

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DAS SUB- BACIAS DOS RIACHOS SECO E PRECUÁ, NOS MUNICÍPIOS DE BACABEIRA E ROSÁRIO – MA: BASES PARA O ORDENAMENTO TERRITORIAL

Gisele Martins Cardoso de **ARAÚJO**
Departamento de Oceanografia/Universidade Federal do Maranhão
E-mail: gisacardoso@hotmail.com

Leonardo Silva **SOARES**
Coordenação do Curso de Engenharia de Pesca/Universidade Federal do
Maranhão
E-mail: leonardoufma@yahoo.com.br

Marcelo Henrique Lopes **SILVA**
Coordenação do Curso de Engenharia de Pesca/Universidade Federal do Maranhão
E-mail: marceloh10@gmail.com

Antonio Carlos Leal de **CASTRO**
Departamento de Oceanografia/ Universidade Federal do Maranhão
E-mail: alec@ufma.br

Resumo: O presente trabalho propõe avaliar a sustentabilidade ambiental das sub-bacias dos Riachos Seco e Precuá, considerando os aspectos físicos, o uso e cobertura do solo, o desenvolvimento humano, o índice de sustentabilidade ambiental e as áreas de conflito de uso. As sub-bacias dos Riachos Seco e Precuá estão sofrendo uma intensa modificação na sua estrutura e funções ecossistêmicas, devido às atividades operacionais para a implantação da Refinaria Premium I nos municípios de Bacabeira e Rosário, impondo a necessidade do estabelecimento de indicadores quantitativos que reflitam as mudanças ambientais nos corpos d'água investigados. Os indicadores adotados no estudo refletem os aspectos propostos no modelo de avaliação PEI/ER (pressão-estado-impacto/efeito resposta), o qual foi recomendado pela Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento - OECD. As sub-bacias do Riacho Seco e Precuá pertencem à bacia hidrográfica do rio Itapecuru, estando situadas em seu curso inferior, entre os limites dos municípios de Bacabeira e Rosário. Os recursos ambientais foram identificados a partir do uso de imagens de satélite LANDSAT 5 dos anos de 2000 e 2010. As imagens de satélite possibilitaram a determinação da evolução do uso e cobertura do solo, na geração do fator de proteção solo e auxiliou na

identificação das áreas de conflito de uso, entre os anos de 2000 e 2010. Para caracterizar a população, utilizaram-se dados demográficos do Censo 2000 e de 2010, tomando como base a agregação de setores censitários. Os resultados obtidos mostraram que a sub-bacia do Riacho Precuá apresentou menor redução no grau de proteção existente, decorrente de um maior incremento nas atividades impactantes do solo. Apesar destas intervenções, o índice de sustentabilidade indicou que as sub-bacias analisadas apresentam um grau de integridade consistente.

Palavras-chave: sustentabilidade. desenvolvimento humano. Planejamento Ambiental.

Abstract: This study proposes to assess the environmental sustainability of the sub-basins of the Creeks Seco and Precuá, considering the physical aspects, the use and land cover, human development, environmental sustainability index and the areas of use conflict. The sub-basins of the Creeks Seco and Precuá are suffering an intense change in their structure and ecosystem functions, due to the implementation of the Refinery Premium I in the cities of Rosario and Bacabeira, imposing the need to establish quantitative indicators that reflect environmental changes in the water bodies investigated. The indicators adopted in the study reflect the proposed aspects of the evaluation model PEI/ER (pressure-state-impact/response effect), which was recommended by the Organization for Economic Cooperation and Development - OECD. The sub-basins of the Creeks Seco and Precuá belong to Itapecuru river basin, being located in its inferior course, within the boundaries of the cities of Bacabeira and Rosario. Environmental resources were identified through the use of satellite images of LANDSAT 5, between the years 2000 and 2010. The satellite images allowed the determination of the evolution of the use and land cover in the generation of the protective factor of soil and assisted in identifying areas of conflict of use between the years 2000 and 2010. To characterize the population, were used demographic data from the Census 2000 and 2010, based on the aggregation of census. The results showed that the sub-basin of the creek Precuá showed lower reduction in the degree of existing protection, due to a greater increase in activities impacting the ground. Despite these interventions, sustainability index indicated that the sub-basins analyzed show a consistent level of integrity.

Keywords: Sustainability. human development. Environmental Planning.

Resumen: El presente trabajo propone evaluar la sostenibilidad ambiental de las subcuencas de los Riachos Seco y Precuá, considerando los aspectos físicos, el uso y cobertura del suelo, el desarrollo humano, el índice de sustentabilidad ambiental y las áreas de conflicto de uso.

Las sub-cuencas de los Riachos Seco y Precuá están sufriendo una intensa modificación en su estructura y funciones ecosistémicas, debido a la implantación de la Refinería Premium I en los municipios de Bacabeira y Rosario, imponiendo la necesidad del establecimiento de indicadores cuantitativos que reflejen los cambios ambientales en los cuerpos de agua investigados. Los indicadores adoptados en el estudio reflejan los aspectos propuestos en el modelo de evaluación PEI / ER (presión-estado-impacto / efecto de respuesta), que fue recomendado por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE). Las subcuencas del Riacho Seco y Precuá pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Itapecuru, estando situadas en su curso inferior, entre los límites de los municipios de Bacabeira y Rosario. Los recursos ambientales fueron identificados a partir del uso de imágenes de satélite LANDSAT 5 de los años 2000 y 2010. Las imágenes de satélite posibilitaron la determinación de la evolución del uso y cobertura del suelo, en la generación del factor de protección suelo y auxilió en la identificación de las áreas de conflicto de uso, entre los años 2000 y 2010. Para caracterizar a la población, se utilizaron datos demográficos del Censo 2000 y de 2010, tomando como base la agregación de sectores censales. Los resultados obtenidos mostraron que la subcuenca del Riacho Precuá presentó menor reducción en el grado de protección existente, resultante de un mayor incremento en las actividades impactantes del suelo. A pesar de estas intervenciones, el índice de sostenibilidad indicó que las subcuencas analizadas presentan un grado de integridad consistente.

