

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta Tese
será disponibilizado somente a partir
de 29/03/2024

ADRIANO MARTINS JUNQUEIRA

Monitoramento espaço-temporal da vazão de rio por meio de técnica de sensoriamento remoto e implementação de uma plataforma de alerta para disponibilidade de água no Rio Araguaia (TO), Brasil.

Adriano Martins Junqueira

Monitoramento espaço-temporal da vazão de rio por meio de técnica de sensoriamento remoto e implementação de uma plataforma de alerta para disponibilidade de água no Rio Araguaia (TO), Brasil.

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Energia – Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri.

Co-orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões.

Guaratinguetá - SP
2022

J95m	<p>Junqueira, Adriano Martins</p> <p>Monitoramento espaço-temporal da vazão de rio por meio de técnica de sensoriamento remoto e implementação de uma plataforma de alerta para disponibilidade de água no Rio Araguaia (TO), Brasil / Adriano Martins Junqueira – Guaratinguetá, 2022.</p> <p>113 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 84-94</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões</p> <p>1. Correntes fluviais - Medição. 2. Sensoriamento remoto.</p> <p>3. Desenvolvimento sustentável. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 628.1(043)</p>
------	--

ADRIANO MARTINS JUNQUEIRA


ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSE ANTONIO PERRELLA BALESTIERI

Orientador - UNESP
participou por videoconferência


Prof. Dr. EYMAR SILVA SAMPAIO LOPES

INPE
participou por videoconferência


Prof. Dr. TATIANA SUSSELE GONÇALVES MENDES

UNESP - São José dos Campos
participou por videoconferência


Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS

UNESP
participou por videoconferência


Prof. Dr. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL

UNESP
participou por videoconferência

MARÇO de 2022

DADOS CURRICULARES

Adriano Martins Junqueira

NASCIMENTO	23.01.1973 - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP
FILIAÇÃO	Osmar Bustamante Junqueira Célia Martins Junqueira
1992/1996	Curso de Graduação Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
1997/1998	Curso de Pós-Graduação lato sensu em Administração Contábil e Financeira, na Fundação Armando Álvares Penteado.
2000/2001	Curso de Pós-Graduação lato sensu em Gerenciamento de Projetos, no Instituto de Educação Tecnológica.
2015/2017	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
2016/2016	Estágio pesquisa na <i>Browm University</i> , EUA, no <i>Spatial Studies in the Social Sciences (S4)</i> com orientação do professor Dr. John R. Logan
2018/Atual	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
2019/2020	Estágio de pesquisa na <i>University of Birmingham</i> , Inglaterra, no <i>Geography, Earth and Environmental Sciences</i> com orientação do professor Dr. David Hannah

de modo especial, dedico este trabalho àqueles muito próximos que cederam horas de nosso convívio para que fosse possível a realização deste trabalho, em especial à meus filhos Leonardo e Lucas, minha esposa Juliana, meus pais Osmar e Célia e minha irmã Cynthia. Que Deus os abençoe sempre.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus, por tantos momentos felizes. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri* que além de entusiasta e apoiador incondicional durante toda a jornada, esteve muito presente com paciência e cordialidade, fortaleceu minha pessoa, acreditou nas minhas aspirações e me proporcionou oportunidade de intercâmbio e estudo,

ao meu co-orientador, *Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões* que durante todo trajeto me ajudou com dedicação, compreensão e orientação,

à minha esposa *Juliana* a quem dedico este doutorado, que sempre me apoiou e incentivou para a realização de mais este passo,

aos meus filhos, *Leonardo e Lucas* a quem espero estar fortalecendo o exemplo de que sempre é dia para realizar,

aos meus pais *Osmar e Célia*, que contribuíram de maneira fundamental para a minha formação como pessoa, dão exemplos de ética, coragem e determinação e sempre incentivaram meus estudos,

à minha irmã *Cynthia* pelo carinho e inspiração à viajar pelo mundo,

aos professores e bibliotecários desta faculdade que de maneira dedicada dispensaram a sua atenção,

à todos os funcionários da Unesp e colegas da Pós Graduação com quem me relacionei, pelo respeito e acolhimento e, os quais dividiram momentos especiais durante os estudos,

às muitas sugestões, tempo e discussões dedicados em diferentes momentos desta jornada com Carlos Leite, Carlos Montovani, Daniel Teixeira, Diogo Duarte, Eymar Lopes, Feng Mao, Fábio Dantas, Herivelto dos Santos, Ricardo Haruki, Rogério Hein, Tatiana Mendes dentre muitos outros,

ao professor Dr. David Hannah pela oportunidade de intercâmbio na *University of Birmingham* e conhecimento transmitido junto à *School of Geography, Earth and Environmental Sciences*,

à SCCON Geospatial, em particular na pessoa dos meus amigos Iara Musse Felix, Murilo Oliveira, Vinicius Rissoli pelo apoio e incentivo constantes, além de possibilidade de uso da plataforma de monitoramento da SCCON, bem como à PLANET representados pelos amigos e conterrâneos Ricardo Guerra e Leonardo Machado pelo uso desta tecnologia de imagens *CubeSat*.

à Agência Nacional de Águas (ANA) por fornecer os dados fluviais no Brasil (estações convencionais e virtuais), à SCON Geospatial pelo uso da plataforma de monitoramento e a PLANET pelo acesso as imagens utilizadas nesta pesquisa.

à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa doutorado sanduiche (PDSE) processo número 88881.361975/2019-01 sendo parte do trabalho realizado na *University of Birmingham, UK*. Esta pesquisa também foi parcialmente financiada pela CAPES, código Financeiro 001.

à todos aqueles, que de maneira direta ou indireta, colaboraram para a realização desta tese.

Muito Obrigado!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - código financeiro 001.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

