

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CORRELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, NA SUB-BACIA DO RIO MARANHÃO, MINAS GERAIS, BRASIL

Guimarães, V. L.¹; Gianasi, L. M.²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/IGC
Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG, CEP 31270.901
viniciusl.geo@gmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/IGC
Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG, CEP 31270.901
lussandrams@gmail.com

Abstract. This work aims to correlate, through Pearson Linear Correlation (PLC), the land use with physical-chemical parameters of water quality, in the watershed of Maranhão River, Minas Gerais, Brazil, in dry periods, in the years of 2001, 2009 and 2019. It was used geoinformation regarding land use, acquired by images from the Landsat series, in the years 2001, 2009 and 2009, PLC was made, with the variables of dissolved iron (mg/L), dissolved oxygen (mg/L), total phosphorus (mg/L), nitrate (mg/L), nitrite (mg/L), turbidity (NTU) and total ammoniacal nitrogen (mg/L), collected in the field, by the Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), in dry periods. The results obtained indicates that the increases in pastures areas/exposed soil, built areas, mining areas and deforested areas, had a strong correlation with the increased degradation of the studied lotic body. There were limitations of the application of PLC, considering that this model presented a high correlation between variables that, according to the bibliography, have no cause-consequence relationship. The results help to measure, in the watershed, which are the types of land use with the greatest impact on water quality, giving a diagnosis of the main causes for the degradation of water resources in a specific space.

Palavras-chave: Qualidade da água, Sensoriamento Remoto, Bacia do Rio Maranhão, Correlação Linear de Pearson, Uso e Ocupação do Solo.

Introdução

O biomonitoramento dos corpos hídricos, feito pela técnica de aquisição de dados limnológicos, constitui-se como importante base para o desenvolvimento social e econômico, já que o aumento da demanda pela água afeta a qualidade e quantidade das águas, comprometendo seus posteriores usos (SOUZA *et al.*, 2014). Porém, este não se restringe a ser feito apenas por esta técnica, havendo a possibilidade de correlação entre a limnologia com o uso de geoinformações, referentes ao uso e ocupação do solo (U.O.S) em uma bacia hidrográfica, adquiridos por produtos de sensoriamento remoto (VOLOCHEN, 2011). Assim, o uso combinado destas técnicas, possibilita compreender, fazendo a análise dos diferentes U.O.S, em como a ação antrópica impacta o meio ambiente, ao utilizar a água como indicador destes impactos, em escala de bacia hidrográfica.

Sabe-se que a degradação e o efeito contínuo de lançamento de poluentes em ambientes aquáticos, feitos por atividades antrópicas industriais, agropecuárias e domésticas, são responsáveis por afetar a qualidade da água, destruindo as biotas aquáticas, outros seres vivos e prejudicando as atividades socioeconômicas (MORAES *et al.*, 2001). Assim, urge a necessidade de aplicar métodos diversos para entender como as mudanças no ambiente impactam a água. Esta pesquisa se propôs a

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

entender isto, na sub-bacia do Rio Maranhão (SBRM), Minas Gerais, Brasil, por meio da aplicação de análise de mudança de uso e ocupação do solo, adquirida por geoinformações de imagens de satélite da série Landsat, correlacionadas, pela ferramenta estatística de Correlação Linear de Pearson (CLP), com dados de biomonitoramento, adquiridos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), nos anos de 2001, 2009 e 2019, em período seco (julho a setembro), considerando que os impactos na qualidade da água, variam de acordo com cada bacia, já que os fatores fisiográficos e socioeconômicos se comportam diferentemente em cada caso (MELLO *et al.*, 2020).

Esta análise levou em consideração a existência dos instrumentos legais, capazes de controlar os múltiplos usos da água no Brasil, sendo que a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estipula para os estados a responsabilidade da gestão racional deste bem, articulada à gestão do uso e ocupação do solo, e o biomonitoramento da água por parte destes, de acordo com os padrões de lançamentos de efluentes para cada tipo de uso das águas (BRASIL, 1997), definidos nacionalmente pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2005), e, em Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008 (GERAIS, 2008).