Palabras clave: sostenibilidad. desarrollo humano. Planificación Ambiental.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana constitui um processo inerente ao desenvolvimento social, econômico e cultural de um povo. No entanto, em função das fortes demandas, este processo termina por produzir pressões e modificações nos sistemas naturais, especialmente nos recursos hídricos que são particularmente sensíveis às interações antrópicas (CÔRTEZ, 2000).

Atualmente, as demandas por recursos naturais para atender as variadas necessidades socioeconômicas têm produzido um espectro crescente de intervenções ambientais, ocasionando modificação de paisagens, pressão e fragmentação de ecossistemas, com invariável perda de sua biodiversidade.

O interesse em atividades conservacionistas só acontece no instante em que a população explora determinada região e há o seu progresso econômico. Com isso os recursos

que são utilizados pelas pessoas para o seu bem-estar e serviço são ameaçados de exaustão, devido ao seu consumo desenfreado, predatório e acelerado, com o intuito do benefício da sociedade. Assim as etapas iniciais para a construção de empreendimentos de grande porte, como é o caso da Refinaria Premium I, causa diversos impactos de natureza social e ambiental que precisam ser monitorados e mitigados.

O ecossistema fica sob pressão com o crescimento populacional e a consequente urbanização desordenada das áreas de entorno dessa indústria. Por causa do mau gerenciamento da alocação dessas pessoas, a demanda de recursos naturais cria uma competição por espaço físico, com isso há o risco da ocupação e utilização dos ambientes de maneira inadequada.

Todas as ações humanas que acarretam impactos se inter-relacionam com os processos naturais que ocorrem na bacia hidrográfica, por isso a gestão desta unidade física tornou-se complexa (LIMA, 2005). O Plano de Recursos Hídricos adota como unidade de gestão a Bacia Hidrográfica: área de terras drenada por um rio principal e seus afluentes, delimitada por linhas denominadas de divisores de água.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão das águas é uma tendência internacional, que transforma a cooperação do Estado e Município, através dessa interface regional, no centro das políticas nacionais das águas e do meio ambiente (CAMPOS et al., 2003).

Segundo Martins (2008), “estudar a qualidade ambiental em bacias hidrográficas torna-se necessário, visto que a mesma está intimamente ligada à qualidade de vida da população humana”. Dessa forma é fundamental acompanhar o manejo territorial da bacia por conta do desequilíbrio provocado pela utilização desordenada da terra.

As sub-bacias dos Riachos Seco e Precuá sofreram intensas modificações na sua estrutura e funções ecossistêmicas, devido às atividades de terraplanagem para a implantação da Refinaria Premium I nos municípios de Bacabeira e Rosário, impondo a necessidade do estabelecimento de indicadores quantitativos que reflitam as mudanças ambientais nos corpos d’água investigados.

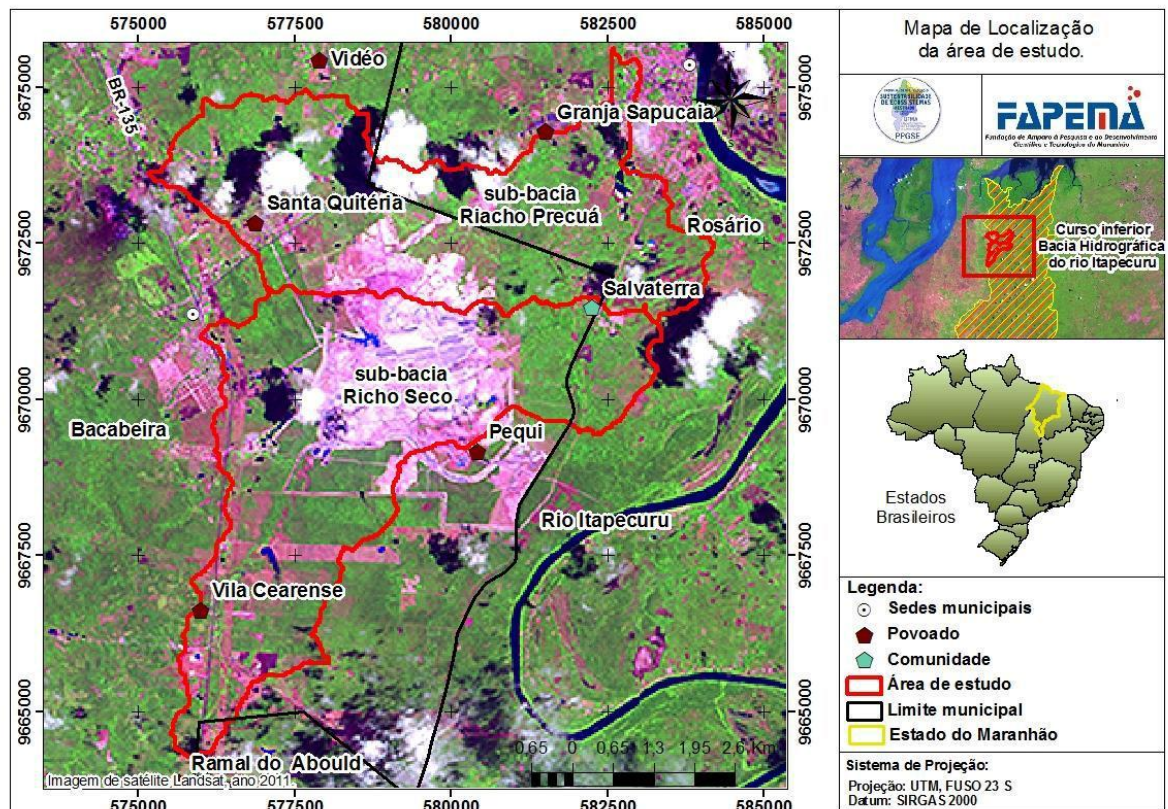
O objetivo desta pesquisa busca em elaborar o Índice de Sustentabilidade Ambiental das sub-bacias do Riacho Seco e Precuá, nos municípios de Bacabeira e Rosário – MA, visando o planejamento para diminuir os danos ambientais gerados pela ocupação territorial.