O fluxo do rio caracteriza a resposta integrada das bacias hidrográficas, sendo essencial sua quantificação para entender o ciclo de mudança da água e embasar uma gestão sustentável das águas. No entanto, as estações de medição de rios estão em declínio e as redes de observação terrestre vem diminuindo. Esta pesquisa propôs uma nova abordagem para estimar fluxos de rios usando a constelação de *CubeSats* Planet e técnicas de sensoriamento remoto, potencialmente gerando Estações Virtuais *CubeSat* (CVS) de monitoramento de vazão do rio. Além disso, a pesquisa implementou uma plataforma de alerta para disponibilidade de água para a agricultura. A área de estudo para testes dos métodos propostos foi uma sub bacia do Rio Araguaia, localizada no estado do Tocantins, que vem apresentando problemas de escassez hídrica dentro do bioma cerrado. A tese foi dividida em 2 etapas: A) determinação da relação de equivalência entre a vazão do rio e a área dos corpos d'água extraída por imagens de satélite; B) implementação de uma plataforma de alerta para disponibilidade de água para agricultura com imagens de *CubeSats* Planet. Foram encontradas correlações significativas entre as áreas dos corpos d'água com a estação virtual *JASON* (JVS) ($R^2=88,83\%$) e a estação convencional (CS) ($R^2=96,49\%$), indicando que as imagens do *CubeSat* podem ser utilizadas na CVS para estimar a vazão do rio. A implementação da plataforma de alerta de disponibilidade de água para agricultura demonstrou amplo potencial para incorporação de indicadores globais relacionados a questões de sustentabilidade, ações de conscientização e informação para as comunidades, revelando-se promissora na antecipação de situações de escassez hídrica da região e fomentando o engajamento de diferentes atores quanto à qualidade da vazão de rios. Tem-se como ambição que esta pesquisa venha a ser replicada, podendo melhorar a gestão da água e ser utilizado no apoio à agricultura, particularmente em países onde a presença de estações convencionais é frequentemente limitada devido aos custos associados de instalação, manutenção e operação.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão de rio. Sensoriamento remoto com dados espaço-temporal. Segurança hídrica. Nexos alimento-energia-água-uso do solo-clima. *CubeSat*. Sistemas Aeroespaciais.

ABSTRACT

River flow characterizes the integrated response from watersheds, so its quantification is essential to understand the water change cycle and underpin the sustainable management of freshwaters. However, river gauging stations are in decline with ground-based observation networks shrinking. This project proposed a new approach to estimate river flows using the Planet CubeSats constellation and remote sensing techniques, potentially generating CubeSat Virtual river flow monitoring Stations (CVS). In addition, the study implemented a water availability alert platform for agriculture. The study area used for testing the proposed methods was a sub basin of the Araguaia River, located in the state of Tocantins, which has been experiencing water scarcity problems within the cerrado biome. The project was divided into 2 stages: A) determination of the equivalence relationship between the river flow and the water body areas extracted by satellite images; B) implementation of an alert platform for water availability for agriculture with CubeSat Planet images. Significant correlations between the water bodies areas with JASON Virtual Station (JVS) ($R^2=88.83\%$) and Conventional Station (CS) ($R^2=96.49\%$) were found, indicating that CubeSat images can be used in CVS to estimate river flow. The implementation of the water availability alert platform for agriculture showed wide potential for the incorporation of global indicators related to sustainability issues, awareness and information actions for communities, proving to be promising in anticipating water scarcity situations in the region and encouraging the engagement of different actors regarding the quality of river flow. The ambition is that this project will be replicated, which can improve water management and be used to support agriculture, particularly in countries where the presence of conventional stations is often limited due to the associated costs of installation, maintenance and operation.

KEYWORDS: River flow. Remote sensing with spatio-temporal data. Water security. Nexus food-energy-water-land use-climate. CubeSat. Aerospace Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípios do sensoriamento remoto óptico com as etapas do processo de aquisição e distribuição de imagens	28
Figura 2 – Lançamentos de <i>Cubesats</i> até final de 2021 e previsões de lançamentos até 2025	31
Figura 3 - Segmentos dos sistemas espaciais	32
Figura 4 - Irradiação solar por comprimento de onda no topo da atmosfera e na superfície da Terra.....	35
Figura 5a - Espectro eletromagnético e a separação de bandas espectrais de diferentes satélites ópticos (Planet, Sentinel e Landsat)	36
Figura 5b - Espectro eletromagnético e a separação de bandas espectrais de diferentes satélites ópticos (Spot, CBERS e Resourcesat).....	50
Figura 6 - Concepção geral da plataforma SCCON - Detalhamento dos principais blocos funcionais de processamento das informações e do banco de dados (armazenamento de informações relevantes tais como configurações, resultados e histórico de acessos), existentes na estrutura de <i>back-end</i> . Destacam-se também, no <i>front-end</i> , a interface gráfica (mapas e tabelas) e de alertas utilizadas pelos usuários e configurada conforme fluxo de trabalho. A menção ao Oracle cloud busca representar o local virtual onde a plataforma pode ser instalada (ambiente seguro e escalável); a menção à Planet visa demonstrar a capacidade de buscar dados externos em outros ambientes de nuvens configurados pelo serviço de coleta (no caso desta pesquisa imagens Planet <i>CubeSat</i>); e a nuvem entre os ambientes de <i>back-end</i> e <i>front-end</i> representando o acesso da informação por internet, tornando a informação acessível por diferentes navegadores (<i>browsers</i>) e em diferentes tamanho de telas. As setas buscam demonstrar os pontos de entrada e/ou saída de conteúdo.....	39
Figura 7– Área de Estudo - Área da Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia, sua drenagem principal e as divisões geopolíticas estaduais. A área destacada em amarelo ilustra a sub bacia que engloba a região mais afetada por eventos de escassez hídrica e na qual estão localizadas as estações, convencional e virtual, usadas como referência para desenvolvimento de novo método para monitoramento.....	43
Figura 8 – Diagrama esquemático de hidroelétricas da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia com referência de vazão regularizada com 100% de garantia em pontos ao longo do Rio Tocantins.	43
Figura 9 – Localização da Estações de Referência. (A) Ampliação sobre o Rio Araguaia (centro) destacando a órbita de passagem do <i>JASON-2</i> (vermelho) sobre a drenagem superficial (azul),	

e a Estação Convencional (CS) usada como verdade terrestre (ponto rosa). A região onde ocorre a passagem do *JASON-2* sobre o Rio Araguaia é a Estação Virtual (*JVS*) distante 78 km de CS e, região utilizada para download das imagens Planet *CubeSat*; (B) Ampliação sobre o *JVS* (ponto vermelho) no Rio Araguaia (linha azul) com as 4 áreas de *buffer* utilizadas na metodologia (50 m - cinza; 250 m - amarelo; 500 m - laranja; 1000 m - vermelho). Ao fundo é apresentada a imagem PlanetScope *Surface Reflectance* (PS RS) adquirida pelo *CubeSat* da Planet do dia 20 de julho de 2018 apresentada com 50% de transparência e sobreposta pelo traçado do *JASON-2* (linha tracejada vermelha).45

Figura 10 –Fluxo metodológico usando imagens *CubeSat* para estimar a vazão do rio. A primeira fase é usada para reunir informações de referência para apoiar as curvas-chave. Na segunda fase são preparadas as áreas de *buffer* específicas e são selecionadas as imagens *CubeSat* para investigar a correlação entre a extensão da área inundada e o fluxo do rio. A terceira fase é usada para pré-processar as imagens selecionadas do *CubeSat* com classificação de pixels (água / não-água) com base em valores *NDVI*. Na quarta fase são calculadas as áreas inundadas para cada imagem. A última fase compreende a avaliação a análise de regressão comparando com os dados de referência (CS – Fluxo do rio; CS - Nível da água; *JVS* - Altimetria).46