Pela importância da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF), fundamental para o desenvolvimento econômico e abastecimento humano de seus estados abrangidos (SILVA, 2017), esta pesquisa buscou um método capaz de gerar padrões de correlação, entre limnologia e o impacto de diferentes tipos de uso e ocupação do solo, em uma de suas sub-bacias, que poderá servir como base de apoio à gestão e preservação futura da BHSF.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

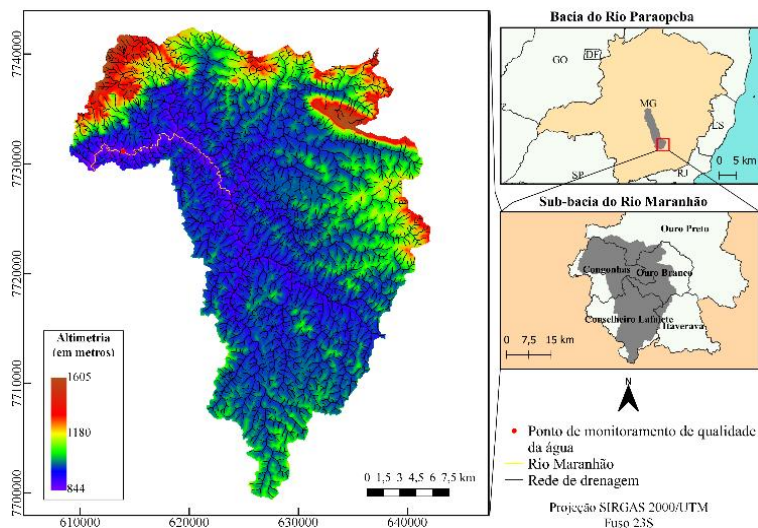
A sub-bacia do Rio Maranhão (FIG. 1), um dos afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, parte da BHSF, está situada na região central de Minas Gerais. Segundo IGAM *et al.* (2003), é um importante local de atividades minero-siderúrgicas, contendo principalmente lavras de minério de ferro, além de contar com áreas de pastagem, formações campestres, indústria siderúrgica, áreas florestais, áreas reflorestadas e algumas poucas áreas de culturas agrícolas.

Geograficamente tem 714,6 km² de área, abrangendo os municípios de Ouro Branco, Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Itaverava e Ouro Preto (IGAM *et al.*, 2003). Seu corpo hídrico é enquadrado na Classe 2, destinando-se ao abastecimento doméstico, proteção de comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças-plantas frutíferas e aquicultura (BRASIL, 1986; IGAM, 2020). Segundo IGAM *et al.* (2003) e Martins *et al.* (2018), conta com clima mesotérmico que apresenta seca no inverno, com precipitação menor que 60 mm no mês mais seco, e tempo chuvoso no verão. O monitoramento limnológico do rio Maranhão é feito por dois pontos na bacia, sendo utilizado na pesquisa um ponto mais à jusante, com coordenadas GMS 20°30'36.0"S e 43°54'00.0"O (IGAM, 2020), que recebe a maioria dos efluentes.

FIGURA 1. Sub-bacia do Rio Maranhão - Minas Gerais - Brasil - localização e caracterização.

Adaptado de: MIRANDA (2005), IBGE (2015) e IGAM (2020)

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco



OBJETIVO

Correlacionar, por Correlação Linear de Pearson, os dados limnológicos, em períodos secos (julho a setembro), do rio Maranhão, em Minas Gerais, com o uso e ocupação do solo em sua bacia, nos anos de 2001, 2009 e 2019, adquiridos pelos resultados das classificações supervisionadas de imagens de satélite Landsat.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar aplicabilidade da Correlação Linear de Pearson entre as variáveis de qualidade da água e de uso e ocupação do solo, na sub-bacia do Rio Maranhão, e mensurar a evolução do uso e ocupação do solo nesta, por classificação de imagens de satélite Landsat.