METODOLOGIA

As sub-bacias do Riacho Seco e Precuá

As sub-bacias do Riacho Seco e Precuá pertencem à bacia hidrográfica do rio Itapecuru (Figura 1), estando situadas em seu curso inferior, entre os limites dos municípios de Bacabeira e Rosário, com uma pequena superfície de aproximadamente 0,5% da sub-bacia do Riacho Seco localizada no município de Santa Rita. Estão situadas na microrregião do Itapecuru Mirim, mesorregião Norte Maranhense, a cerca de 45 km do centro de São Luís em linha reta, sob as coordenadas geográficas $02^{\circ} 56' 00,95''/03^{\circ} 02' 17,81''S$ e $44^{\circ} 14' 50,16''/44^{\circ} 19' 36,11'' W$.

Figura 1 – Localização das sub-bacias do Riacho Seco e Precuá, em Bacabeira, Maranhão, Brasil



As sub-bacias da área de estudo apresentam uma forma alongada, devido ao seu índice de circularidade ser inferior a 0,51, com isso ambas têm uma tendência baixa à resposta de cheia, além disso, possuem um relevo relativamente suave (FSADU, 2012). Os dados climáticos da região registram uma precipitação média anual de 2.328 mm/ano e uma evaporação média de 1.166 mm/ano (INMET, 2011).

Materiais utilizados

- Banco da base dos setores censitários do Censo Demográfico dos anos de 2000 e 2010;
- Malha viária dos municípios brasileiros, em formato shapefile, ano 2010;
- Dados do projeto Topodata que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE): folhas 02s45 e 03s45;
- Curvas de níveis de 1m em formato shapefile da aerofoto de 2008
- Banco de dados dos municípios de Bacabeira e Rosário FSADU, ano 2009;
- Cartas Planialtimétricas da DSG-SUDENE, escala 1:100.000, folhas 549 e 610;
- Imagem de satélite Landsat - 5 Thematic Mapper, 22 de outubro de 2000, resolução espacial 30m;
- Imagem de satélite Landsat - 5 Thematic Mapper, 15 de agosto de 2010, resolução espacial 30m;
- Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING/INPE, versão 5.0.6.
- Programa ArcGis 9.3 da ESRI (Environmental Systems Research Institute), versão demo.

Formulação do Índice de Sustentabilidade Ambiental.

O indicador de sustentabilidade que é realizado neste estudo é composto de três dimensões que caracterizam a condição física da área (FFP-fator de fragilidade potencial), o uso e ocupação do solo (FUS-fator de uso do solo) e a condição de desenvolvimento humano (FDH-fator de desenvolvimento humano).

Para as três dimensões foram atribuídos pesos iguais para a formação do índice. O indicador de sustentabilidade é a média dessas três dimensões considerando o total de sub-bacias. O índice varia de 0 a 1 (quanto mais próximo de 1 melhor a condição de sustentabilidade da bacia). A equação (4) a seguir, define o índice:

$$IS = (FUS+FFP+FDH)/3$$

De acordo com a literatura, o ISA não possui categorias distribuídas entre seus valores de 0 a 1, por isso optou-se por estabelecer categoria a ele, para melhor visualização dos resultados (Tabela 1).

Tabela 1. Categoria dos valores do ISA

Categoria do ISA	Nível do ISA
Péssimo	0,0 - 0,2
Ruim	0,2 - 0,4
Regular	0,4 - 0,6

a) Cálculo do Fator de Fragilidade Potencial

O fator de fragilidade potencial (FFP) é representado na forma de um número que varia entre 0 e 1. Sua origem é a atribuição de pesos às faixas de valores obtidos para o índice de rugosidade. No cálculo desse índice são considerados os seguintes elementos: a amplitude altimétrica da bacia, a densidade de drenagem e o índice de rugosidade, o qual combina elementos de declividade e densidade de drenagem. A média dos valores de todas as sub-bacias resulta no *FFP* para o cálculo do *IS* da bacia, conforme equações descritas a seguir.

Sendo:

$$FFP = R \quad \rightarrow 0 < R < 1$$

Onde:

$$Ir = H \times Dd$$

R = peso atribuído ao índice de rugosidade; Ir = índice de rugosidade; H = amplitude altimétrica da sub-bacia; e Dd = densidade de drenagem.