Figura 11 –Fluxo metodológico proposto para implementação da plataforma de alerta – Etapa B. A primeira fase é a instalação do ambiente em nuvem, da plataforma SCCON e configuração da chave de acesso às imagens. Na segunda é estabelecido o local da Estação Virtual *CubeSat* e definição de período de monitoramento. A terceira fase é usada para entrada de dados dinâmicos, critérios para pré-seleção das imagens e estabelecimento do encadeamento dos processamentos. Na quarta fase é calculada a vazão do rio sobre cada imagem selecionada na fase anterior. A última fase compreende a geração dos alertas, auditoria e notificação dos usuários (gestores e agricultores cadastrados). 50

Figura 12 - Estrutura de relacionamento das tabelas, variáveis e tipos de informações51

Figura 13 - Avaliação dos dados de referência. (a) Relação entre o nível do rio (eixo x) e vazão do rio (eixo y) medidos por CS na estação de São Félix do Araguaia / MT para o período de análises (janeiro a julho/2018). A curva azul representa a equação exponencial ($y = 0,0026x^{2,1978}$) que demonstrar estar bem ajustada com $R^2 = 1$. (b) Relação entre a altitude (eixo x) calculadas pela *JVS* e as cotas no nível da água (eixo y) medidos pelo CS. A curva azul representa a equação linear ($y = 128,65x - 22585$) com $R^2 = 0,8501$. Em ambas as figuras, os círculos azuis sólidos representam valores correlacionados com intervalo de 10 dias.57

Figura 14 - Curvas de regressão referente ao cruzamento de 3 estações de referências e 4 tamanhos diferentes de <i>buffer</i>	60
Figura 15 - Relação entre R^2 (eixo x) e os quatro tamanhos de <i>buffer</i> (eixo y) em relação ao ajuste das curvas para os três conjuntos de dados de referência (<i>CS</i> - vazão e nível de água e <i>JVS</i> - altimetria).....	61
Figura 16 - Curva de permanência de vazão do Rio Araguaia entre 1974 e 2019	63
Figura 17 - Curvas de regressão para vazão do rio (Q_e) em relação à área inundada extraída de imagens <i>CubeSat</i>	64
Figura 18 - Curvas de regressão para cota (Le) do rio em relação à área inundada extraída de imagens <i>CubeSat</i>	64
Figura 19 - Tela inicial para acesso à plataforma de alerta	65
Figura 20 - Tela inicial com apresentação de resultados em formato de mapa.....	65
Figura 21 - Representação das 3 classes de alertas (verde, amarelo e vermelho) em função da vazão detectada e respectivo aumento de senso de urgência.....	66
Figura 22 - Ferramentas complementares para apoio ao usuário	67
Figura 23 - Tela de gráficos (Q_e , A_e) com resultados para todo o período na estação selecionada	67
Figura 24 - Gráficos (Le) com resultados para todo o período exportado em formato de figura	68
Figura 25 - Demonstração da interatividade no gráfico de vazão (seleção de período) e destaque na informação do dia 03/06/2018	69
Figura 26 – Simulação de resultados de vazões da plataforma sem processo de controle de presença de nuvens e sem implementação do processo de auditoria	70
Figura 27 - Exemplo de dias que foram eliminados pelo processo de auditoria	70
Figura 28 – Exemplo de e-mail de notificação do alerta.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhe das medições relacionadas a <i>JVS</i> , <i>CS</i> e imagens de satélite usadas no período de análise para estimativas de vazão do rio.	58
Tabela 2 - Área inundada calculada nas imagens <i>CubeSat</i> dentro dos <i>buffers</i> para valores de pixel com NDVI menor que 0,15.	59
Tabela 3 – Dias com imagens processadas por ano e instrumentos sensores entre 2017 e 2021	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perguntas centrais com análises baseadas em SIG.....	27
Quadro 2 - Sinergias do <i>New Space</i> relacionadas ao estado da arte da indústria de satélites ..	32
Quadro 3 - Regimes de vazões mínimas para garantia de adequadas de habitats e formas de vidas aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGH	<i>At-station Hydraulic Geometry</i>	Geometria hidráulica da estação
AMGH	<i>At-many station Hydraulic Geometry</i>	Geometria hidráulica de múltiplas estações
ANA	<i>National water agency (Brazil)</i>	Agência Nacional de Águas (Brasil)
CS	<i>(fluviometric) Conventional Station</i>	Estação (fluviométrica) convencional
CubeSat	<i>Square-shaped miniature satellite</i>	Satélite em miniatura em forma quadrada (cubos de Rubik – 10 cm x 10 cm x 10 cm) (de 1 a 24 cubos)
CVS	<i>CubeSat Virtual Station</i>	Estação Virtual <i>CubeSat</i>
DN	<i>Digital Number</i>	Número digital
ETL	<i>Extract-Transform-Load</i>	Extrair-transformar-carregar
ESA	<i>European Space Agency</i>	Agência espacial europeia
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>	Ambiental, social e governança
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>	Protocolo de transferência de arquivos
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>	Distância de amostra do solo
GUI	<i>Graphic User Interface</i>	Interface gráfica de usuário
IoT	<i>Internet of Things</i>	Internet das coisas
IR	<i>InfraRed</i>	Infra-vermelho
IRD	<i>National Research Institute for Sustainable Development (France)</i>	Instituto nacional de pesquisa para o desenvolvimento sustentável (França)
JASON	<i>Joint Altimetry Satellite Oceanography Network</i>	Rede oceanográfica conjunta de Altimetria por satélite
JVS	<i>JASON Virtual Station</i>	Estação virtual JASON
MDE	<i>Digital Elevation Model</i>	Modelo Digital de Elevação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>	Administração nacional Aeronáutica e espacial
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	Índice de vegetação por diferença normalizada
ODS	<i>Sustainable Development Goals</i>	Objetivos do desenvolvimento sustentável
ONU	<i>United nations</i>	Organização das Nações Unidas
OSM	<i>Open Street Map</i>	Projeto de mapeamento colaborativo do mundo (mapa livre e editável)
PLANET	<i>Planet Labs Inc.</i>	Empresa Planet Labs
PNSH	<i>National water security plan</i>	Plano Nacional de Segurança Hídrica
SIG	<i>Geographic information system</i>	Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS	<i>Geocentric reference system for the Americas</i>	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>	Arquitetura orientada à serviços
SR	<i>Remote sensing</i>	Sensoriamento Remoto
SWIR	<i>Short-Wave InfraRed</i>	Infravermelho de ondas curtas
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>	Erro médio quadrático
RS	<i>Surface reflectance</i>	Reflectância de Superfície
TerraMA ²	<i>Platform for early warning systems</i>	Plataforma para sistemas de alerta precoce
TOA	<i>Top of Atmosphere</i>	Topo da atmosfera
WCS	<i>Web Coverage Service</i>	Serviços de cobertura da <i>Web</i> (bases geográficas raster)
WFS	<i>Web Feature Service</i>	Serviços de recursos da <i>Web</i> (bases geográficas vetoriais com atributos)
WGS84	<i>World Geodetic System</i>	Sistema geodésico mundial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVO GERAL.....	22
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3	CONTRIBUIÇÃO DA TESE.....	22
1.4	ESTRUTURA DA TESE.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	VAZÃO	24
2.2	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) E SENSORIAMENTO REMOTO (SR).....	26
2.2.1	CubeSats.....	30
2.2.2	Plataforma de Monitoramento	38
3	MATERIAL E MÉTODO	41
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.2	ETAPA A - DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE EQUIVALÊNCIA ENTRE A VAZÃO DO RIO E ÁREA DOS CORPOS HÍDRICOS USANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL ..	44
3.2.1	Método para estimar fluxos de rio usando imagens Planet <i>CubeSat</i>.....	46
3.3	ETAPA B – IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE ALERTA PARA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA A AGRICULTURA USANDO IMAGENS <i>CUBESAT</i>	48
3.3.1	Método para operacionalizar a plataforma de alerta para disponibilidade de água	48
3.3.2	Cálculo de indicadores relacionados à vazão do rio.....	53
4	RESULTADOS	57
4.1	RESULTADOS DA ETAPA A	57
4.2	RESULTADOS DA ETAPA B	62
5	DISCUSSÃO	73
5.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA A	73
5.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA B.....	77
6	CONCLUSÕES.....	82
6.1	SUGESTÃO DE PESQUISAS FUTURAS	82
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICE A	95
	APÊNDICE B.....	96
	APÊNDICE C	97
	APÊNDICE D	99
	APÊNDICE E.....	100

