



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Avaliação da qualidade dos corpos hídricos frente às ações antrópicas no município de Santa Lúcia - SP

Bianca Fogaça de Souza¹, Karolina Kotsubo¹, Guilherme Fracacio¹, Diego Peruchi Trevisan², Andréia Márcia Cassiano³, Luiz Eduardo Moschini³, Adriana Maria Zalla Catojo³

¹Discente do curso de Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental. Universidade Federal de São Carlos. Rod. Washington Luís, km 235 - SP-310 - São Carlos. biancafogaca@outlook.com (autor correspondente), kotskarol13@gmail.com, guilherme.fracacio@gmail.com. ²Mestre em ciências ambientais, discente de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal de São Carlos. diego.peruchi@gmail.com. ³Docente do Departamento de Ciências Ambientais. Universidade Federal de São Carlos. andreiacassiano@yahoo.com.br, lemoschini@ufscar.br, acatojo@gmail.com.

Artigo recebido em 24/11/2016 e aceito em 13/01/2017

RESUMO

Os sistemas aquáticos continentais são fortemente impactados pelas atividades humanas através dos usos múltiplos das bacias hidrográficas. Dessa forma, o objetivo do estudo foi analisar a qualidade ambiental dos recursos hídricos do município de Santa Lúcia – SP, levando em consideração a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra entre os anos de 2001 e 2016 e sua distância com corpos hídricos através da aplicação Índice de Qualidade Ambiental dos recursos hídricos. Para a elaboração do banco de dados georreferenciado do município, foi adotado o sistema de projeção geográfica Universal Transversa de Mercator, Fuso 23 Sul, datum SIRGAS 2000. Foram utilizadas duas imagens referentes aos satélites LandSat, com datas de passagem em 2001 e 2016. O IQA-Hidro foi determinado com base na sobreposição das cartas temáticas de atividades antrópicas agrícolas e não agrícolas, obtidas através da reclassificação da carta temática de uso e cobertura da terra e da rede de drenagem. A representação espacial, foi elaborada com base no uso do módulo *distance* do SIG-ArcGis e reescalada com base na lógica fuzzy. O município tem como principais atividades antrópicas a silvicultura, mineração, urbanização e principalmente cana-de-açúcar. O município apresenta locais de riscos ao ambiente, com áreas impactantes próximas aos corpos hídricos, indicando a necessidade do planejamento da expansão das atividades econômicas. O diagnóstico aponta ainda para carência do município em relação a Áreas de Preservação Permanente, sendo que sua restauração serviria como forma mitigadora dos impactos ambientais causados nos recursos hídricos e para melhora da qualidade de vida da população local.

Palavras-chave: recursos hídricos, planejamento ambiental, ecologia de ecossistemas.

Quality assessment of water corpuses front the anthropic actions in the municipality of Santa Lucia - SP

ABSTRACT

The continental aquatic systems are heavily impacted by human activities, through the multiple uses of river basins. Thus, the objective of the study was to analyze the environmental quality of water resources in the municipality of Santa Lucia - SP, taking into account the temporal dynamics of use and land cover between 2001 and 2016 and its distance to water corpuses by applying the Environmental Quality Index of Water Resources. To the preparation of georeferenced database of the city, it was used the geographic projection system Universal Transverse Mercator, Zone 23 South, datum SIRGAS 2000. It was used two images from Landsat satellites, with changeover dates in 2001 and 2016. IQA-Hydro was determined based on the overlap of thematic maps of agricultural and non-agricultural human activities, obtained by reclassifying the subject map of use and land cover and the drainage network. The spatial representation was developed based on the use of the *distance* module SIG-ArcGis and rescheduled based on fuzzy logic. The city's main human activities forestry, mining, urbanization and especially sugar cane. The city presents environmental risks sites with impactful areas close to water bodies, indicating the need for planning the expansion of economic activities. The diagnosis also points to lack of the municipality in relation to the Permanent Preservation Areas, and its restoration would serve as mitigating form of environmental impacts on water resources and improvement of the local population's quality of life.

Keywords: water resources, environmental planning, ecology ecosystems.

Introdução

A constante modificação e transformação das paisagens naturais vêm em consequência das relações socioeconômicas e culturais estabelecidas pelo homem. Desta forma o desenvolvimento de técnicas, vem modificando a organização dos elementos espaciais tanto urbanos quanto rurais, intensificando-se dentro das características e potencialidades de cada localidade (Trevisan, 2015).

A procura pelo uso racional da terra tenta equacionar as necessidades de preservação dos recursos naturais e as necessidades de produção de alimentos e energia. Este desafio tem buscado pela difusão de conceitos e técnicas de conservação e manejo que visam reduzir os impactos sobre os ecossistemas, principalmente quando se refere à recomposição e à preservação das paisagens, as quais englobam a proteção do solo, da água, do ar e de vários outros componentes e organismos, que compõe os ecossistemas naturais (Momoli, 2006).

A maior preocupação e o grande desafio da atualidade estão no crescimento populacional e no desenvolvimento econômico, os quais resultam em impactos diretos e indiretos aos ecossistemas naturais, conduzindo as paisagens a rápidas modificações, representados pela degradação ou uso insustentável de cerca de 60% dos serviços ecossistêmicos (Millennium ecosystem assessment, 2005).

A paisagem pode ser considerada uma unidade espacial, cuja heterogeneidade é modificada principalmente pela relação estabelecida entre sociedade e natureza, produzindo uma configuração marcada pela fragmentação ou conexão entre seus elementos (Goerl et al., 2011).

Os processos que atuam na interação sociedade-natureza definem os tipos de usos da terra que por sua vez definem o padrão espacial e estrutural das paisagens. Diversas do ponto de vista dos valores sociais, econômicos e ecológicos, que de forma não planejada, resultam na degradação dos habitats, perda de solos e empobrecimento dos ecossistemas naturais. Estes processos comprometem a estrutura das paisagens e conseqüentemente a sustentabilidade ambiental ao impactarem o capital natural, que proporciona os serviços dos ecossistemas para o bem-estar humano (Santos, 2011).

Essa constante transformação do espaço vem em consequência das relações socioambientais, econômicas e culturais estabelecidas. O homem, por intermédio do desenvolvimento de técnicas, modifica a

organização dos elementos espaciais, causando impactos ambientais nas diversas escalas de abrangência: local, regional e global (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; IPCC, 2007).

Com a intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, observa-se um processo de substituição das paisagens naturais por outros usos da terra. Essas interferências na paisagem convertem extensas e contínuas áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, comprometendo as funções ambientais em termos dos “bens e serviços” proporcionados pelos ecossistemas naturais (De Groot et al., 2013).

A maioria das paisagens são influenciadas pela ação do homem e o mosaico resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo, de modo que medidas usadas para descrever seus padrões podem ser aplicadas na análise de sua estrutura (Turner et al., 1989).

O desenvolvimento econômico observado durante as últimas décadas tem aumentado a utilização dos serviços proporcionados pelos ecossistemas naturais, principalmente os relacionados aos recursos hídricos, no que tange o consumo de água para diversos usos, relacionados a produção industrial e agrícola, consumo humano e atividades recreativas.

Os sistemas aquáticos continentais são fortemente impactados pelas atividades humanas, através dos usos múltiplos das bacias hidrográficas. A diversificação dos usos torna os impactos ainda maiores, proporcionando uma difícil resolução dos problemas gerados, dados os mais diversos tipos de poluição a que estão expostos (Matsumura-Tundisi e Tundisi, 2008).

A proximidade entre os diferentes tipos de uso e cobertura da terra com os corpos hídricos tem influência direta na qualidade e quantidade destes recursos, podendo promover efeitos positivos ou negativos na qualidade dos mesmos, reforçando a influência antrópica no meio ambiente (Faria, 2012), sendo são variáveis para cada tipo de uso do solo.

A presença da vegetação ciliar é essencial para a manutenção dos corpos hídricos, funcionando como zona tampão de nutrientes e sedimentos, controle da incidência solar e estabilização das margens (Cassiano, 2013).

