de 2011.
- INVTUR – Inventário Turístico, 2008. *Inventário da Oferta Turística de Aurora – Tocantins*. pp. 24.
- Karmann, I., 1994. Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira, sudeste do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado). IGc-USP, 228p.
- Karmann, I.; Sánchez, L.H., 1979. Distribuição das rochas carbonáticas e Províncias espeleológicas do Brasil. *Espeleo-Tema* 13, 105-167.
- Lobo, E.A.S.; Lourenção, M.L.F., 2007. Ecoturismo e turismo de aventura como alternativas para a conservação do carste de Dianópolis - TO. In: Almeida, A.C.P.C.; Costa, L.P. (Org.), Meio Ambiente, esporte, lazer e turismo – Estudos e

- pesquisas no Brasil, 1967-2007. v. 3. Gama Filho. Rio de Janeiro, pp. 55-68.
- Milanović, P., 2002. The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes* 25, 13-21.
- North, L.A.; Van Beynen, P.E.; Parise, M., 2009. Interregional comparison of karst disturbance: West-central Florida and southeast Italy. *Environmental Management* 90, 1770-1781.
- Oliveira, E.V.; Nova, P.V. Goin, F.J.; Avilla, L.S., 2011. A new hyladelphine marsupial (*Didelphimorphia, Didelphidae*) from cave deposits of northern Brazil. *Zootaxa*. pp. 1-12.
- Parise, M; Pascali, V., 2003. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (Southern Italy). *Environmental Geology* 44, 247-256.
- Pelicioni, M.C., 2004. Fundamentos da Educação Ambiental. In: Philippi Jr.,A.; Roméro, M.A.; Bruna, G.C. (Org.) *Curso de gestão ambiental*. Barueri: Manole. pp. 460-483.
- Pérez, F.C., 1978. Problemas ambientales de áreas carsicas: El efecto de la ocupacion humana sobre el ecosistema cavernícola, parte 2. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología* 9, 73-96.
- SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE – SEPLAN, 2008. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. 4 ed. Palmas: Seplan. pp. 49.
- Urich, P.B., 1993. Stress on tropical Karst cultivated with wet rice: Bohol, Phillipines. *Environmental Geology* 21, 129-136.
- Van Beynen, P.E.; Bialkowska-Jelinska, E., 2012. Human disturbance of the Waitomo catchment, New Zealand. *Environmental Management* 108, 130-140.
- Van Beynen, P.E.; Feliciano, N.; North, L.; Townsend, K.M., 2007. Application of the karst disturbance index in Hillsborough County, Florida. *Environmental Management* 39, 261-277.
- Van Beynen, P.E.; Townsend, K.M.A., 2005. Disturbance index for karst environments. *Environmental Management* 36, 101-116.
- Veni, G.; Duchene, H.; Crawford, N.C.; Groves, C.G.; Huppert, G.H.; Kastning, E.H.; Olson, R.; Wheeler, B.J., 2001. Living with karst: a fragile foundation. Environmental awareness series, *American Geological Institute*, pp. 64.
- Zampaulo, R.A.; Ferreira, R.L., 2009. Diversidade de invertebrados terrestres cavernícolas em nove Cavidades naturais no município de Aurora do Tocantins (TO). In: Congresso Brasileiro De Espeleologia. Montes Claros – MG. *Anais*, p. 267-274.
- Zampaulo, R.A.; Figueiredo, L.A.V.; Pedro, E.G.; Luz, C.S., 2007. Levantamento espeleológico, problemas socioambientais e potencial espeleoturístico da região de Dianópolis (TO). In: Congresso Brasileiro De Espeleologia. Ouro Preto – MG. *Anais*, p. 317-323.