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a expansão da fronteira agrícola acentuou-se significativamente nos últimos vinte anos, sendo o cerrado um dos biomas com maior produção e exportação agropecuária do mundo (BRASIL, 2014; BRASIL, 2015a; CHO *et al.*, 2021). Esta expansão tem sido acompanhada por grandes degradações do bioma e impactos ambientais em fontes de água. Embora os impactos ambientais tenham sido muito maiores no cerrado do que nas florestas tropicais, o cerrado tem recebido pouca atenção internacional. Mais de 60% da área do cerrado foi transformada com o desmatamento e expansão das fronteiras agrícolas. Nenhum outro bioma do mundo foi destruído tão rapidamente ao longo da história humana (LATRUBESSE *et al.*, 2009; OLIVEIRA; GOMES DA SILVA; CAMPOS FILHO, 2021). Dentro deste cenário de alterações dramáticas, a região do Rio Araguaia, que concentra uma das principais drenagens do cerrado, requer monitoramento constante.

Planejar o uso deste território de forma sustentável por meio do monitoramento e orientação do uso da terra, convergindo e aperfeiçoando potenciais produtivos com inclusão social e eficiência na conservação dos ecossistemas, é de fundamental importância para economia do século XXI e nos últimos anos tem se tornado mais populares pelo uso da sigla em inglês *ESG (Environmental, Social and Governance)* (GARCIA; MENDES-DA-SILVA; ORSATO, 2017; PATTERSON *et al.*, 2022).

O clima, alimento, energia, água e o uso da terra estão inexoravelmente interligados por meio de um processo denominado *nexo* (BYERS, 2015; MIRALLES-WILHELM, 2016; ZHANG; VESSELINOV, 2017) e requerem ferramentas de modelagem integradas cobrindo certas escalas espaciais e temporais e a aplicação de diferentes relacionamentos matemáticos (MANNSCHATZ; WOLF; HÜLSMANN, 2016), pois ao se pressionar uma parte do “nexo” pode-se criar pressões sobre os outros e o gerenciamento é fundamental para garantir o uso eficiente de recursos naturais escassos.

No cerrado brasileiro, algumas áreas já vêm sofrendo, na prática, *desequilíbrio ambiental* (INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS, 2017; CHO *et al.*, 2021; PATTERSON *et al.*, 2022) e uma peça chave na sustentabilidade e reequilíbrio do *nexo* água-energia-alimento-uso-do-solo-clima é garantir que os métodos de melhores práticas e as abordagens sejam implementadas no planejamento e na tomada de decisões (BYERS, 2015). Isso gera a necessidade de aumentar a conscientização, ampliar a capacidade de uso de dados interdisciplinares e modelagem matemática para o planejamento integrado, identificação de

pontos de alerta para avaliação de escolhas (*trade-offs*) e sinergias no desenvolvimento de soluções (MIRALLES-WILHELM, 2016).

Estes pontos de alerta para escolhas e o desenvolvimento de soluções, são convergentes com uma estrutura de aprendizagem coletiva proposta por Heikkila e Gerlak (2013) no estabelecimento de políticas onde uma “arena de aprendizagem” permite que informações sejam adquiridas das mais diversas perspectivas como contextos coletivos que envolvem estrutura das instituições, dinâmica social e domínios tecnológicos e funcionais; se relacionando com processos de aprendizagem coletiva, responsável por adquirir, transformar e disseminar informações (função que pode ser desempenhada por uma plataforma de monitoramento); e com processos de aprendizagem individual e além de fatores exógenos (mudanças políticas, sociais e econômicas), gerando assim, produtos de aprendizagem coletiva tanto cognitivos (crenças e valores) como comportamentais (diretrizes e estratégias) para influenciarem e transformarem configurações coletivas tais como normas, regulamentações e leis. Isso tudo, acaba se tornando um ciclo, e que nos dias de hoje, visam apoiar o desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável.

No Brasil, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) são os instrumentos que visam assegurar a disponibilidade da água. Porém, não existe uma plataforma de alerta capaz de apoiar a agricultura por meio da geração de alertas de disponibilidade de água em diversas sub bacias, de modo que possam identificar influências mais amplas e impactos intersetoriais precocemente, com capacidade de gerar informações confiáveis, precisas, oportunas e sustentáveis.

Assim, tornam-se necessários estudos capazes de desenvolver uma metodologia que amplie a capacidade de informações precisas e oportunas com uso de tecnologia de Sensoriamento Remoto (SR) (SMITH, L. C. ; PAVELSKY, 2008; GLEASON, C. J.; SMITH; LEE, 2014; SICHANGI *et al.*, 2016;) para apoiar os agricultores, especialmente relacionadas à disponibilidade de água de forma simples e intuitiva.