Os valores atribuídos às faixas de rugosidade encontram-se na Tabela 2 e foram determinados com base nos resultados obtidos pelas sub-bacias, os quais foram classificados em cinco grupos.

Tabela 2 - Peso adotado por faixas de rugosidade.

Rugosidade	Faixa de IR	Valor atribuído ao FFP
Muito forte	0,255 – 0,316	0.20
Forte	0,194 – 0,255	0.40
Média	0,133 – 0,194	0.60
Fraca	0,072 – 0,133	0.80
Muito fraca	0,011 – 0,072	1.00

Fonte: COUTO, 2007.

b) Cálculo do Fator de Uso do Solo

O fator de uso do solo (FUS) é classificado entre zero e um. A interpretação da imagem do satélite Landsat-5 TM fornece as informações necessárias para constituir o FUS. Para cada categoria de uso do solo é estipulado um valor conforme os danos causados pela sociedade no meio ambiente, de acordo com a Tabela 3, adaptada da Tabela 4.

Tabela 3. Peso do uso do solo e classe do mapeamento

Classe de uso e cobertura do solo	Peso
Ocupação urbana densa	0,125
Ocupação urbana média	0,25
Ocupação urbana baixa	0,30
Solo exposto	0,375
Tanque ou açude	0,25
Área de pasto ou cultivo	0,5
Vegetação rala	0,6
Vegetação média a densa	1

Tabela 4. Peso atribuído às classes do uso do solo.

Classe de uso e cobertura do solo	Peso
Expansão urbana	0,125
Urbano e industrial	0,25
Solo exposto	0,375
Solo cultivado	0,5
Florestamento	0,625
Campos com capões	0,75
Áreas úmidas	0,875
Florestas naturais e vegetação ciliar	1

Fonte: Couto, 2007

c) Determinação do Fator de Desenvolvimento Humano

O fator de desenvolvimento humano (FDH) foi calculado através de uma adaptação do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) adotado pelo PNUD/ONU (2003), do IDESE (Índice de Desenvolvimento Socioeconômico), considerado pela FEE (2003). O fator é um número que varia entre 0 e 1.

O FDH é composto por quatro dimensões: educação, saneamento, longevidade e renda. O setor censitário foi utilizado como unidade básica de análise e harmonizado com a sub-bacia para haver coerência dimensional com relação às outras duas variáveis que formam o indicador. Os dados utilizados para compor FDH foram obtidos dos censos demográficos de 2000 e 2010 do IBGE, que incluem as informações municipais por setor censitário. Esse indicador é expresso pela equação abaixo:

$$FDH = \frac{IDHE + IDHS + IDHL + IDHR}{4}$$

Onde: IDHE = dimensão educação; IDHL = dimensão longevidade; IDHS = dimensão saneamento; IDHR = dimensão renda.

Os setores geográficos analisados podem ser classificados conforme o IDH em três níveis (PNUD/ONU, 2003): IDH menor que 0,499 = baixo desenvolvimento humano; IDH entre 0,500 e 0,799 = médio desenvolvimento humano; e IDH maior ou igual a 0,800 alto desenvolvimento humano. - Dimensão Educação (IDHE).

Considera a taxa de alfabetização da população e a taxa de alfabetização dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes, sendo definido pela expressão matemática seguinte:

$$IDHE = (TA \times 0,6) + (TR \times 0,4)$$

Onde: IDHE = dimensão educação; TA = taxa de alfabetização, sendo $0 \leq TA \leq 1$; e TR = taxa de alfabetização dos responsáveis por domicílios, sendo $0 \leq TR \leq 1$.

A taxa de alfabetização diz respeito ao número de habitantes com mais de quinze anos alfabetizados, dividido pelo número de habitantes com mais de quinze anos. Ela corresponde a 60% na composição do IDHE. A taxa de alfabetização dos responsáveis por domicílios é obtida da mesma forma e corresponde a 40% do IDHE.

- Dimensão Saneamento (IDHS)

Engloba as taxas de abastecimento de água, de coleta de esgotos, de coleta de lixo e de moradores por domicílio, sendo definida pela seguinte expressão matemática abaixo:

$$IDHS = (TAA \times 0,40) + (TCE \times 0,30) + (TCL \times 0,10) + (TMD \times 0,10)$$

Onde: IDHS = dimensão saneamento; TAA = taxa de abastecimento de água, sendo $0 \leq TAA \leq 1$; TCE = taxa de coleta de esgotos, sendo $0 \leq TCE \leq 1$; TCL = taxa de moradores por domicílio, sendo $0 \leq TCL \leq 1$; e TMD = taxa de moradores por domicílio, sendo $0 \leq TMD \leq 1$.

Essa dimensão considera a taxa de domicílios abastecidos pela rede pública de água, correspondendo a 40% na composição do índice, a taxa de domicílios com coleta de esgotos (pluvial ou cloacal) correspondendo a 30% na composição do índice, a taxa de domicílios com coleta de lixo (acrescida ao cálculo) correspondendo a 10%, e a média de moradores por domicílio correspondendo a 10% na composição do índice, isso de acordo com o Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) elaborado pela FEE.

A taxa de abastecimento de água é a razão entre o número dos domicílios particulares permanentes abastecidos com água da rede geral e o número total de domicílios particulares permanentes do setor censitário.

A taxa de coleta de esgotos é a divisão entre o número de domicílios particulares permanentes com esgoto coletado e o número total de domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário do setor censitário.