A ausência de áreas de preservação permanente (APPs) no entorno de corpos hídricos pode acarretar impactos negativos como eutrofização por excesso de nutrientes advindos da atividade agrícola e industrial, assoreamento, modificações do ciclo hidrológico e presença de

metais pesados por uso de agrotóxicos (Beghelli et al., 2015).

Em muitos casos a degradação das características naturais dos corpos hídricos está associada a expansão das atividades agrícolas, principalmente com a monocultura de cana de açúcar, que avançam sobre as APPs.

A análise da estrutura da paisagem é fundamental para designar a sua configuração, que corresponde à estrutura espacial explícita do mosaico de suas unidades, subsidiando a compreensão dos impactos das alterações antrópicas em processos de origem natural, no qual a conectividade estabelece o grau de facilidade que os elementos se deslocam entre as unidades de paisagem (Gardner e O'Neill, 1991).

Um pré-requisito para o entendimento das relações entre os padrões e processos na paisagem, considerando-se ou não a sua organização hierárquica, tem sido o desenvolvimento de métodos para a quantificação da sua estrutura.

Nas últimas décadas houve uma grande busca por novos métodos quantitativos que possam analisar padrões, determinar a importância de processos espaciais e desenvolver modelos (Turner e Gardner, 1991). A utilização das métricas ou índices são uma das formas mais utilizadas para quantificar-se os atributos espaciais das paisagens (Li e Wu, 2004).

Autores como Turner (1987), O'Neill et al. (1988), Gustafson e Parker (1992), Mcgarigal e Marks (1995) e Schumaker (1996), têm desenvolvido um grande número de índices e medidas descritivas dos padrões espaciais da paisagem.

A modelagem vem se firmando como uma excelente aliada para a obtenção de conhecimento e geração de hipóteses em ecologia de paisagens e questões populacionais, incluindo dinâmica de metapopulações, efeitos de fragmentação, importância de corredores e processos de dispersão ou invasão, os quais estão entre os temas mais abordados com modelos (Trevisan, 2015).

Essas medidas, têm sido utilizadas, para comparar a composição e a estrutura de diferentes paisagens (O'Neill et al., 1988), identificar mudanças na paisagem ao longo do tempo (Turner, 1987), explorar os efeitos de diferentes configurações impostas por práticas de manejo alternativas sobre a probabilidade de ocorrência de perturbações (Franklin e Forman, 1987) e também, como variáveis independentes em modelos explicativos da abundância e diversidade de espécies em função de aspectos da estrutura da

paisagem como o tamanho, a distância entre fragmentos florestais e a composição das estruturas das paisagens (Mcgarigal e Mccomb, 1995; Metzger, 2000).

Para a quantificação da estrutura das paisagens torna-se necessária a reunião de diversos índices, considerados elementos chave para a elaboração de estratégias de manejo de paisagens, os quais permitam obter em curto espaço de tempo uma estrutura da paisagem tendo em vista suas características e espaciais ao longo do tempo (Ritters et al., 1995).

Identificar e quantificar essas mudanças permitirá avaliar as dimensões dos diversos problemas ambientais e urbanos no intuito de conduzir os resultados para aplicação de convenções internacionais e programas de ação.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm facilitado estas análises e as atividades relacionadas à caracterização, ao diagnóstico e ao planejamento ambiental e urbano, auxiliando em tarefas como a simulação do espaço geográfico e de seus processos naturais, na integração de informações espaciais (Ribeiro et al., 1999).

Considerando que os processos culturais transformadores das paisagens constituem a manifestação integrada dos elementos naturais e culturais, ocasionando mudanças físicas ou culturais na mesma e que o ambiente natural proporciona benefícios para a sociedade de diversos modos ao preservarem a estrutura e função dos ecossistemas (Balmford et al., 2002) e que o equilíbrio entre ambiente e desenvolvimento parece ser a principal estratégia para assegurar a sustentabilidade ecológica, tornando-se essencial considerar as necessidades humanas em relação à capacidade suporte dos ecossistemas (Sato e Santos, 1999).

Estes benefícios devem motivar a conservação da natureza diante das pressões econômicas crescentes sobre o ambiente natural, embora a avaliação socioeconômica dos mesmos seja um processo difícil (Santos et al., 2001) e não incorporado na atividade econômica convencional baseada, principalmente na análise de mercado. A exploração econômica dos recursos naturais deve combinar de maneira racional o desenvolvimento e as práticas de conservação para resguardar a qualidade ambiental (Trevisan, 2015).

Dessa forma, o objetivo do estudo foi analisar a qualidade ambiental dos recursos hídricos do município de Santa Lúcia – SP, levando em consideração a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra entre os anos de 2001 e 2016 e sua distância destes variados usos com relação aos corpos hídricos por meio da aplicação

Índice de Qualidade Ambiental dos recursos

hídricos (IQA - Hidro).

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O município de Santa Lúcia localiza-se na região Administrativa Central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 21° 42' 58" e 21° 37' 39" de latitude sul e 48° 10' 45" e 47° 54' 34" de longitude oeste, com aproximadamente 154,03 km² (Figura 1), tendo como municípios vizinhos Américo Brasiliense, Rincão Araraquara e São Carlos (IBGE, 2016).

A população do município é de 8.444 habitantes, tendo densidade demográfica de 54 hab./km² e grau de urbanização de 95,31% (SEADE, 2016).

O clima caracteriza-se como tropical de

altitude com inverno seco, relevo de planalto, onde a temperatura média aproxima-se de 21,4 °C e a média mensal pluviométrica de 106,50 mm (CEPAGRI, 2016).

O balanço quantitativo é a relação entre a vazão do corpo hídrico e a disponibilidade do mesmo, levando em conta a propensão de assimilação de cargas orgânicas domésticas pelos corpos hídricos. Segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH) em 2015 o balanço hídrico quantitativo do município correspondeu a excelente em cerca de 60% de sua área e preocupante no restante, enquanto o balanço qualitativo classifica em torno de 75% do município como ótima e 25% como ruim. (SNIRH, 2016).