O avanço tecnológico das últimas décadas favoreceu o desenvolvimento de vários satélites de monitoramento terrestre-ambiental, os quais possibilitam em escala global, regional ou local, a coleta de dados (quantitativos e qualitativos) sobre o grau de alteração do meio ambiente (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Este tipo de informação, baseada em SR, permite uma compreensão continuada e mais ampla da disponibilidade de água com fortes implicações para gerenciamento de recursos hídricos, segurança agrícola, estudos de ecossistemas e geopolítica (GLEASON, C. J.; SMITH, 2014).

Como área proposta para esta pesquisa, foi selecionada a sub bacia do Araguaia, dentro do estado do Tocantins, uma vez que devido à forte expansão da agricultura intensiva, impactos das mudanças climáticas e outras características, a região vem sofrendo grave degradação ambiental com risco para o abastecimento humano e dessedentação animal (INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS, 2017; LAURIS, 2019). Desta forma, essa tese busca abranger o desenvolvimento de princípios, algoritmos e formulação de modelos para apoiar no entendimento e avaliação de método alternativo para criação de estações virtuais de medição de vazão e auxiliar na implementação de abordagens nexos, por intermédio de uma perspectiva de uma plataforma de alertas para a vazão de rios em relação à disponibilidade de água, com uso de imagens de satélite de alta temporalidade e resolução espacial.

Essa pesquisa aborda questões de importância global destacados pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030 para proteger o planeta centrado no objetivo do desenvolvimento sustentável 6 (ODS 6) (assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água) mas por ser um estudo multidisciplinar inclui pontos de interface com os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), ODS 12 (produção e consumo responsáveis), ODS 13 (mudanças climáticas), ODS 14 e 15 (conservação da biodiversidade, respectivamente vida na aquática e na terrestre) e ODS 17 (cooperação) com o desenvolvimento sustentável, sendo portanto mais uma contribuição para uma oportunidade histórica de ajudar a garantir um planeta mais próspero.

Esta abordagem multidisciplinar permite, ainda, o uso de técnicas de geovisualização para melhor compreensão da realidade da área de estudo, oferecendo capacidade de replicação e maior apoio na formulação de políticas com vistas ao equilíbrio e sustentabilidade.

6 CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um método para estimativa de vazão de rio semiautomático usando dados do *CubeSat* Planet para detectar mudanças na superfície da área de inundação, usando o Rio Araguaia como banco de ensaio. O CVS proposto mostrou uma alta correlação com a descarga do rio e o nível de água da estação *in situ*. Na etapa seguinte desta pesquisa, a automatização de método criado pelo desenvolvimento de um sistema de monitoramento e alerta em tempo real demonstrou um amplo potencial para incorporação de indicadores globais relacionados a questões de sustentabilidade, ampliando a visibilidade para avaliações relacionadas aonexo água-energia-alimento-uso do solo-clima com a possibilidade de padronizações e comparações de resultados.

Os métodos propostos podem complementar informações para preencher lacunas na série de vazões diárias, entretanto mostra-se ainda mais importante para ações de conscientização e informação das comunidades, permitindo o engajamento de diferentes atores através da geração de alertas relacionados à qualidade da vazão de rios.

Para a agricultura, este trabalho se revela promissor ao poder antecipar situações de escassez na região (alertas podem ser configurados e disparados comparando com resultados em períodos equivalentes de anos anteriores), além da possibilidade de avaliar diferentes contribuições fluviais na sub bacia (ao se implementar diversas CVS ao longo de uma bacia).

Em relação aos desafios de nossa sociedade, este trabalho endereçou pontos voltados para assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água (ODS 6), a contribuição para criação de cidades e comunidades mais sustentáveis (ODS 11) e com geração de maior conscientização da produção e consumo responsáveis (ODS 12), fortificando ações contra as mudanças climáticas (ODS 13) e na conservação da biodiversidade (ODS 14, 15), além de cooperar para o desenvolvimento sustentável (ODS 17) na região onde é implementada uma vez que, endereça mecanismos de gestão da segurança hídrica.

6.1 SUGESTÃO DE PESQUISAS FUTURAS

A partir dos resultados desta tese e dos tópicos estudados, foi possível vislumbrar muitas outras possibilidades de pesquisas, tanto relacionado ao aprimoramento do uso de imagens de satélite *CubeSat* (exploração de outras grandezas relacionadas a um determinado rio ou sub bacia), aplicação de técnicas de redes neurais artificiais (RNA), interação entre as imagens *CubeSat* com outros sensores orbitais (óptico, radar, multiespectral, térmico, dentre outros) e

diferentes sensores *IoT* integrados ao campo. Além disso, vislumbra-se que esta plataforma pode ser ampliada de forma multidisciplinar em diferentes aplicações, gerando conhecimento e rastreabilidade, principalmente em um momento que a sociedade se encontra ávida por informações oportunas, precisas e que gerem transparência para avaliação de questões não financeiras, as quais hoje vem sendo discutidas e demandadas através do conceito de *ESG*.

A possibilidade de uso de grande quantidade de informações apoiada por plataformas tecnológicas nas mais diversas aplicações pode permitir que o conteúdo gerado fomente diferentes perguntas exploratórias, possa ser adaptado a diferentes regiões geográficas e utilizado para educação ambiental na demonstração de situações de vazão do rio e do consumo de água. Alguns dos temas que podem ser desenvolvidos, em complemento à pesquisa realizada, poderiam ser: aplicações com relações de outras bandas dos satélites Planet *CubeSat* e a fusão de dados entre diferentes sensores orbitais; para pesquisas diretamente relacionadas com SR.

Nas pesquisas aplicadas para engenharia hidrológica/hidráulica observamos a possibilidade de gradativamente implementar novas relações/modelagens para ampliar capacidade de gestão de volume, vazão e qualidade de água buscando alcançar relações com conservação e proteção ambiental, quando associados à outras informações, tais como temperatura, uso do solo, fauna e flora, além de pesquisas associadas ao uso de estações virtuais para entendimento de questões relacionadas à diluição de esgoto e simulação de processos de transporte de sedimentos.

Como uma interface multidisciplinar para estudos de parâmetros físicos, químico e biológicos aplicados em pesquisas junto a engenharia ambiental, pode-se desenvolver novas interfaces para a plataforma de alerta voltada ao estudo de diferentes índices de qualidade de água (clorofila, sólidos em suspensão, macrófitas, dentre outras); acompanhamento e investigação de variação de condições físico-químicas; desenvolvimento de simulações de micro-habitat físico; além de suportar o desenvolvimento de indicadores ESG.