METODOLOGIA

Fez-se uma revisão bibliográfica sobre o tema de interesse, em que foram pesquisados nos bancos de dados da *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), no Acervo dos Simpósios Brasileiros de Sensoriamento Remoto, na *Wiley Online Library*, na *Elsevier* e na *Science*, artigos datados de 1960 a 2020, com as palavras chaves “sensoriamento remoto”, “qualidade da água”, “uso e ocupação do solo”, “bacia do rio São Francisco” e “sub-bacia do Rio Maranhão”.

Foram feitas as aquisições de imagens dos satélites Landsat 5 e 8, em que foram utilizadas as bandas que deram maior clareza nas classificações, sendo elas a do vermelho (R), infravermelho próximo (IRp) e infravermelho médio (IRm), com resolução espacial de 30 metros, e a banda pancromática, com resolução espacial de 15 metros, presente no Landsat 8 (EMBRAPA, 2020).

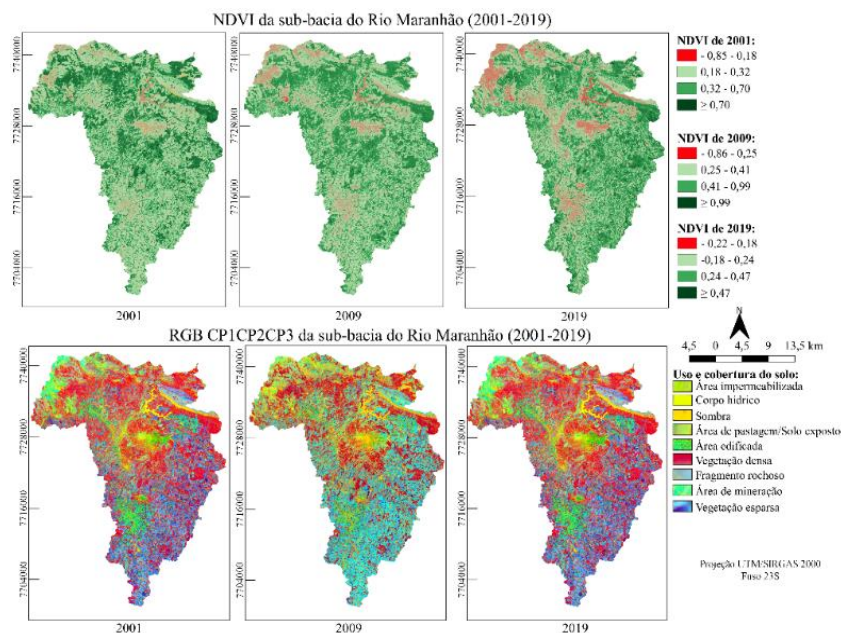
Já que os parâmetros de qualidade da água se alteram no período chuvoso, com o aumento do transporte de sedimentos, matéria orgânica, quantidade de oxigênio dissolvido e diminuição da concentração de nitrato (PIERONI *et al.*, 2016), foram escolhidos, para análise, dados limnológicos e imagens de período seco (julho a setembro), dos anos de 2001, 2009 e 2019. Após a coleta de tais informações, fez-se o tratamento dos dados no software QGIS 2.8.9, sendo realizada a reprojeção e georreferenciamento das imagens. Depois, fez-se a Análise de Componentes Principais (ACP), em que há uma diminuição da redundância de informações, transformando um conjunto de dados em um novo, onde há o destaque dos componentes principais (POHL e VAN GENDEREN, 1998). Antes de

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

ser feito a ACP, a imagem do Landsat 8 passou por fusão entre as bandas multiespectrais e a banda pancromática, pelo método IHS, em que há um processo de melhoria da resolução espacial (ALWASSAI *et al.*, 2011). Também aplicou-se o Índice de Vegetação por Área Normalizada (NDVI), que indica, em uma escala de -1 a 1, a massa de matéria seca e clorofila, pelo uso das bandas do vermelho e infravermelho próximo (RISSINI *et al.*, 2015), possibilitando a diferenciação, na sub-bacia, entre área de pastagem/solo exposto e vegetação esparsa.