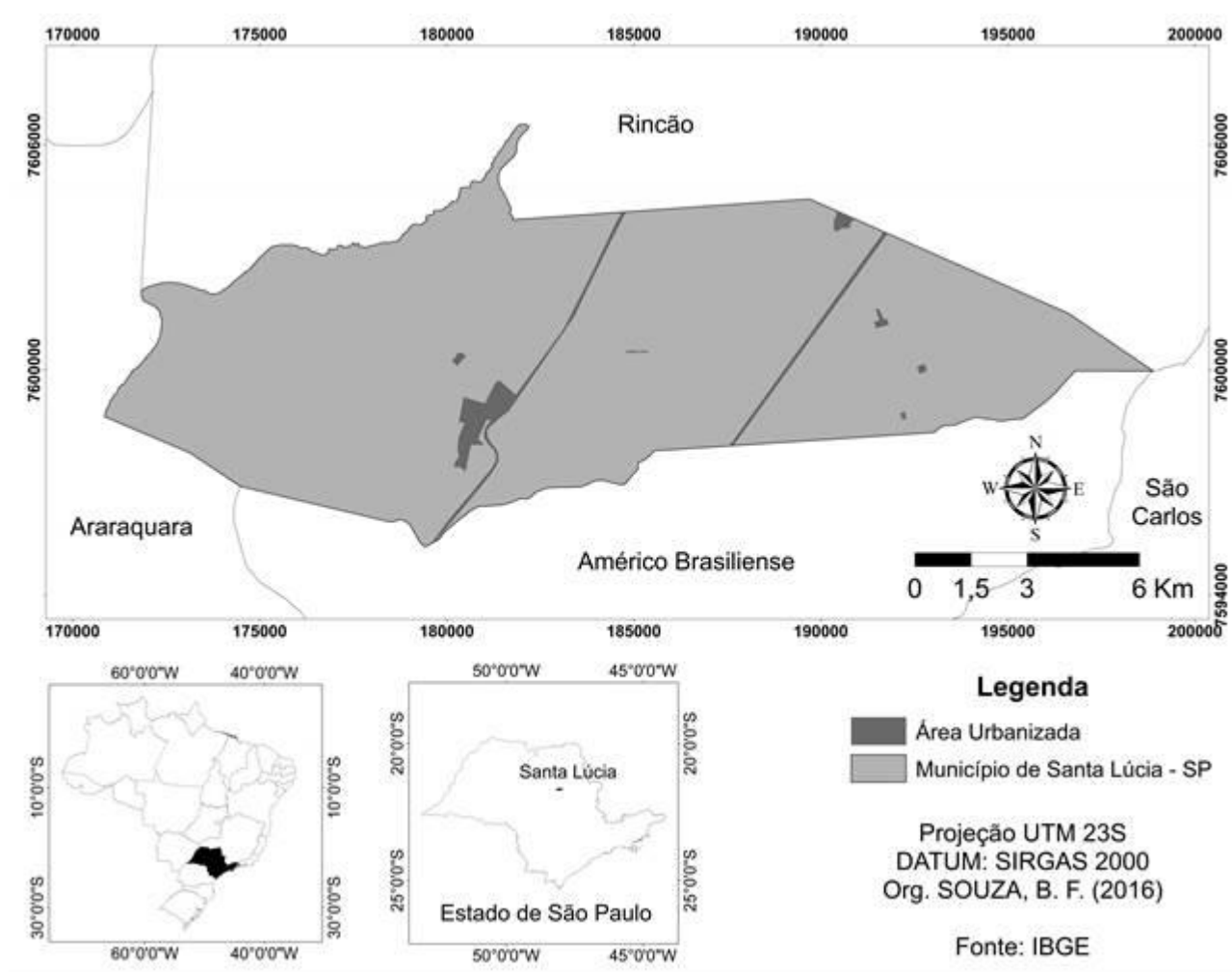


Figura 1. Localização geográfica do município de Santa Lúcia – SP.

Metodologia

Os dados primários para a delimitação do município de Santa Lúcia foram adquiridos da base de dados digital do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE), situação 2015. Para a obtenção da rede de drenagem foram adquiridas as cartas topográficas 1:50.000 do

IBGE, folhas de Rincão (SF-22-X-D-VI-2) e Porto Pulador (SF-23- V-C- IV-1).

As informações foram inseridas e analisadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), sendo utilizado o software ArcGis 10.2.2. Para a elaboração do banco de dados georreferenciado do município, foi adotado o sistema de projeção geográfica Universal Transversa de Mercator, Fuso 23 Sul, datum SIRGAS 2000.

Foram utilizadas duas imagens referentes aos satélites LandSat, com datas de passagem em 21 de março de 2001 e 08 de março de 2016, referentes a órbita 220/75. Para 2001 foi utilizado o satélite LandSat 7- sensor TM bandas 3, 4 e 5 e para a imagem de 2016 foi utilizado o satélite LandSat 8- sensor OLI/TIRS bandas 4, 6 e 7.

A utilização de cenas de satélites diferentes ocorreu em virtude da indisponibilidade de imagens por um único satélite no período de estudo, as cenas utilizadas para este estudo possuem a mesma resolução espacial e espectral de 30 metros através da fusão com a Banda Pancromática.

Rede de drenagem

A rede de drenagem da área de estudo foi elaborada a partir das cartas topográficas de Rincão e Porto Pulador, em formato DGN e escala 1:50.000. O banco de dados (ordens dos rios, comprimento, área e nomes dos leitos) foi alimentado de acordo com as informações presentes nas mesmas.

Uso e cobertura da terra

A classificação dos usos e cobertura da terra foi baseada no sistema multinível de classificação proposto pelo manual técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), que em um nível hierárquico primário (I) considera quatro classes que apresentam as principais categorias da cobertura terrestre (escala ampla – nacionais ou inter-regionais) e em um nível hierárquico secundário (II), um detalhamento mais sensível e minucioso da cobertura e o uso da terra em uma escala local. A classificação proposta pelo manual técnico de Uso da Terra ainda contempla um terceiro nível hierárquico (III), onde explica-se os usos do solo (Tabela 1), sendo estes utilizados para aplicação dos Índice de Qualidade Ambiental dos Recurso Hídricos (IQA-Hidro).

Tabela 1. Descrição das classes de uso e cobertura da terra

Classe (I)	Tipo (II)	Descrição (III)
Área Antrópica não Agrícola	Áreas urbanizadas	Área de adensamento urbano e áreas com instalações rurais (industriais e domiciliares)
	Cana-de-açúcar	Área de cultivo de <i>Saccharum officinarum</i> L.
	Citricultura	Área de cultivo de <i>Citros sinensis</i> .
Área Antrópica Agrícola	Pastagens	Área com predomínio de vegetação herbácea (nativa ou exótica), utilizada para pecuária extensiva.
	Silvicultura	Área de cultivo homogêneo de <i>Eucalyptus</i> spp. ou <i>Pinus</i> spp.
	Solo exposto	Área de pousio do solo para cultivo de <i>Saccharum officinarum</i> L.
Vegetação Natural	Vegetação Nativa	Área com predomínio de vegetação arbustiva/arbórea, com as formações vegetais de Floresta Estacional Semidecidual e Cerradão.
Água	Corpos hídricos	Rios de grande porte, lagos, lagoas e represas.

Fonte: Trevisan (2015)

Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA - Hidro)

A suscetibilidade dos recursos hídricos em relação à distância das fontes de impactantes, foi gerada pelo Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-Hidro) (Canter, 1996).

O IQA-Hidro foi determinado com base na sobreposição das cartas temáticas de atividades antrópicas agrícolas e não agrícolas, obtidas através da reclassificação da carta temática de uso e cobertura da terra e da rede de drenagem. A representação espacial, foi elaborada com base no uso do módulo *distance* do ArcMap 10.2.2 (Eastman, 1997).

Esta análise representou a distância dos recursos hídricos em relação às fontes impactantes, considerando-se com grau mínimo de qualidade (IQA-Hidro = 0) os rios cuja distância em relação às áreas impactadas aproximaram-se de zero. O grau máximo de qualidade (IQA-Hidro = 1), correspondeu aos rios cuja distância em relação às áreas impactadas foram superiores à 1.000 metros.

As informações foram re-escaloadas com base na Lógica Difusa (FUZZY) de tipo linear [$y=f(x)$], com valores de zero a um. Um valor lógico difuso significa que, é um valor qualquer no intervalo entre zero e um, assumindo que os elementos de um conjunto possuem graus de pertinências, ou seja, valores não absolutos (Marro et al., 2010).

Atualmente muitos problemas necessitam de sistemas complexos para serem solucionados, precisando lidar com incertezas e ambiguidades. A Lógica Fuzzy possibilita que variáveis não admitam valores específicos, mas que tenham graus de pertinência entre os elementos e também permite a criação de regras, o que facilita a modelagem dos problemas, tornando-os mais simples e, atraindo pesquisadores menos, devido ao fato dela tornar complexas as soluções dos diversos problemas existentes hoje (Chenci et al., 2011).

As fontes poluidoras foram classificadas em cinco grupos, de acordo com os riscos que apresentam aos corpos hídricos (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação de riscos das fontes impactantes em relação aos recursos hídricos do município de Santa Lúcia – SP

Classes	IQA-Hidro
0 - 0,20	Muito Alto
0,20 – 0,40	Alto
0,40 - 0,60	Média
0,60 - 0,80	Baixo
0,80 – 1,00	Muito Baixo

Resultados e discussão

A rede de drenagem do município (Figura 2) conta com 59 leitos (sendo 24 de 1ª ordem, 19 de 2ª ordem, 10 de 3ª ordem, 5 de 4ª ordem e 1 de 5ª ordem), com comprimento total de aproximadamente 9,38 km e 29 pontos de nascentes.