Alguns dos desdobramentos e pesquisas que podem ser planejados e implementados a partir do uso de tecnologias *CubeSat* e plataformas geospaciais escaláveis, como os demonstrados neste trabalho, permite imaginar muitas outras situações práticas necessárias aos formuladores de políticas públicas e a para a sociedade tais como: identificação de condições de navegabilidade (presença de bancos de areia), avaliação impacto de expansão de culturas (por exemplo arroz irrigado no Tocantins) em relação a oferta hídrica e na simulação de valor econômico para o uso de água aprimorando formas de cobrança direta e por rateio, dentre outros temas com o uso intenso destas tecnologias e de ciência de dados.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, R. **Um modelo biosfera-hidrosfera para a bacia do Tocantins-Araguaia**. 2007 Dissertação. Mestrado em 2007 - Universidade de São Paulo - São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacoestestes/um-modelo-biosfera-hidrosfera-para-bacia-do-tocantins-arag>. Acesso em: 14 fev. 2020.

AHMAD, W.; KIM, D. Estimation of flow in various sizes of streams using the Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) data in Han River Basin, Korea. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Seoul, v. 83, n. Jan, p. 101930, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101930>. Acesso em: 25 jul. 2020.

ALSDORF, D. E.; RODRÍGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. **Reviews of Geophysics**, Switzerland, v. 45, n. 2, p. 1–24, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006rg000197>. Acesso em: 14 nov. 2018.

ANH, D. T. L.; AIRES, F. River discharge estimation based on satellite water extent and topography: an application over the Amazon. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 20, n. 9, p. 1851–1866, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/jhm-d-18-0206.1>. Acesso em: 21 maio 2020.

ASHRAF, M.; NAWAZ, R. A comparison of change detection analyses using different band algebras for Baraila wetland with Nasa's multi-temporal Landsat dataset. **Journal of Geographic Information System**, Wuhan, v. 7, n. 7, p. 1–19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.71001>. Acesso em: 22 maio 2020.

AYOADE, J. A. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4.ed. Rio de Janeiro/RJ: Editora Bertrand Brasil Ltda., 1996. *E-book*. Acesso em: 13 maio 2019.

BAHADUR, R.; SAMUELS, W. B. Application of remote sensing and satellite imagery for hydrologic modeling. **Environmental & Water Resources Institute**, Reston, p. 5, 2013. Disponível em: http://message.asce.org/lp=205?utm_campaign=ewri-20130429-ewri+currents+spring+2013&utm_medium=email. Acesso em: 23 abr. 2019.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos**. São Jose dos Campos/SP: LabISA - INPE, 2019. *E-book*. Acesso em: 18 jun. 2021.

BARBOSA, H. A. *et al.* A step beyond visualization: how to ingest Meteosat second generation satellite data and products into McIDAS-V, ILWIS e TerraMA 2. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 4, n. 1, p. 1–15, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2237-2202.20140001>. Acesso em: 11 abr. 2020.

BEZERRA, N. R. **Metodologia para definição de vazões mínimas garantidas em cursos d'água**. Dissertação. Mestrado em Dez. 2001 - Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2001. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/dissertacoes/metodologias-para-definicao-de-vazoes-minimas-garantidas-em-cursos-dagua>. Acesso em: 11 out. 2021.

BJERKLIE, D. M. *et al.* Estimating discharge in rivers using remotely sensed hydraulic information. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 309, p. 191–209, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.022>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BJERKLIE, D. M. *et al.* Evaluating the potential for measuring river discharge from space. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 278, p. 17–38, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00129-x](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00129-x). Acesso em: 17 jul. 2019.

BJERKLIE, D. M. *et al.* Satellite remote sensing estimation of river discharge: application to the Yukon River Alaska. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 561, n. Mar. 2017, p. 1000–1018, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.005>. Acesso em: 03 abr. 2020.

BOGNING, S. *et al.* Monitoring water levels and discharges using radar altimetry in an ungauged river basin: The case of the Ogooué. **Remote Sensing**, Basel, v. 10, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10020350>. Acesso em: 16 abr. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília/DF: Agência Nacional de Águas, 2015a. Disponível em: http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf/view. Acesso em: 14 fev. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Inventário das estações fluviométricas**. 2.ed. Brasília/DF: Agência Nacional de Águas, 2009. Acesso em: 14 mar. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano nacional de segurança hídrica**. Brasília/DF: Agência Nacional de Águas, 2019. *E-book*. Acesso em: 05 maio 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). Sistemas de informação na gestão de águas: conhecer para decidir. **Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília/DF: Agência Nacional de Águas, 2016. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/120>. Acesso em: 12 ago. 2018.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Embrapa mapeia degradação das pastagens do cerrado**. Brasília/DF: Embrapa Cerrado, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerrado>. Acesso em: 21 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Cubesats**. Brasília/DF: Ministério da Ciência, Tecnologia Inovações e Comunicações, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264290716-2-pt>. Acesso em: 28 ago. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MMA). **Mapeamento do uso e cobertura do cerrado: projeto TerraClass cerrado**. Brasília/DF: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/IBAMA, 2015b. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/metodologia_tccerrado_2013.pdf. Acesso em: 18 set. 2017.

BRYCETECH. **State of the satellite industry report**. Alexandria/VA: Brycotech, 2021. Disponível em: https://brycotech.com/reports/report-documents/SIA_SSIR_2021.pdf. Acesso em: 02 jan. 2022.

BYERS, E. A. Tools for tackling the water-energy-food nexus. **Change Adaptation Socioecol. Syst**, [s. l.], v. 2, p. 109–111, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/cass-2015-0019>. Acesso em: 03 jun. 2018.

CALIFORNIA POLYTECHNIC STATE. **Cubesat design specification**: revision 14. The CubeSat program. San Luis Obispo/CA: Cal Poly SLO, p. 34, 2020. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/5f24997b6deea10cc52bb016/1596234122437/CDS+REV14+2020-07-31+DRAFT.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

CHACÓN, J. *et al.* Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, Switzerland, v. 65, n. 4, p. 341–411, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0064-z>. Acesso em: 03 jun. 2018.

CHO, D. F. *et al.* Performance of the random forest image classifier for mapping land use and land cover in the brazilian cerrado. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 1–11, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37979. Acesso em: 19 jun. 2019.

COOLEY, S. W. *et al.* Tracking dynamic northern surface water changes with high-frequency planet CubeSat imagery. **Remote Sensing**, Basel, v. 9, n. 12, p. 1–21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9121306>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 111–124, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124>. Acesso em: 08 out. 2021.

DEMERS, M. N. **GIS**. In: Britannica Academic. London/United Kingdom: Encyclopædia Britannica Inc., 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780203166352.ax>. Acesso em: 12 set. 2018.

DIXON, H. *et al.* Intergovernmental cooperation for hydrometry—what, why and how? **Hydrological Sciences Journal**, London, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1764569>. Acesso em: 12 dez. 2021.