Fez-se a classificação supervisionada das imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8 pelo QGIS 2.8.9, em que, por meio da identificação visual de ACP e de NDVI (FIG. 2), vetores com regiões mínimas de 1,35 ha, extraídos do software Spring 5.5.6, foram agrupados nas 9 classes de uso e ocupação do solo, sendo elas as de área impermeabilizada; áreas de corpo hídrico, compostas por lagos naturais, lagos por barramento e em área de mineração; áreas de sombra; áreas de pastagem/solo exposto, alocadas em uma mesma classe, pelo fato de não haver resolução espacial suficiente para diferenciá-las; áreas edificadas; áreas de fragmento rochoso; áreas de vegetação esparsa, compreendendo espaços de vegetação rasteira, campo limpo, campo sujo e agricultura, também alocadas em uma mesma classe pela resolução espacial das imagens.

FIGURA 2. ACP e NDVI da sub-bacia do Rio Maranhão (2001-2009). Fonte: NASA (2001, 2009 e 2019).



A correlação dos dados limnológicos com as classificações, foi feita por Correlação Linear de Pearson no software RStudio, método que permite a mensuração da direção e do grau de relação linear entre pares de variáveis quantitativas (FILHO e JUNIOR, 2009). Para compreender o grau de correlação entre as variáveis, foram utilizados os graus de magnitude de correlação, elaborado por Cohen (1988). Os parâmetros limnológicos utilizados (TAB. 1), disponibilizados pelo IGAM (2020), foram correlacionados às porcentagens das classes com maior potencial de emissão de tais efluentes na área de estudo, sendo elas áreas de mineração, de pastagem/solo exposto, edificadas e de vegetação densa, sendo a última utilizada para compreensão da evolução do desmatamento.

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

TABELA 1. Evolução dos parâmetros de monitoramento limnológico, na sub-bacia do Rio Maranhão. Adaptado de: IGAM (2020) e GERAIS (2008).

Parâmetros físico-químicos	Ano		
	2001	2009	2019
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,23	0,24	0,26
Fósforo total (mg/L)	0,10	0,27	0,40
Nitrato (mg/L)	2,46	1,34	5,81
Nitrito (mg/L)	0,68	0,23	0,92
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,40	6,50	6,50
Turbidez (NTU)	8,73	13,40	9,02
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	1,10	0,81	0,91

Legenda:
■ Quantidade ≤ ao limite permitido à corpos hídricos enquadrados na Classe 2
■ Quantidade ≥ ao limite permitido à corpos hídricos enquadrados na Classe 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classificações (FIG. 3), indicam um aumento de áreas edificadas, áreas impermeáveis, áreas de pastagem/solo exposto, de mineração, e de corpo hídrico, enquanto há a diminuição de áreas de fragmento rochoso, de vegetação densa e de vegetação esparsa. A Tabela 2 quantifica, em porcentagem, a extensão de cada classe de uso e ocupação do solo na sub-bacia.