Foram identificados sete tipos de uso e cobertura da terra na área de estudo para os anos de 2001 e 2016. Sendo encontrados e classificados os usos de cana-de-açúcar, silvicultura, corpos hídricos, vegetação nativa, solo exposto, áreas urbanizadas e áreas de mineração. Considerando o intervalo do estudo observou-se uma expansão das atividades agrícolas com um incremento de 13,79% de áreas de cultivo, representados pelas culturas de cana-

de-açúcar, havendo uma conversão de áreas para esta cultura inclusive das próprias áreas agrícolas (áreas de silvicultura foram de 6,16% para 0,95%).

Em 2001, aproximadamente 74,66% da área de estudo apresentava o predomínio das atividades agrícolas sendo 86,59 km² ocupados pela cana-de-açúcar, 9,51 km² por silvicultura e 19,12 km² por solo exposto. Em 2016 estes valores aumentaram para um total de 76,23% de áreas destinada aos cultivos agrícolas, com 107,89 km² ocupados pela cana-de-açúcar, 0,54 km² por silvicultura e 9,19 km² por solo exposto (Tabela 3). As práticas do cultivo de cana-de-açúcar podem ser associadas às áreas com solo exposto, pois as mesmas referem-se ao período de pousio e

preparo do solo para a próxima safra.

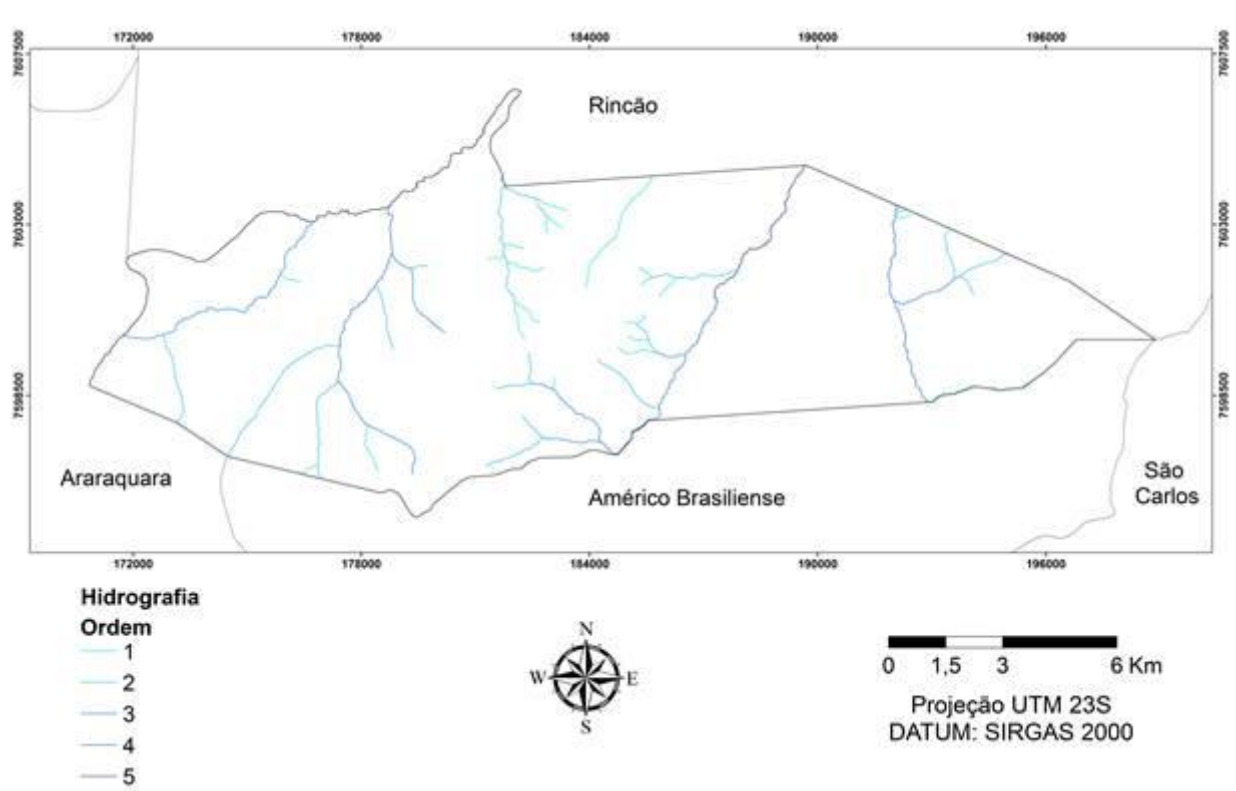


Figura 2. Rede hidrográfica do município de Santa Lúcia – SP.

Esse predomínio das atividades agrícolas, principalmente do cultivo de cana-de-açúcar, coincide com o cenário paulista, sendo o estado de São Paulo, mais precisamente o interior paulista, o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, sendo título é devido ao crescimento do mercado interno

e de algumas condições favoráveis ao seu cultivo, como por exemplo, ser o estado com mais terras férteis que permite a produtividade média maior do que em outras regiões e pelo fato de possuir desenvolvido setor de bens de produção para a cultura canavieira (Natale Netto, 2007).

Tabela 3. Classes de uso e ocupação do solo do município de Santa Lúcia – SP para os anos de 2001 e 2016. Valores quantificados em quilômetros quadrados (km²) e porcentagem (%).

Classes de Uso e Ocupação	2001		2016	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Cana-de-açúcar	86,59	56,12	107,89	69,92
Silvicultura	9,51	6,16	0,54	0,35
Corpos Hídricos	0,67	0,43	0,67	0,43
Vegetação Nativa	35,54	23,03	32	20,74
Solo Exposto	19,12	12,39	9,19	5,96
Áreas Urbanizadas	2,12	1,37	2,94	1,91
Áreas de Mineração	0,75	0,49	1,07	0,69

O cenário observado para o município de Santa Lúcia (Figura 3 e 4), com expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar é semelhante a estudos realizados com esta temática (Criuscuolo,

2006; Coelho et al., 2007; Rudorff et al., 2010; Moraes et al., 2013; Trevisan, 2015; Trevisan e Moschini, 2015) as quais também evidenciaram a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e a

supressão de áreas de vegetação nativa além da substituição por outras práticas agrícolas.

As áreas de vegetação nativa apresentam-se fragmentadas ao longo da área de estudo apresentando uma perda de cerca de 2,29%, representando uma área 3,54 km². Esses fragmentos imersos na matriz agrícola estão em sua maioria associados a corpos hídricos, ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APP).

Essa perda de áreas de vegetação nativa evidenciada para o município de Santa Lúcia, foi semelhante aos estudos realizados por Cintra (2004), Moschini (2005) e Mello (2014) os quais analisaram as fitofisionomias de Cerrado e

Floresta Estacional Semidecidual, tipos vegetacionais presente na área de estudo, evidenciando o processo de fragmentação da paisagem em decorrência de ações antrópicas.

Considerando que a Mata Atlântica e o Cerrado são dois hotspots, é necessária uma intervenção imediata no processo de fragmentação da paisagem, em sua maioria decorrentes do avanço da fronteira agrícola, mais especificamente pelo cultivo da cana-de-açúcar, que implica em severas mudanças nos padrões biológicos da paisagem e na conservação de fauna e flora presentes nesses habitats (Moraes, 2013).