A taxa de coleta de lixo é a divisão entre o número de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e o número total de domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário do setor censitário.

A taxa de moradores por domicílio é a razão entre o número de moradores em domicílios particulares permanentes e o número de domicílios particulares permanentes.

- Dimensão Longevidade (IDHL)

Considera o IDHML, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo à longevidade, e o FL, fator de longevidade, e a equação matemática é apresentada a seguir:

$$IDHL = IDHML \times FL$$

Onde: IDHL = dimensão longevidade; IDHML = índice de desenvolvimento humano municipal, dimensão longevidade; FL = fator de longevidade.

O fator de longevidade considera o número de habitantes do setor censitário que supera a esperança de vida ao nascer do município (em anos), o quanto a ultrapassa, e também aqueles setores cuja população não alcança esse valor.

Para calcular o FL utiliza-se como parâmetro os habitantes do setor censitário que estão acima da esperança de vida ao nascer (EVN) estimada para o município ao qual pertence a área de estudo, calculado por meio das seguintes equações matemáticas:

$$EVN_+ = \frac{\sum(\text{n}^\circ \text{ hab. supera EVN} \times \text{idade})}{\text{n}^\circ \text{ hab. supera EVN}}$$

Sendo:

$$FL = 1 \frac{(EVN_+) - (EVN)}{EVN}$$

Onde: EVN+ = média de idade acima da EVN verificada para cada setor do município, de acordo com o EVN estimado para cada município. FL = percentual que o EVN+ significa em termos de EVN, ou seja, o percentual a majorar no IDHML se o setor superar o EVN estimado para o município.

- Dimensão Renda (IDHR)

A dimensão renda é formada pela renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes e pelos valores de referência mínimo e máximo de acordo como os padrões do PNUD/ONU, e a fórmula matemática apresentada a seguir:

$$IDH_R = \frac{(\log \text{ renda percapita rdpp}) - (\log \text{ valor referência mínimo})}{(\log \text{ valor referência máximo}) - (\log \text{ valor referência mínimo})}$$

Onde: IDH_R: dimensão renda; rdpp = responsáveis por domicílios particulares permanentes. Valor de referência máximo para ano de 2000 = R\$ 1.560,17; Valor de referência mínimo para o ano de 2000 = R\$ 3,90; Valor de referência máximo para ano de 2010 = R\$ 70.524,00; Valor de referência mínimo para ano de 2010 = R\$ 176,31.

Essa dimensão leva em conta como representativa a renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes em relação à renda per capita dos habitantes do setor. O logaritmo é usado porque ele expressa adequadamente o fato de que um acréscimo de renda para os mais pobres é proporcionalmente mais relevante do que para os mais ricos.

Os valores de referência mínimo e máximo são os adotados nos relatórios internacionais do PNUD (US\$ PPC* 40.000 e US\$ PPC* 100,00), em valores mensais expressos em reais pelas cotações dos dias 1º de agosto de 2000 e 31 de julho de 2010. (*PPC = paridade do poder de compra, elimina as diferenças de custo de vida entre os países.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fator de Fragilidade Potencial

As sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco foram divididas em microbacias, e mesmo assim apresentaram valores baixos nos índices de rugosidade (Tabela 5 e Tabela 6). Esta característica relacionado à declividade da região em análise, que apresenta um relevo plano e suave ondulado. Observa-se, deste modo, que o fator de fragilidade potencial foi muito fraco, predominando em quase todas as áreas das duas sub-bacias. Apenas a microbacia “7” (na sub-bacia do Riacho Seco) possui fraca rugosidade em seu relevo. Desta forma, a declividade (menor que 20%) e a baixa densidade de drenagem influenciam decisivamente na composição do cenário encontrado de fragilidade ambiental das sub-bacias.

Fator de Uso do Solo

A Tabela 7 demonstra a evolução de cada um dos tipos de feições tipológicas do uso e cobertura do solo encontrados na pesquisa. Algumas classes identificadas sofreram importantes alterações temporais ao longo de uma década.

Tabela 5. Fator de Fragilidade Potencial da sub-bacia do Riacho Precuá

Microbacias	Dd	H	IR	Rugosidade	FF P
1	0,0014	20,65	0,03	muito fraca	1
2	0,0015	25	0,04	muito fraca	1
3	0,0011	21	0,02	muito fraca	1
4	0,0016	32,66	0,05	muito fraca	1
5	0,0007	18,69	0,01	muito fraca	1
6	0,0002	15	0,00	muito fraca	1
7	0,0004	25	0,01	muito fraca	1
8	0,0007	15,93	0,01	muito fraca	1

Tabela 6. Fator de Fragilidade Potencial da sub-bacia do Riacho Seco

Microbacias	Dd	H	IR	Rugosidade	FFP
1	0,0005	25	0,011	muito fraca	1
2	0,002	25	0,051	muito fraca	1
3	0,0027	19	0,051	muito fraca	1
4	0,0015	31	0,047	muito fraca	1
5	0,0011	34,31	0,039	muito fraca	1
6	0,0017	31	0,052	muito fraca	1
7	0,0024	34,91	0,084	fraca	0,8
8	0,0009	26,67	0,024	muito fraca	1
9	0,0011	26,35	0,029	muito fraca	1

Tabela 7 - Percentual do uso e cobertura do solo das sub-bacias dos Riachos Seco e Precuá nos anos de 2000 e 2010.