FIGURA 3. Mapa de evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Maranhão. Adaptado de: NASA (2001, 2009 e 2019)

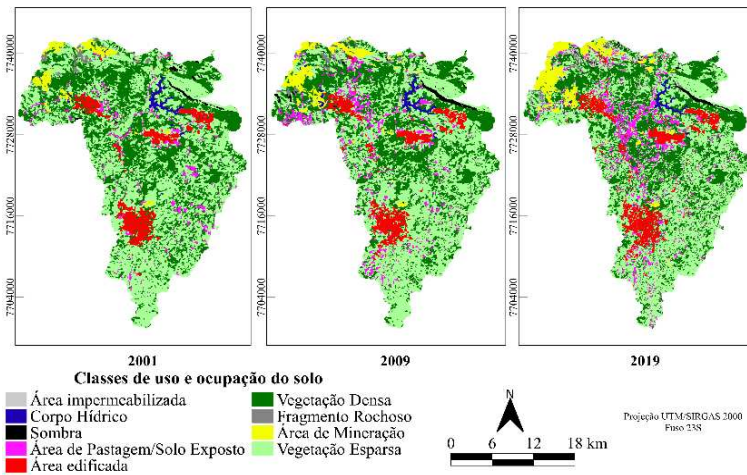


TABELA 2. Porcentagem da extensão dos tipos de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Maranhão. Adaptado de: NASA (2001, 2009 e 2019)

Classe	Ano		
	2001	2009	2019
Área impermeável	0,24%	0,35%	0,41%
Água	0,82%	0,86%	0,88%
Sombra	0,71%	0,95%	0,94%
Área de Pastagem/Solo exposto	3,38%	5,94%	7,91%
Área edificada	5,58%	5,92%	6,84%
Vegetação Densa	34,81%	32,27%	31,46%
Rocha	1,07%	1,04%	0,81%
Área de Mineração	2,23%	3,44%	4,63%
Vegetação esparsa	51,12%	49,25%	46,12%
Total	100%	100%	100%

Os padrões de produção e consumo da população são determinantes no quanto os recursos naturais serão degradados em áreas urbanas (MARTINE, 2007). Portanto, buscar a correlação entre o aumento de áreas edificadas com parâmetros limnológicos, pressupõe que o crescimento espacial destas áreas vem acompanhado de um padrão de produção próprio que degrada a bacia.

Verificou-se forte correlação (0,94) entre as áreas edificadas e os níveis de nitrato (mg/L), o que pode ser explicado, segundo Cronin *et al.* (2007) pela decomposição microbiana de nitrogênio orgânico, proveniente de matéria orgânica destas áreas. Apontou-se, também, uma forte correlação entre esta classe e os níveis de fósforo total (mg/L), igual a 0,94, e nitrogênio amoniacal total (mg/L),

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

com valor igual a 0,99, pela concentração destes em esgotos domésticos e industriais (MELLO *et al.*, 2020). Existiu, também, uma média correlação inversa (-0,45) entre as áreas edificadas e turbidez (NTU), pois, as áreas edificadas não modificam significativamente este parâmetro (*Ibid.*). Houve, com esta classe, correlação desprezível (0,08), com o parâmetro de nitrito (mg/L), e uma correlação inversa fraca (-0,12), com oxigênio dissolvido (mg/L), embora estes sejam fortemente afetados por atividades urbanas (*Ibid.*).

Mello *et al.* (2020), aponta que, mesmo com baixa dimensão percentual no espaço, a mineração causa grande impacto ambiental, contaminando rios pela emissão de metais pesados, o que pode ser percebido na bacia, já que os níveis de ferro dissolvido (mg/L) estão com valor máximo de correlação, igual a 1, com este tipo de uso e ocupação do solo, graças a presença de mineração de ferro. A média correlação inversa (-0,44) entre os níveis de oxigênio dissolvido (mg/L) e o aumento destas áreas, é explicado por um dos efeitos da adição de metais pesados nas águas ser o de diminuir este parâmetro (*Ibid.*). Já a fraca correlação inversa (-0,13) entre mineração e turbidez (NTU) apresenta que, na bacia, a mineração pouco modifica este parâmetro, apesar de um dos principais impactos da mineração ser o de aumento da turbidez (*Ibid.*). Na sub-bacia, a fraca correlação (-0,24) entre mineração e nitrito (mg/L) se dá por este parâmetro não ser modificado pela mineração (*Ibid.*).