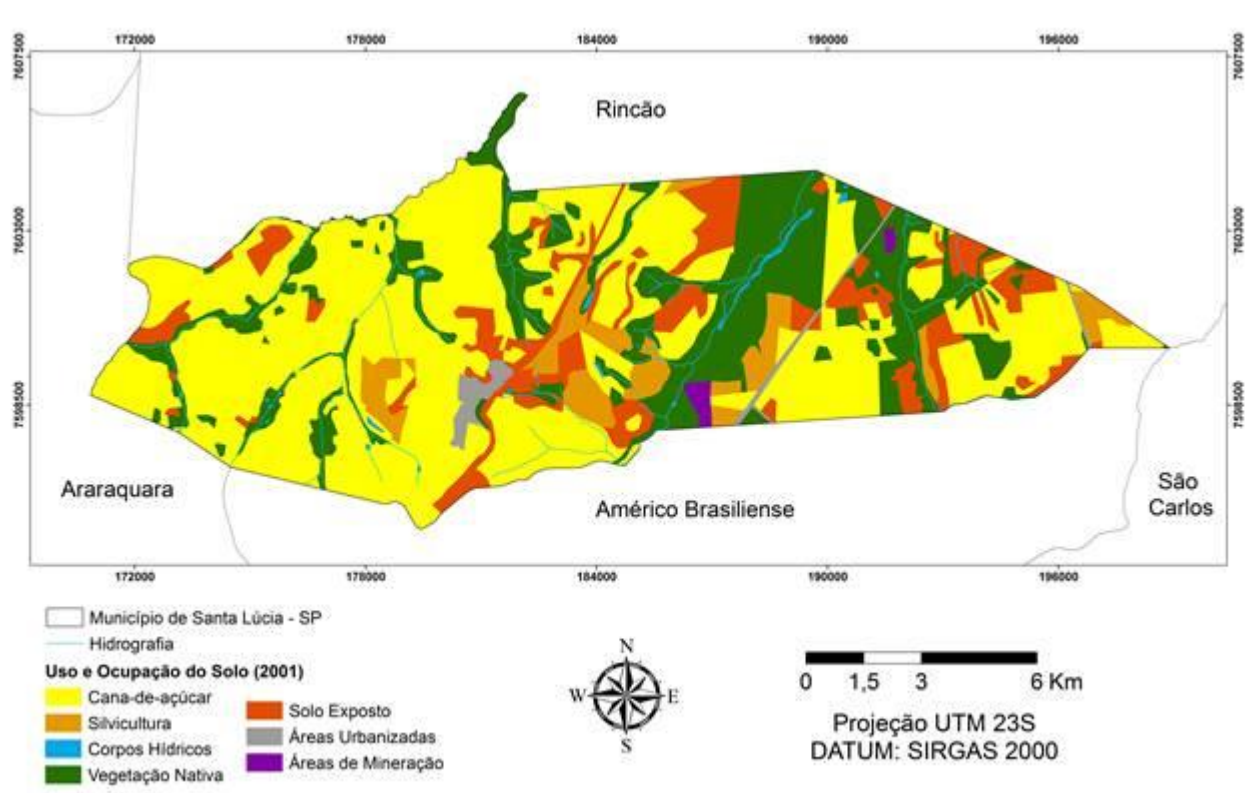


Figura 3. Uso e Ocupação do Solo do município de Santa Lúcia – SP referente ao ano de 2001.

As áreas urbanas apresentaram-se em pequena proporção e quantidade de área quando comparadas aos outros usos (2,12 km² em 2001 e 2,94 Km² em 2016), isso se deve, principalmente pelo fato da dependência do município com o setor agropecuário, fato que explica a pequena expansão da área urbana (em relação aos outros usos) e tornando o crescimento urbano pouco significativo nesse período.

As áreas de vegetação nativa apresentam-se fragmentadas ao longo da área de estudo apresentando uma perda de cerca de 2,29%, representando uma área 3,54 km². Esses fragmentos imersos na matriz agrícola estão em sua maioria associados a corpos hídricos, ou seja,

Áreas de Preservação Permanente (APP).

Essa perda de áreas de vegetação nativa evidenciada para o município de Santa Lúcia, foi semelhante aos estudos realizados por Cintra (2004), Moschini (2005), Trevisan et.al (2011) e Mello (2014) os quais analisaram as fitofisionomias de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual, tipos vegetacionais presente na área de estudo, evidenciando o processo de fragmentação da paisagem em decorrência de ações antrópicas.

Considerando que a Mata Atlântica e o Cerrado são dois hotspots, é necessária uma intervenção imediata no processo de fragmentação da paisagem, em sua maioria decorrentes do

avanço da fronteira agrícola, mais especificamente pelo cultivo da cana-de-açúcar, que implica em severas mudanças nos padrões biológicos da

paisagem e na conservação de fauna e flora presentes nesses habitats (Moraes et al., 2013).

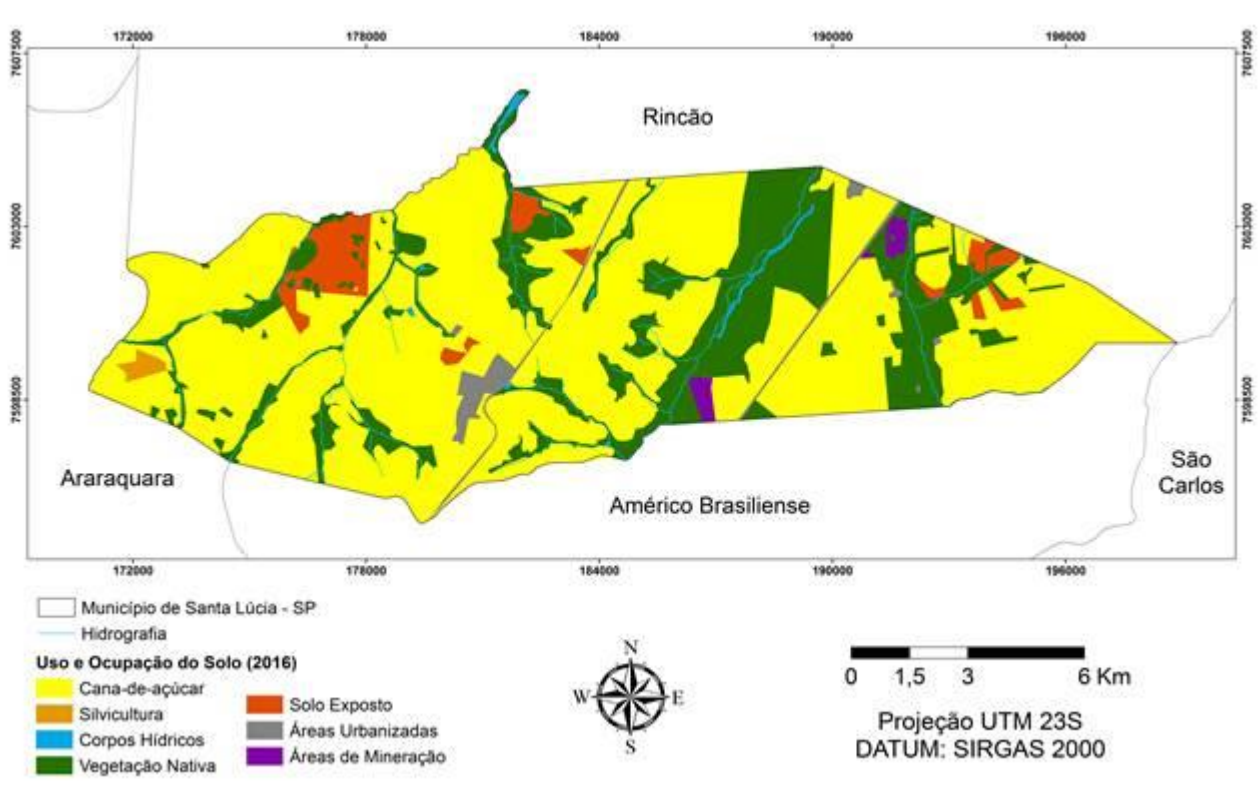


Figura 4. Uso e ocupação do solo do município de Santa Lúcia - SP referente ao ano de 2016

As áreas urbanas apresentaram-se em pequena proporção e quantidade de área quando comparadas aos outros usos (2,12 km² em 2001 e 2,94 Km² em 2016), isso se deve, principalmente pelo fato da dependência do município com o setor agropecuário, fato que explica a pequena expansão da área urbana (em relação aos outros usos) e tornando o crescimento urbano pouco significativo nesse período.