Uso e cobertura do solo	Sub-bacia			
	Precuá (%)	Precuá (%)	Seco (%)	Seco (%)
	Ano de 2000	Ano de 2010	Ano de 2000	Ano de 2010
Nuvem	0,49	0,03	0,15	2,56
Sombra de nuvem	0,56	0,00	0,15	3,83
Ocupação urbana densa	0,89	1,59	0,00	0,00
Ocupação urbana média	4,45	16,81	0,00	11,62
Ocupação urbana baixa	3,84	0,00	9,65	0,00
Solo exposto	2,96	10,27	4,40	20,41
Tanque ou açude	0,66	1,22	0,86	0,89
Área de pasto ou cultivo	0,00	0,35	0,00	1,62
Vegetação rala	18,75	10,80	18,44	0,86
Vegetação média a densa	67,39	58,93	66,36	58,20
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

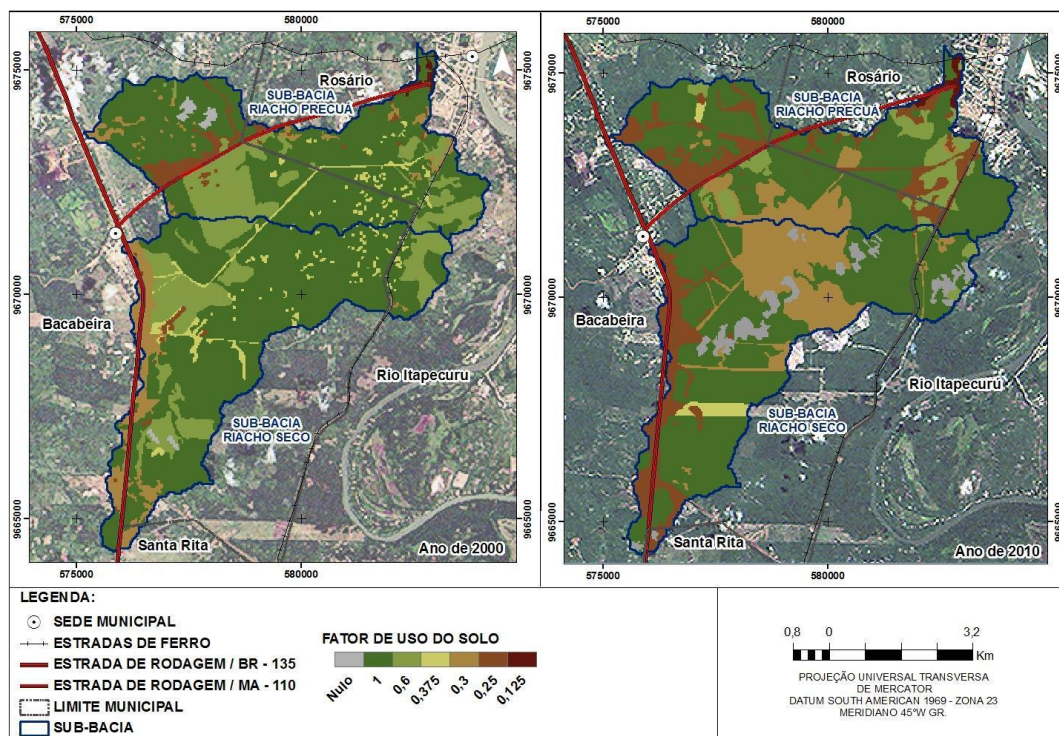
Os resultados obtidos mostraram que a sub-bacia do Riacho Precuá apresentou menor redução no grau de proteção existente, nos dois anos estudados (2000 e 2010), quando comparada com Seco. O grau de proteção do solo apresentou um percentual de 86,14% de sua

área no ano de 2000, sendo reduzido para 67,73% no ano de 2010, decorrente de um incremento nas atividades impactantes do solo, que influenciou significativamente no fator de proteção do solo, comprometendo a sustentabilidade da sub-bacia (Figura 2).

Fator de Desenvolvimento Humano

Na avaliação do Fator de Desenvolvimento Humano foi possível verificar que ocorreu pouca variação nos dois setores, cujos valores foram de 0,551 e 0,594. Com esses valores, a região estudada caracteriza-se como de médio desenvolvimento humano. Logo as três dimensões que obtiveram resultados regulares compensaram os valores baixos da dimensão de saneamento.

Figura 2 - Fator de uso do solo das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco.



Com as informações do último censo, disponibilizadas para o ano de 2010, a dimensão de saneamento em alguns setores continuou com um baixo indicador de desenvolvimento humano, com valores de 0,382 e 0,466. A ausência do serviço de esgotamento sanitário se prolonga mesmo depois de uma década de avaliação. A população local convive com esse problema, foi observado que dos 1606 domicílios da área total de estudo, apenas 140 domicílios possuem esse serviço, isso representa 8,72% do universo estudado.

Das dimensões que estão envolvidas no FDH, a que apresentaram melhores desempenhos no ano de 2010 foram as dimensões educação e longevidade. Os setores localizados na zona urbana apresentaram nível alto de desenvolvimento humano nesta dimensão educação.

No ano de 2010 a dimensão renda (apresentou desempenho baixo a médio, ocorrendo em alguns setores uma redução em relação ao ano de 2000, diminuindo o poder de compra da população.

Depois de identificados os resultados parciais de cada uma das dimensões para cada ano de estudo, foi possível obter os Fatores de Desenvolvimento Humano para o ano de 2000 e 2010 na área de estudo. A Tabela 8 e a Tabela 9 apresentam os resultados encontrados no estudo.

Tabela 8 - Fator de Desenvolvimento Humano das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco no ano de 2000.