A forte correlação entre a classe área de pastagem/solo exposto e os parâmetros de ferro dissolvido (mg/L), com valor igual a 0,95, fósforo total (mg/L), com valor igual 0,95, nitrato (mg/L), com valor 0,57, e nitrogênio amoniacal total (mg/L), com valor 0,75, pode representar a influência do uso de agrotóxicos e fertilizantes adicionados em áreas de pastagem (NORONHA *et al.*, 2010; MARMONTEL e RODRIGUES, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016). Já a forte correlação negativa (-0,52) entre esta classe e nitrito (mg/L), indica que o crescimento deste tipo de uso da terra está inversamente correlacionado, mesmo que o aumento das áreas de pastagem influencie no aumento de tal efluente (MELLO *et al.*, 2020). Já a forte correlação negativa (-0,69) entre esta classe e os níveis de oxigênio dissolvido (mg/L), se dá pelo fato de que o aumento de áreas de pastagem, antes áreas de vegetação nativa, é responsável por uma diminuição deste (*Ibid.*). Também é possível observar uma fraca correlação (0,17), entre os níveis de turbidez (NTU) e este tipo de uso e ocupação do solo, já que a perda de sedimento causa diminuição da transparência da água (*Ibid.*), verificando-se, na sub-bacia, um grau fraco, mas ainda existente, de impacto desta classe na turbidez.

Tendo a evolução do desmatamento como a diminuição da classe de vegetação densa, os efeitos deste processo sobre a mudança dos parâmetros limnológicos foram correlacionados, sendo que o aumento dos níveis de fósforo total (mg/L) e nitrogênio amoniacal total (mg/L) tiveram forte correlação negativa, respectivamente de -0,89 e -0,63, com o desmatamento, por florestas serem capazes de reter nutrientes do solo e da atmosfera (DESSIE e BREDEMEIER, 2013). O fato de o desmatamento estar intensamente correlacionado negativamente (-0,89), com os níveis de ferro dissolvido (mg/L), pode indicar que vegetação densa, na sub-bacia, também seja responsável por reter este elemento. A forte correlação (0,8) entre desmatamento e perda de oxigênio dissolvido (mg/L), já reconhecida (SILVA *et al.*, 2008), também foi verificada. Sabendo que os níveis de nitrito (mg/L) aumentam com o desmatamento em bacias hidrográficas (LOMBARDOZZI, 2003), a correlação entre ambos foi fortemente positiva, igual a 0,65. Ainda se verificou que existe correlação moderada inversa, entre os valores de nitrato (mg/L), com valor igual a -0,43, e turbidez (NTU), com valor -

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

0,33, mostrando que existe uma influência deste processo no controle destes parâmetros, mesmo não sendo forte, na SBRM.

As fortes correlações entre os níveis de fósforo total (mg/L), igual a 1, e nitrogênio amoniacal total (mg/L), igual a 0,91, e áreas de mineração, e entre ferro dissolvido (mg/L) e áreas edificadas, com valor 0,94, não condiz com as correlações estudadas, mostrando uma limitação da ferramenta estatística de Correlação Linear de Pearson, em que variáveis são correlacionadas por seus valores quantitativos, portanto, não por existir uma relação de causa-consequência.