Em conformidade com a análise da dinâmica de uso e ocupação do solo do município, destaca-se que os impactos gerados pelo uso excessivo de fertilizantes, corretores do solo e pesticidas é um dos principais problemas no plantio da cana de açúcar, isso porque os materiais adicionados ao plantio são carregados para os corpos hídricos próximos (ou infiltram para o lençol freático) através do escoamento superficial e representam um acréscimo de materiais particulados em suspensão, amônios e nitratos (Cassiano, 2013).

Outros potenciais poluidores da água, são os metais cádmio, cobre, mercúrio, chumbo e zinco (Brigante e Espíndola, 2003) também advindos dos aditivos químicos na cultura.

A silvicultura acarreta grandes impactos

ao ambiente e aos corpos hídricos. Dentre esses impactos pode ser citada a erosão, que além de prejudicial ao solo é muito prejudicial aos corpos hídricos por contribuir com partículas que são carregadas para este causando assoreamento, aumento de turbidez e redução da atividade fotossintética e da quantidade de oxigênio disponível nos corpos hídricos (Guimarães et al., 2010).

As áreas descobertas tendem a favorecer os processos erosivos, que levam materiais particulados para os cursos d'água. Esses processos causam o aumento da turbidez e desencadeia os processos de assoreamento do leito dos rios, comprometendo a qualidade dos corpos hídricos (Lopes e Libânio, 2005).

Pode ocorrer o carregamento de outras partículas tais como metais, fragmentos de rochas e solos, fertilizantes, agrotóxicos e corretores de solo levados pela chuva e pelo escoamento superficial. Quando associado a retirada de vegetação, o solo exposto pode significar modificações no ciclo hidrológico.

A urbanização é uma das principais responsáveis pela piora na qualidade dos corpos hídricos atualmente e isso ocorre porque os

impactos causados por essa modificação no ambiente são diversos e de difícil resolução. Um desses principais impactos é a impermeabilização, pois na infiltração da água no solo e prejuízos na recarga do lençol freático. A urbanização ainda é responsável pela retirada da mata ciliar do leito e ocupação deste, provocando falta de área de amortecimento, aumento de materiais particulados e matéria orgânica nos corpos hídricos (Tucci, 2008).

A exploração de areia coloca em risco as áreas de preservação (APPs), a mata ciliar e os corpos hídricos. A extração ocorre pelo uso de dragas e de maquinário pesado, o que acarreta compactação do solo e dificuldades de infiltração, além dos prejuízos a fauna e a flora pela retirada de vegetação e abertura de poços e trincheiras (Melo, 2010). Esse processo de retirada pode causar rebaixamento do lençol freático, enfraquecimento das encostas e erosão.

Diante dessas considerações, a partir da análise de uso e cobertura da terra foi desenvolvido o IQA – Hidro dos anos de 2001 e 2016 (Figura 5 e 6), que refere a qualidade dos

recursos hídricos, levando em consideração as fontes impactantes presentes no entorno da bacia e a distância dessas fontes em relação aos corpos hídricos em decorrência da ausência de áreas de vegetação nativa. Na área de estudo, as principais fontes de impactos presentes são provenientes de atividades antrópicas.

As áreas de risco muito baixo apresentam a maior distância dos corpos hídricos em relação as fontes impactantes, sendo 1,92 km² em 2001 e 3,90 km² em 2016, além de haver presença de vegetação nativa que protege os corpos d'água da poluição gerada pelas fontes poluidoras.

As áreas que apresentam tais características se restringem, em 2001, a uma pequena porção no leste do município, enquanto em 2016 a uma pequena área no oeste de Santa Lúcia, áreas recobertas por cultivo de cana-de-açúcar, em ambos os anos, indicando que apesar dessa atividade trazer diversos impactos negativos aos recursos hídricos, quando instalada distantes dos corpos d'água não oferecem grandes riscos ao mesmo.

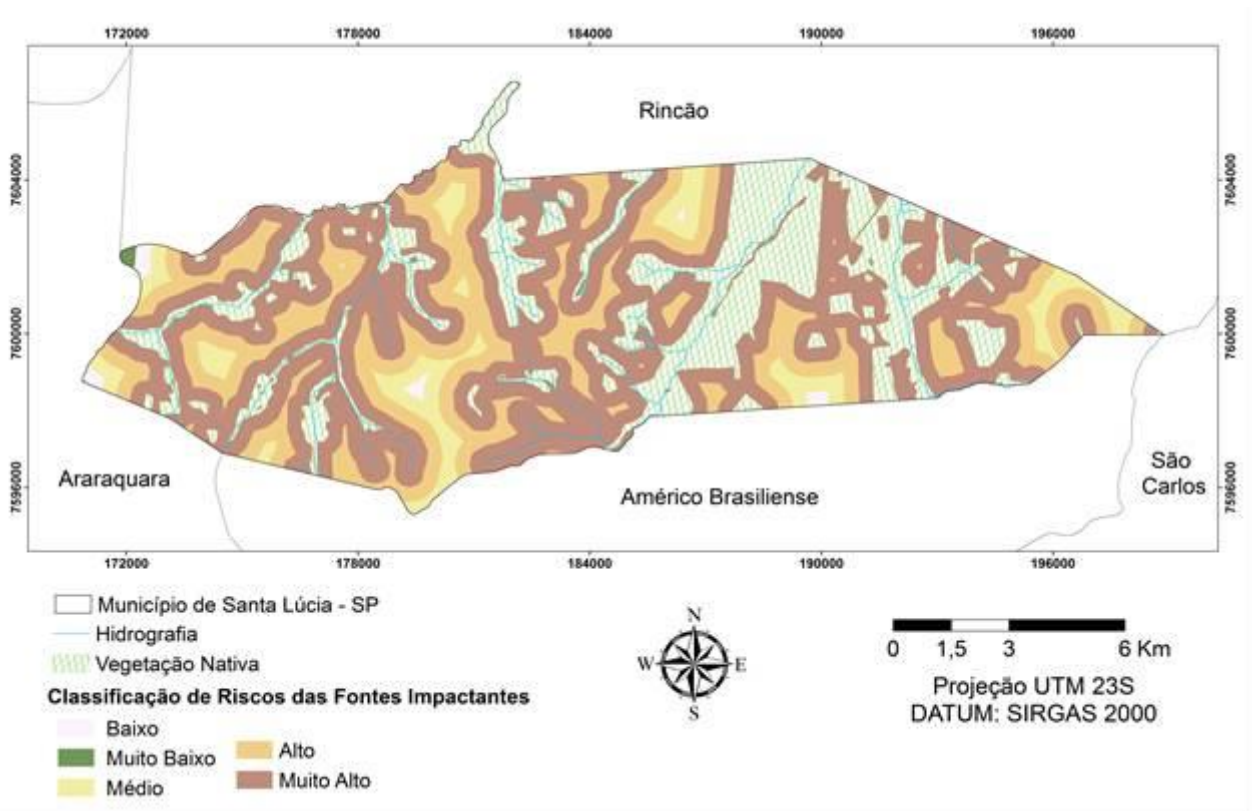


Figura 5. IQA-Hidro do município de Santa Lúcia - SP referente ao ano de 2001.