Municípios	Tipo	Setores	FDH	
Bacabeira	Rural	210125105000001	0,551	Médio
Bacabeira	Rural	210125105000011	0,594	Médio

Tabela 9 - Fator de Desenvolvimento Humano das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco no ano de 2010.

Municípios	Tipo	Setores	FDH	
Bacabeira	Urbano	210125105000001	0,763	Médio
Bacabeira	Rural	210125105000011	0,689	Médio
Bacabeira	Rural	210125105000012	0,612	Baixo
Bacabeira	Rural	210125105000021	0,679	Médio
Rosário	Urbano	210960105000009	0,631	Baixo
Rosário	Urbano	210960105000017	0,715	Baixo
Rosário	Urbano	210960105000019	0,772	Baixo

Em 2010 o fator de desenvolvimento humano expõe uma pequena melhora no aspecto do desenvolvimento humano, pois os sete setores estudados nas sub-bacias revelaram nível médio de desenvolvimento, variando de 0,585 a 0,742. Isto mostra a necessidade de implementação de serviços públicos e infraestrutura em zonas rurais e áreas próximas a zonas urbanas.

Índice de Sustentabilidade Ambiental

Com o índice foi possível constatar as áreas mais vulneráveis do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, além disso, permitiu acompanhar a sua evolução nos anos de 2000 e 2010. A Tabela 10 quantifica a área correspondente às diferentes categorias do ISA para cada sub-bacia nos anos de 2000 e 2010.

Tabela 10 - Quantitativo do ISA para as sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco no ano de 2010.

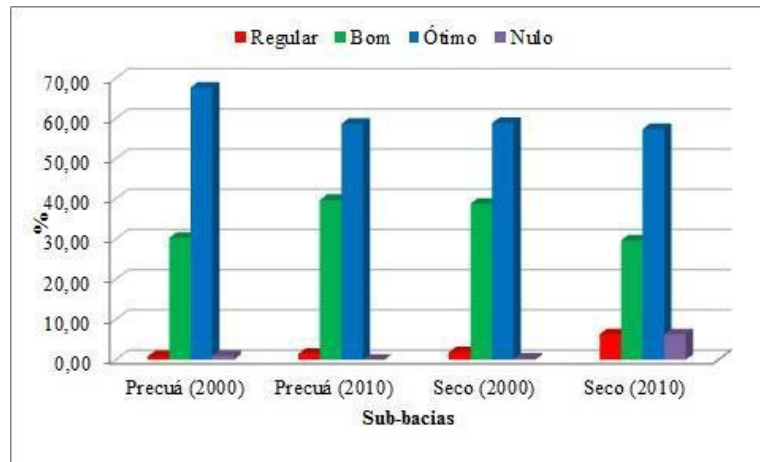
Nível do ISA	Sub-bacia			
	Precuá (km ²)	Precuá (km ²)	Seco (km ²)	Seco (km ²)
	Ano de 2000	Ano de 2010	Ano de 2000	Ano de 2010
Regular (0,4 -0,6)	0,178	0,304	0,467	1,559
Bom (0,6 -0,8)	6,246	8,192	9,507	7,280
Ótimo (0,8-1,0)	13,956	12,095	14,407	14,052
Nulo	0,217	0,006	0,071	1,562

Com a avaliação dos resultados do ISA no ano 2000, as duas sub-bacias tiveram pouca diferença entre as suas condições ambientais e revelaram um grau de integridade física consistente, representado pelas categorias bom e ótimo de acordo com a metodologia proposta.

A sub-bacia que obteve melhor resultado foi o Riacho Precuá, pois 67,76% de sua área foi enquadrada na categoria ótimo, 30,32% classificada como boa e apenas 0,87% foi enquadrada na categoria regular.

Já na sub-bacia do Riacho Seco, 58,92% da área total foi classificada com nível ótimo de sustentabilidade, 38,88% ficaram no nível de bom e 0,29% apresentaram resultado regular. Algumas dessas áreas com níveis regulares de sustentabilidade estão próximas das sedes de cada município ou nas áreas urbanas (Figura 3).