DUGDALE, S. J.; KLAUS, J.; HANNAH, D. M. Looking to the skies: Realising the combined potential of drones and thermal infrared imagery to advance hydrological process understanding in headwaters water resources research. **Water Resources Research**, Washington, v. 58, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021wr031168>. Acesso em: 02 fev. 2022.

DURAND, M. *et al.* An intercomparison of remote sensing river discharge estimation algorithms from measurements of river height, width, and slope. **Water Resources Research**, Washington, v. 52, n. 6, p. 4527–4549, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015wr018434>. Acesso em: 09 set. 2020.

FEYISA, G. L. *et al.* Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 140, p. 23–35, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>. Acesso em: 09 fev. 2019.

FRAZIER, A. E.; HEMINGWAY, B. L. A technical review of planet smallsat data: practical considerations for processing and using planetscope imagery. **Remote Sensing**, Basel, v. 13, n. 19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13193930>. Acesso em: 09 jan. 2022.

- GARCIA, A. S.; MENDES-DA-SILVA, W.; ORSATO, R. J. Sensitive industries produce better ESG performance : evidence from emerging markets. **Journal of Cleaner Production**, New York, v. 150, p. 135–147, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.180>. Acesso em: 21 set. 2021.
- GLEASON, C. J. ; SMITH, L. C.; LEE, J. Retrieval of river discharge solely from satellite imagery and at-many-stations hydraulic geometry: Sensitivity to river form and optimization parameters. **Water Resources Research**, Washington, p. 9604–9619, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2013wr014979.reply>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- GLEASON, C. J.; SMITH, L. C. Toward global mapping of river discharge using satellite images and at-many-stations hydraulic geometry. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1317606111>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- GLEASON, C. J.; WANG, J. Theoretical basis for at-many-stations hydraulic geometry. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 42, n. 17, p. 7107–7114, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015GL064935>. Acesso em: 13 ago 2019.
- GOODCHILD, M. F. Twenty years of progress: GIScience in 2010. **Journal of Spatial Information Science**, Orono, v. 1, n. 1, p. 3–20, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2010.1.2>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- HAGEMANN, M. W.; GLEASON, C. J.; DURAND, M. T. BAM: Bayesian AMHG-manning inference of discharge using remotely sensed stream width, slope, and height. **Water Resources Research**, Washington, v. 53, n. 11, p. 9692–9707, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017wr021626>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- HANNAH, D. M. *et al.* Large-scale river flow archives: Importance, current status and future needs. **Hydrological Processes**, London, v. 25, n. 7, p. 1191–1200, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.7794>. Acesso em: 29 maio 2020.
- HEIKKILA, T.; GERLAK, A. K. Building a conceptual approach to collective learning: Lessons for public policy scholars. **Policy Studies Journal**, Hoboken, v. 41, n. 3, p. 484–512, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/psj.12026>. Acessado em 10/10/2017. Acesso em: 05 ago. 2021.
- HONG, D. *et al.* Interpretable hyperspectral artificial intelligence. **IEEE Geoscience And Remote Sensing Magazine**, New York, v. 21, n. Jun, p. 52–87, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9395693>. Acessado em 22/12/2021. Acesso em: 05 jan. 2022.
- HOU, X. *et al.* Fifteen-year monitoring of the turbidity dynamics in large lakes and reservoirs in the middle and lower basin of the Yangtze River, China. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 190, p. 107–121, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.006>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- HOUBORG, R.; FISHER, J. B.; SKIDMORE, A. K. Advances in remote sensing of vegetation function and traits. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 43, p. 1–6, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.06.001>. Acesso em: 01 jul. 2018.

- HOU Borg, R.; MCCABE, M. F. A cubesat enabled spatio-temporal enhancement method (CESTEM) utilizing Planet, Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 209, n. Jul. 2017, p. 211–226, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.067>. Acesso em: 02 maio 2018.
- HOU Borg, R.; MCCABE, M. F. Daily retrieval of NDVI and LAI at 3 m resolution via the fusion of cubesat, Landsat, and MODIS data. **Remote Sensing**, Basel, v. 10, n. 6, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10060890>. Acesso em: 02 mar. 2019.
- HUANG, C. *et al.* Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. **Reviews of Geophysics**, Switzerland, v. 56, n. 2, p. 333–360, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018rg000598>. Acesso em: 07 jan. 2019.
- INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS. **Portaria-Naturtins número 300 de 11/08/2017**: Suspensão de captação de água. Palmas/TO: Instituto Natureza do Tocantins, 2017. Disponível em: <http://naturatins.to.gov.br/acordos-ambientais/>. Acesso em: 02 set. 2017.
- JIANG, Z. *et al.* Water body delineation using index composition and HIS transformation. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 33, n. 11, p. 3402–3421, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.614967>. Acesso em: 05 jan. 2019.
- JOSHI, N. *et al.* A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring. **Remote Sensing**, Basel, v. 8, n. 1, p. 1–23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8010070>. Acesso em: 03 jan. 2019.
- JUNQUEIRA, A. M. *et al.* Estimation of river flow using cubesats remote sensing. **Science of the Total Environment**, New York, v. 788, p. 147762, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147762>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- JUNQUEIRA, A. M. *et al.* Landslide susceptibility mapping for transmission lines: dynamic monitoring, analysis and alerts for extreme natural events. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 79, n. 46, p. 18, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8750-x>. Acesso em: 12 maio 2020.
- KÄÄB, A.; ALTENA, B.; MASCARO, J. River-ice and water velocities using the Planet optical cubesat constellation. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 23, n. 10, p. 4233–4247, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-23-4233-2019>. Acesso em: 14 ago. 2021.
- KALACSKA, M. *et al.* Multi-temporal surface water classification for four major rivers from the peruvian amazon. **Data**, Basel, v. 7, n. 6, p. 1–13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/data7010006>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- KAPLAN, G.; AVDAN, U. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. **European Journal of Remote Sensing**, Oxfordshire, v. 50, n. 1, p. 137–143, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540>. Acesso em: 21 abr. 2019.
- KINGSTON, D. G. *et al.* Moving beyond the catchment scale: value and opportunities in large-scale hydrology to understand our changing world. **Hydrological Processes**, London, v. 34, n. 10, p. 2292–2298, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.13729>. Acesso em:

02 mar. 2021.

KULU, E. Small launchers-2021: industry survey and market analysis. **72th International Astronautical Congress**. Dubai, 2021. p. 1–24. Disponível em: https://www.newspace.im/assets/small-launchers-2021_erik-kulu_iac2021.pdf. Acesso em: 31 jan. 2022.