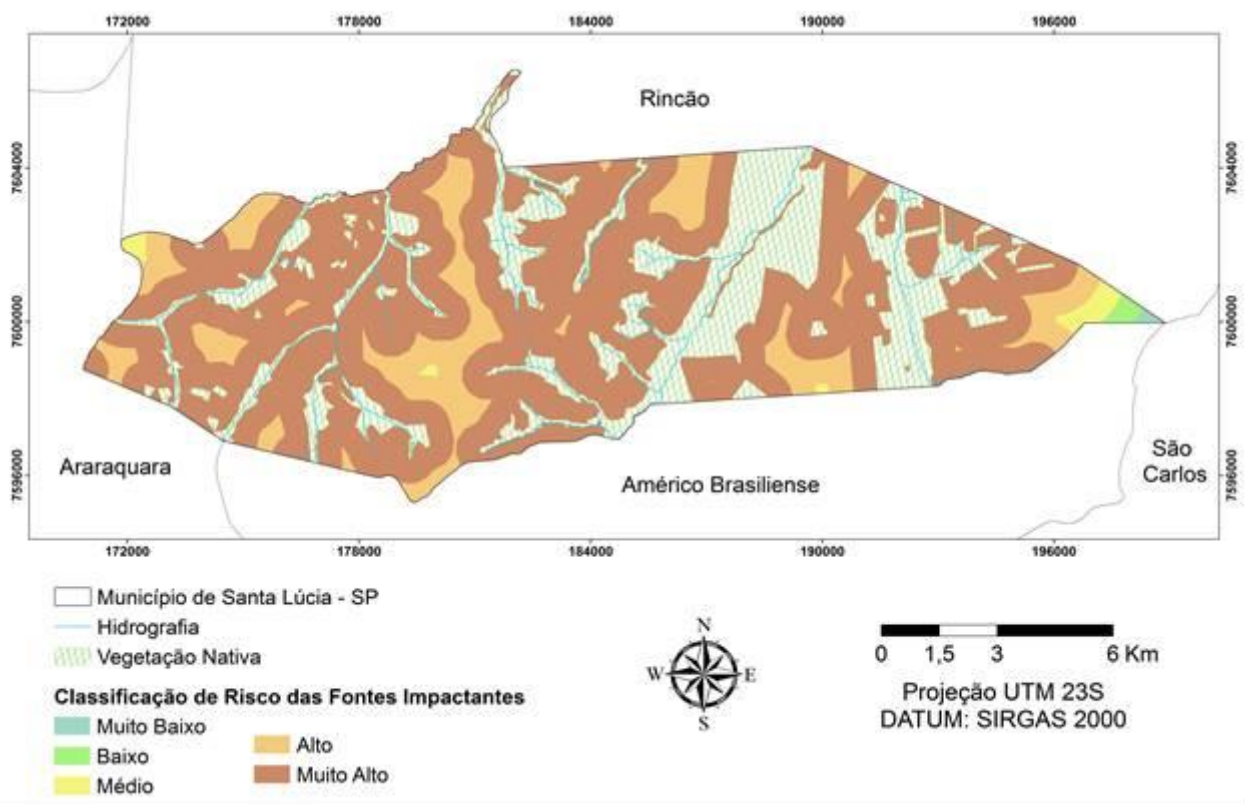


Figura 6. IQA-Hidro do município de Santa Lúcia - SP referente ao ano de 2016.

As áreas classificadas como baixo risco de impacto ambiental encontram-se isoladas em alguns pontos do município, cercadas por áreas de médio impacto ambiental ou representam a transição entre áreas de muito baixo impacto ambiental e médio impacto ambiental. Essas áreas recobrem locais de cultivo de cana-de-açúcar e solo exposto.

Os locais que apresentam médio risco de impacto ambiental diminuem perceptivelmente entre 2001 e 2016. Enquanto em 2001 há grandes áreas com essa característica distribuídas por todo o município, em 2016 passa a ter pontos isolados. Em comparação as atividades antrópicas do local, essas áreas representam locais de cultivo de cana-de-açúcar e silvicultura.

As áreas de alto impacto ambiental diminuíram (Tabela 4) entre os anos, porém isso não representa uma melhoria positiva na qualidade ambiental dos recursos hídricos do município, pois em contrapartida houve um aumento significativo das áreas de risco muito alto.

Essas áreas são utilizadas principalmente para cultivo de cana-de-açúcar, além de silvicultura, mineração, urbanização e solo exposto, deixando evidente que essas atividades, quando não estruturadas em locais adequados, podem causar impactos significativos aos ecossistemas naturais.

Este cenário observado para o município Santa Lúcia, que corresponde ao de perda da qualidade ambiental dos compartimentos da paisagem, é semelhante a estudos realizados por, Moschini (2008), Tambosi (2008), Santos (2011) e Trevisan (2015), que também evidenciaram a perda de áreas de vegetação natural e consequente aumento dos impactos nas paisagens estudadas, corroborando com as discussões sobre a necessidade de um desenvolvimento voltado ao planejamento urbano e consequentemente voltado a conservação dos recursos naturais, onde as estratégias de zoneamento são necessário no que tange à disposição dos tipos de uso e ocupação do solo ao longo das diversas paisagens naturais.

Tabela 4. Porcentagem da área ocupada por cada classe de risco das fontes impactantes aos recursos hídricos para os anos de 2001 e 2016 em relação a área total do município de Santa Lúcia

Classificação de Riscos das Fontes Impactantes	% da Área Municipal (2001)	% da Área Municipal (2016)
Muito Baixo	0,14	0,12
Baixo	0,82	0,37
Média	8,26	1,26
Alto	27,66	15,92
Muito Alto	63,12	82,33

Conclusões

O desenvolvimento da ocupação e uso do solo ao longo do tempo no município de Santa Lúcia demonstram que o mesmo vem tendo crescente atividade de cultivo de cana-de-açúcar, o que acarreta em degradação das características ambientais dos corpos hídricos.

Além disso, as atividades humanas próximas aos corpos hídricos do município são impactantes ao ambiente natural.

Há necessidade de gestão da expansão dessas atividades para que não haja a intensificação da degradação do meio.

As atividades antrópicas no contorno da rede de drenagem de Santa Lúcia, podem prejudicar a qualidade dos recursos hídricos de maneira irreversível em longo prazo, pois além de da contaminação direta da água, degradam o solo e a vegetação, que têm importantes funções no ciclo da água.

Outro ponto que vale ressaltar é que a continuidade das principais atividades econômicas presentes no município (cultivo de cana-de-açúcar e mineração), dependem fortemente da disponibilidade de água, portanto a manutenção dos recursos hídricos é indispensável.

Embora atividades econômicas advindas dos recursos naturais sejam importantes para o desenvolvimento da sociedade, buscar equilíbrio entre a exploração dos recursos e o ambiente é uma maneira de mitigar os impactos causados ao meio.

Respeitar as políticas existentes e incentivar o interesse ambiental podem ser possíveis soluções para os conflitos da relação homem-natureza.

O fortalecimento dos espaços de participação, através da mobilização da população

e de suas instâncias de representação, deve ser uma premissa da administração municipal, para a formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano, adequando-se à realidade local e cumprindo desta forma seus objetivos.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Processo: 2015/19918-3 pelo apoio na realização do trabalho.

Referências

- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R.E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K., Turner, R.K., 2002. Economic Reasons for Conserving Wild Nature. *Science* 297, 950–953.
- Beghelli, F.G.S., Carvalho, M.E.K, Peche Filho, A., Machado, F.H. Moschini-Carlos, V., Pompeo, M.L.M., Ribeiro, A.I., Medeiros, G.A., 2015. Uso do índice de estado trófico e análise rápida da comunidade de macroinvertebrados como indicadores da qualidade ambiental das águas na Bacia do Rio Jundiá-Mirim-SP-BR. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* 19, 13-22.
- Brigante, J., Espíndola, E.L.G., 2003. *Limnologia Fluvial*. Rima, São Carlos.
- Canter, L.W., 1996. Environmental impact assessment - Series in Water Resources and Environmental Engineering, 2 ed. McGraw-Hill International Editions, New York.