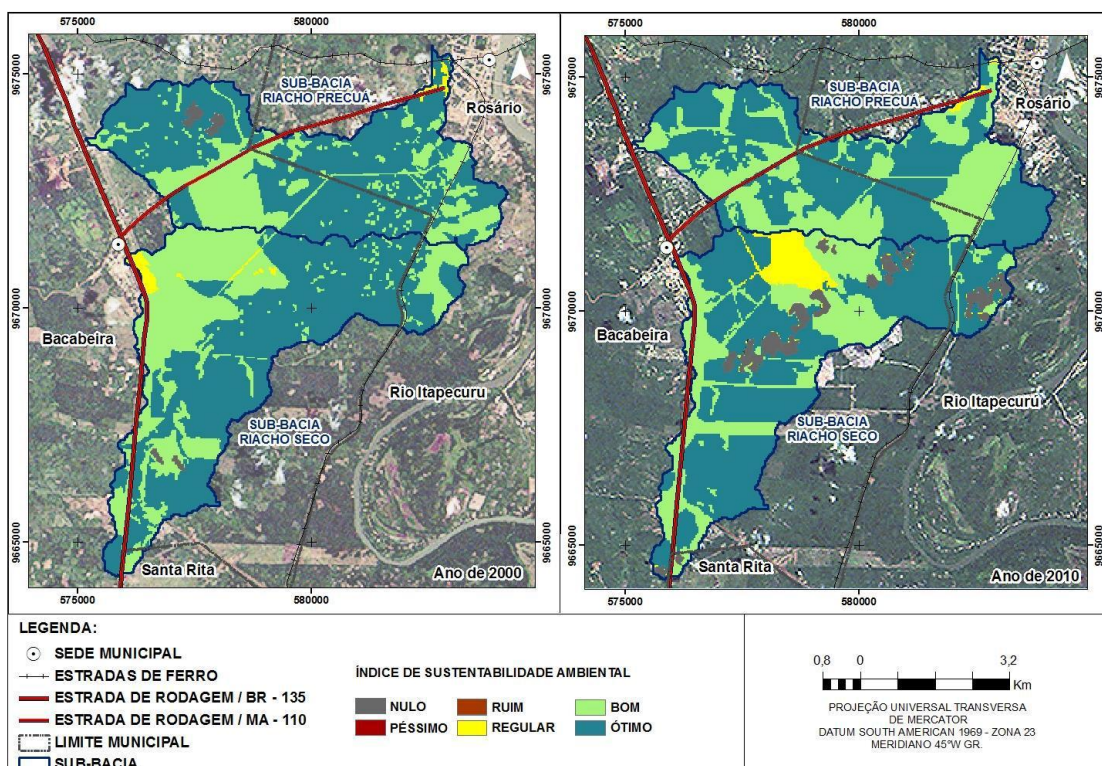
Figura 3 - Porcentagem do Índice de Sustentabilidade Ambiental das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco nos anos de 2000 e 2010.



No geral, para o ano de 2010, ocorreu uma redução nos níveis de sustentabilidade das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco, onde áreas que se apresentavam classificadas como bom retrocederam para um estado de nível regular (Figura 4) que correspondeu a 1,91% e 6,38% nas sub-bacias Riacho Seco e Precuá, respectivamente.

O emprego do ISA pode ser bastante útil, pois identifica realmente as áreas que estão comprometidas ambientalmente e precisam de uma maior atenção, para haver um planejamento adequado. No entanto, o uso de indicadores, pela própria natureza desses instrumentos, não substitui o emprego dos métodos tradicionais utilizados na execução das atividades relacionadas ao planejamento e gestão ambiental (COUTO, 2007).

Figura 4. Índice de Sustentabilidade Ambiental das sub-bacias dos Riachos Precuá e Seco nos anos de 2000 e 2010.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fator de fragilidade potencial foi muito fraco, ocorrendo em quase todas as regiões das duas sub-bacias, isto está associado a dois fatores: a declividade encontrada no estudo e a baixa densidade de drenagem nestas áreas, facilitando o processo de ocupação humana. Devido a isso é necessário adotar medidas conservacionistas na gestão territorial.

No fator de uso do solo, os resultados obtidos mostraram que a sub-bacia do Riacho Precuá apresentou menor redução no grau de proteção existente, decorrente de um incremento nas atividades impactantes do solo, o que influenciou significativamente no fator de proteção do solo, comprometendo a sustentabilidade da sub-bacia.

Na avaliação do Fator de Desenvolvimento Humano, no ano de 2000, foi possível verificar que ocorreu pouca variação nos dois setores (das sub-bacias) pesquisados, cujos valores foram de 0,543 e 0,573. Esses valores representam um médio desempenho no desenvolvimento humano. No ano de 2010 a ampliação dos setores investigados não revelou melhora no desempenho do desenvolvimento humano, o que sugere uma estagnação no processo evolutivo desta variável.

O índice de sustentabilidade ambiental permitiu constatar as áreas mais vulneráveis do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, além disso, possibilitou acompanhar a sua evolução nos anos de 2000 e 2010.

No ano de 2000, o ISA nas duas sub-bacias apresentou pouca diferença entre as suas condições ambientais, revelando um grau de integridade física consistente, mas no ano de 2010 ocorreu uma redução nos níveis de sustentabilidade. Os dados obtidos neste trabalho permitem afirmar que o emprego do ISA constitui uma ferramenta importante para integrar parâmetros essenciais que descrevem e discriminam o grau sustentabilidade em sub bacias submetidas a pressões antrópicas.

Trabalho enviado em março de 2019

Trabalho aceito em agosto de 2019

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, J.E.G.et al. **Diagnóstico Hidrogeológico da Região de Goiânia**, Cd-rom. 2003.
- CORTEZ, M. R. **Uso e ocupação da terra na área urbana**. In. ESPÍNDOLA, E. L. G.; SÉ, J.A. (eds). A bacia hidrográfica do Rio Monjolinho. Uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. São Carlos. Rima Editora, 2000. p. 114-132.
- COUTO, O. F. V. **Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de**

geoprocessamento. Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre. IGEO/UFRGS, 2007. 173 p.

FSADU. Fundação de apoio ao desenvolvimento da UFMA. **Caracterização dos Riachos Rabo de Porco e Precuá, Localizados na Área da Refinaria PREMIUM I. Bacabeira – MA.** Relatório. São Luís – MA. Janeiro/2012.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE/RS). **Indicadores econômico-ambientais na perspectiva da sustentabilidade.** (Organizado por: Martins, C.H.B.; Oliveira, N.) Porto Alegre: FEE/FEPAM, 2005, 122 p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações de dados.** Disponível <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 21 de maio de 2011.

LIMA, A.G.. A bacia hidrográfica como recorte de estudos em geografia humana. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 173-183, jul./dez, 2005.

PNUD/IPEA/Fundação João Pinheiro **Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.** 2003.