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, propôs-se entender as relações entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água, na sub-bacia do Rio Maranhão, aplicando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, considerando as limitações da Correlação Linear de Pearson, e, entendendo que estas relações variam de acordo com cada sub-bacia. Espera-se que a metodologia proposta sirva como base para futuras aplicações na análise de outras sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, tendo em vista que pode aferir as causas de degradação das águas destas, como ferramenta de apoio à preservação e apreensão das mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

- AL-WASSAI, F. A.; KALYANKAR, N. V.; AL-ZUKY, A. A. The IHS transformations based image fusion. **International Journal of Advanced Research in Computer Science**, vol.2, n.5, p. 1-10, 2011.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da União, 1997.
- BRASIL, M. **Resolução CONAMA nº 20 de 1986**. Diário Oficial da União (da) República Federativa do Brasil, 1986.
- BRASIL, M. **Resolução CONAMA nº 357 de 2005**. Diário Oficial da União (da) República Federativa do Brasil, 2005.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1988.
- CRONIN, A. A.; HOADLEY, A. W.; GIBSON, J.; BRESLIN, N.; KOMOU, F. K.; HALDIN, L.; PEDLEY, S. Urbanisation effects on groundwater chemical quality: findings focusing on the nitrate problem from 2 African cities reliant on on-site sanitation. **Journal of Water and Health**, v. 5, n. 3, p. 441 – 454, 2007.
- DESSIE, A.; BREDEMEIER, M. The effect of deforestation on water quality: A case study in Cienda micro watershed, Leyte, Philippines. **Resources and Environment**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2013.
- EMBRAPA. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em 01 Set. 2020.
- FILHO, D. B. F.; JUNIOR, J. A. S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- GERAIS, M. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008**. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 2008.
- IBGE. **Malha municipal**, 2015. Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 21 Mai. 2020.
- IGAM. **Séries Históricas de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais**. Disponível em <<http://200.198.57.118:8080/handle/123456789/405>>. Acesso em 21 Mai, 2020.
- IGAM; GEF; PNUMA; OEA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do Rio São Francisco. Subprojeto 3.1 – Estudo de Viabilidade de Implementação de Agência de Bacia na Sub-bacia do Rio Maranhão – MG**. Resumo Executivo, Belo Horizonte, 2003.
- LOMBARDOZZI, D. The effects of deforestation on nutrient concentrations in tributaries of Lake Tanganyika. **Nyanza Annual Report**, 2003.

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

- MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.
- MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v.24, n.2, p. 181-190, 2007.
- MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D.F. dos; REBOITA, M.S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, edição especial dossiê climatologia de Minas Gerais, p. 129-156, 2018.
- MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 1-16, 2020.
- MIRANDA, E. E. de. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 Mai. 2020
- MORAES, R.; PFEIFFER, W.; TEIXEIRA, A. B. V. **Efeitos de Poluentes em Organismos Marinhos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001. 288p.
- NASA Landsat Program, **Landsat TM scene LT05_L1TP_218074_20010909_20161210_01_T1**. USGS, Sioux Falls, 2001.
- NASA Landsat Program, **Landsat TM scene LT05_L1TP_218074_20090729_20161027_01_T1**. USGS, Sioux Falls, 2009.
- NASA Landsat Program, **Landsat OLI scene LC08_L1TP_218074_20190725_20190801_01_T1**. USGS, Sioux Falls, 2019.
- NORONHA, N. C.; ANDRANDE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; COSTA, J. J. F. Disponibilidade do ferro em sistemas de recuperação de pastagens. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1-4, 2011.
- PIERONI, J.P.; BRANCO, K.G.R.; INACHVILI, I.; FERREIRA, G.C. Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub bacia hidrográfica do Córrego Água Limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de Pratápolis, Minas Gerais. **Revista Geociências**, Rio Claro, v.34, n.3, p. 402-410, 2015.
- RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p. 1703-1713, 2015.
- PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016.
- POHL, C.; VAN GENDEREN, J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.5, p 823-854, 1998.
- SILVA, A. C. A. B. **As águas do Rio São Francisco: disputas, conflitos e representações do mundo rural**. Unicamp, Campinas, SP. Dissertação (Doutorado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2017, 406p.
- SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.
- SOUZA, J. R. D.; MORAES, M. E. B. D.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.
- VOLOCHEN, V. Análise comparativa entre uso e ocupação do solo e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Palmital-PR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Curitiba, p. 6976, 2011.