- Cassiano, C.C., 2013. O papel dos remanescentes florestais da qualidade da água em microbacias agrícolas. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ-USP.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, 2016. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível: http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/clima_muni_224.html. Acesso: 10 ago. 2016.
- Chenci, G.P., Rignel, D.G.S, Lucas, C.A., 2011. Uma introdução á lógica Fuzzy. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica. Disponível: http://www.logicafuzzy.com.br/wpcontent/uploads/2013/04/uma_introducao_a_logica_fuzzy.pdf. Acesso: 10 mar. 2016.
- Cintra, R.H., 2004. Análise qualitativa e quantitativa de danos ambientais com base na instauração e registros de instrumentos jurídicos, in: Santos, J. E.; Zanin, E. M.; Moschini, L. E. (Ed.), Faces da Polissemia da Paisagem: ecologia, planejamento e percepção. Rima, São Carlos, pp. 25-39.
- Coelho, A.T., Guardabassi, B.A.L., Monteiro, B.C.A., Gorren, R., 2007. A Sustentabilidade da expansão da cultura canavieira. Cadernos Técnicos da Associação Nacional de Transportes Públicos 6, 1-13.
- Criuscuolo, C., 2006. Dinâmica de Uso e Cobertura das Terras na Região Nordeste do Estado de São Paulo. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas.
- De Groot, R.S., Bliognaut, J., Der Ploeg, S., Aronson, J., Elmqvist, T., Farley, J., 2013. Benefits of investing in ecosystem restoration. *Conservation Biology* 27, 1286-1293.
- Eastman, J.R., 1997. Idrisi for Windows. Tutorial Exercises. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University.
- Faria, D.A., 2012. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP). Dissertação (Mestrado). Bauru, UNESP.
- Franklin, J.F., Forman, R.T.T., 1987. Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology* 1, 5-18.
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V., 1991. Pattern, process, and predictability: the use of neutral models for landscape analysis, in: Turner, G.M., Gardner, R.H. (Ed.), *Quantitative Methods in Landscape Ecology: the analyses and interpretation of landscape heterogeneity*. Springer, New York, pp. 289-308.
- Goerl, R.F., Siefert, C.A.C., Schultz, G.B., Santos, C.S., Santos, I., 2011. Elaboração e aplicação de Índices de Fragmentação e conectividade da paisagem para análise de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5, 1000-1012.
- Guimarães, R.Z., Oliveira, F.A., Gonçalves, M.L., 2010. Avaliação dos impactos da atividade de silvicultura sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba 28, 377-390.
- Gustafson, E.J., Parker, G.R., 1992. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7, 101-110.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Cidades. Disponível: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354690>. Acesso: 10 mar. 2016.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística, 2013. Manual Técnico de Uso da Terra, 3 ed. Disponível: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.sht. Acesso: 31 maio 2015.
- IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
- Li, H., Wu, J., 2004. Use and misuse of landscape índices. *Landscape Ecology* 19, 389-399.
- Lopes, V.C., Libânio, M., 2005. Proposição de um índice de estações de tratamento de água (IQETA). *Engenharia Sanitária e Ambiental* 10, 318-328.
- Marro, A.A., Souza, A.M.C.S., Cavalcante, E.R.S., Bezerra, G.S., Nunes, R.O., 2010. Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, pp. 1-23.
- Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J.G., 2008. *Limnologia. Oficina de Textos*, São Paulo.
- Mcgarigal, K., Marks, B., 1995. *Fragstats * ARC. Fragstats Manual*. Disponível: http://www.innovativegis.com/products/fragstat_sarc/manual/index.html. Acesso: 10 mar. 2016.
- Mcgarigal, K., McComb, W., 1995. Relationships between landscape structure and breeding birds in the oregon coast range. *Ecological Monographs* 65, 235-260.
- Mello, K., Petri, L., Cardoso-Leite, E., Toppa, R.H., 2014. Cenários ambientais para o ordenamento territorial de áreas de preservação permanente no município de Sorocaba, SP. *Revista Árvore* 38, 309-317.

- Melo, T.F.S., 2010. Diagnóstico ambiental em área de exploração mineral: o porto de areia Estrela, em Ponta Grossa-PR. Ponta Grossa. Dissertação (Mestrado). Ponta Grossa, UEPG.
- Metzger, J.P., 2000. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 71, 445- 463.
- Millennium Ecosystem Assessment., 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, World Resources Institute, Washington.
- Momoli, R.S., 2006. Caracterização e distribuição espacial dos sedimentos depositados numa zona ripária reflorestada. Dissertação (Mestrado). Piracicaba ESALQ-USP.
- Moraes, M.C.P., 2013. Dinâmica da paisagem da zona de amortecimento do Parque Estadual de Porto Ferreira. Dissertação (Mestrado). Sorocaba, UFSCAR.
- Moraes, M.C.P., Toppa, R.H., Mello, K.A., 2013. Expansão da Cana-de-Açúcar como fator de pressão para áreas naturais protegidas, in: Santos, J.E.dos, Zanin, E.M. (Org.), *Faces da Polissemia da Paisagem: ecologia, planejamento e percepção*. Rima, São Carlos, pp.163-173.
- Moschini, L.E., 2005. Diagnóstico e riscos ambientais relacionados à fragmentação de áreas naturais e semi-naturais da paisagem: estudo de caso, município de Araraquara. Dissertação (Mestrado). São Carlos, UFSCAR.
- Moschini, L.E., 2008. Zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Médio Mogi-Guaçu Superior. Tese (Doutorado). São Carlos, UFSCAR.
- Natale Netto, J., 2007. A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos do álcool combustível em nosso país. Novo Século, Osasco.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., De Angelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H., Graham, R.L., 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1, 153-162.
- Ribeiro, F.L., Campos, S., Piroli, E.L, Santos, T.G., Cardoso, L.G., 1999. Uso da terra do Alto rio pardo, obtido a partir da análise visual Ciclo de Atualização Florestal do Conesul, Santa Maria.
- Ritters, K.H., O'Neil, R.V., Hunsaker, C.T., Wickham, J.D., Yankee, D.H. Timmins, S.P., 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10, 23-39.
- Rudorff, B.F.T., Aguiar, D.A., Silva, W.F., Sugawara, L.M., Adami, M., Moreira, M.A., 2010. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production on São Paulo State (Brazil) using Landsat Data. *Remote Sensing* 2, 1057-1076.
- Santos, J.E., Nogueira, F., Pires, J.S.R., Obara, A.T., Pires, A.M.Z.C.R., 2001. The value of the Ecological Station of Jataí's ecosystem services and natural capital. *Revista Brasileira de Biologia* 61, 171-190.
- Santos, R.M.dos, 2011. Padrão temporal e espacial das mudanças de usos da terra e cenários para a conservação da biodiversidade regional do município de São Félix do Araguaia, MT. Tese (Doutorado). São Carlos, UFSCAR.
- Sato, M., Santos, J.E., 1999. Agenda 21 em Sinopse. EduUFSCar, São Carlos.
- Schumaker, N.H., 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology* 77, 1210-1225.
- SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de dados, 2016. Perfis Municipais. Disponível: <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>. Acesso: 31 maio 2016.
- SNIRH. Agência Nacional das Águas – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, 2016. Balanço Quali-qualitativo. Disponível: <http://www.metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=33722737-dc4a-466f-a2f4-d4e16642acec>. Acesso: 10 ago. 2016.
- Tambosi, L.R., 2008. Análise da paisagem no entorno de três unidades de conservação: Subsídios para a criação da zona de amortecimento. Dissertação (Mestrado). São Paulo, USP.
- Trevisan, D.P., 2015. Análise das variáveis ambientais causadas pelas mudanças dos usos e cobertura da terra do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. Dissertação (Mestrado). São Carlos, UFSCAR.
- Trevisan, D.P., Moschini, L.E., 2015. Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra em Paisagem no Interior do Estado de São Paulo: Subsídios para o planejamento. *Fronteiras: journal of social, technological and environmental science* 4, 16-30.
- Tucci, C.E.M., 2008. Águas urbanas. *Estudos avançados* 22, 97-112.
- Turner, M., O'Neill, R.V., Gardner, R.H., Milne, B.T., 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 3, 153-162.

Turner, M.G., 1987. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology* 1, 29-36.

Turner, M.G., Gardner, R.H., 1991. *Quantitative methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York.