LAKSHMI, V. Use of satellite remote sensing in hydrological predictions in un-gaged basins. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Istanbul, v. 35, p. 313-318, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229014292_use_of_satellite_remote_sensing_in_hydrological_predictions_in_ungaged_basins. Acesso em: 24 abr. 2018.

LAN, Y. *et al.* A web-based spatial decision support system for monitoring the risk of water contamination in private wells. **Annals of GIS**, Nanjing, v. 26, n. 3, p. 293–309, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1798508>. Acesso em: 29 jul. 2021.

LATRUBESSE, E. M. *et al.* The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia river. **Geomorphology**, New York, v. 113, n. 3–4, p. 239–252, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.014>. Acesso em: 30 set. 2018.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia, Brasil Central. **Revista UNG, Geociências**, Guarulhos, v. 5, n. 1, p. 65–73, 2006. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/97/189>. Acesso em: 31 jan. 2019.

LAURIS, P. Comitê pede ao Naturatins a suspensão das outorgas de captação de água na bacia do Rio Formoso. **Jornal do Tocantins**, Palmas, 2019. p. 1. Disponível em: <https://www.jornaldotocantins.com.br/editorias/vida-urbana/comitê-pede-ao-naturatins-a-suspensão-das-outorgas-de-captação-de-água-na-bacia-do-rio-formoso-1.1875921>. Acesso em: 14 fev. 2020.

LAVERDE-BARAJAS, M. *et al.* Assessing the performance of near real-time rainfall products to represent spatiotemporal characteristics of extreme events: case study of a subtropical catchment in south-eastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 39, n. 21, p. 7568–7586, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1475773>. Acesso em: 30 set. 2020.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. J. **The hydraulic geometry of stream channels: In: the hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**. Washington/D.C.: U. S. Government Printing Office, 1953. Disponível em: 10.3133/pp252. Acesso em: 18 maio 2018.

LETTENMAIER, D. P. *et al.* Inroads of remote sensing into hydrologic science during the water resources research era. **Journal of the American Water Resources Association**, Washington, v. 5, n. 3, p. 2–2, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015wr017616.received>. Acesso em: 30 set. 2020.

MACIEL, D. A. *et al.* Evaluating the potential of CubeSats for remote sensing reflectance retrieval over inland waters. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 41, n. 7, p. 2807–2817, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1697003>.

Acesso em: 17 nov. 2021.

MANNSCHATZ, T.; WOLF, T.; HÜLSMANN, S. Nexus tools platform: Web-based comparison of modelling tools for analysis of water-soil-waste nexus. **Environmental Modelling and Software**, New York, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.031>. Acesso em: 22 mar. 2019.

MAO, F. *et al.* Low-cost environmental sensor networks: recent advances and future directions. **Frontiers in Earth Science**, Lausanne, v. 7, n. September, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00221>. Acesso em: 12 fev. 2021.

MARTIN, P. H. *et al.* Interfacing GIS with water resource models: A state-of-the-art review. **Journal of the American Water Resources Association**, Washington, v. 41, n. 6, p. 1471–1487, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03813.x>. Acessado em 18/04/2018. Acesso em: 27 jul. 2018.

MASCARENHAS, L. M. D. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5–18, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1982-45132009000100001>. Acesso em: 21 jul. 2021.

MCCABE, M. F. *et al.* The future of Earth observation in hydrology. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 2, n. 4, p. 60, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1290-0958\(01\)80013-7](https://doi.org/10.1016/s1290-0958(01)80013-7). Acesso em: 08 nov. 2019.

MIRALLES-WILHELM, F. Development and application of integrative modeling tools in support of food-energy-water nexus planning—a research agenda. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, Switzerland, p. 8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0361-1>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos/SP: INPE, 2002. p. 23. *E-book*. Acesso em: 18 abr. 2018.

MORAMARCO, T. *et al.* River bathymetry estimate and discharge assessment from remote sensing. **Water Resources Research**, Washington, v. 55, n. 8, p. 6692–6711, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018wr024220>. Acesso em: 21 fev. 2020.

MOSTAFAVI, M. River monitoring over Amazon and Danube Basin using multi-mission satellite radar altimetry. **Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering Research**, London, v. 7:2, n. September, p. 16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2325-9647.1000167>. Acesso em: 23 fev. 2020.

MUSA, Z. N.; POPESCU, I.; MYNETT, A. A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 19, n. 9, p. 3755–3769, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3755-2015>. Acessado em 17/02/2019. Acesso em: 11 jun. 2021.

NAGEL, G. W. ; NOVO, E. M. L. de M.; KAMPEL, M. Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 15, n. 3, p. 445–458, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/1980-993x>. Acesso em: 15 abr. 2021.

NATH, R. K.; DEB, S. K. Water-body area extraction from high resolution satellite images: an introduction, review, and comparison. **International Journal of Image Processing**, Singapore, v. 3, n. 3, p. 353–372, 2010. Disponível em: <http://www.cscjournals.org/csc/manuscriptinfo.php?manuscriptcode=67.68.67.74.39.43.42.48.104>. Acesso em: 16 jan. 2018.

NORRIS, J. M. U . S . **Geological Survey streamgage operation and maintenance cost evaluation**. Washington/DC:USGS, 2010. Disponível em: <https://doi.org/Fact Sheet 2010-3025>. Acesso em: 17 dez. 2020.

OLIVEIRA, F. B.; GOMES DA SILVA, J.; CAMPOS FILHO, R. P. Águas do cerrado: da pujança à agonia, 2021, Anápolis/GO. **Seminário Regional de Extensão Universitária da Região Centro-Oeste**. Anápolis, 2021. p. 558–570. Disponível em: <https://anais.ueg.br/index.php/serex/article/download/14894/11838>. Acesso em: 13 jan. 2022.

PAPA, F. *et al.* Satellite altimeter-derived monthly discharge of the Ganga-Brahmaputra River and its seasonal to interannual variations from 1993 to 2008. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, v. 115, n. 12, p. 1–19, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009JC006075>. Acesso em: 09 maio 2018.

PATTERSON, D. *et al.* **Geospatial ESG: the emerging application of geospatial data for gaining environmental insights on the asset, corporate and sovereign level**. London/UK: WWF, 2022. Disponível em: https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2022-01/geospatial_esg_report.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

PAUL, R. F. *et al.* Spatiotemporal derivation of intermittent ponding in a maize-soybean landscape from planet labs cubesat images. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12121942>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PEREIRA, G. S.; CALDEIRA, F. V. Avaliação da distribuição de Gumbel na determinação de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Negro. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 11–16, 2018. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28926/18840>. Acesso em: 06 ago. 2021.

PIMENTEL, A. dos S.; REIS, V. L.; LOPES, E. **Monitoramento e alerta de desastres naturais no estado do Acre: aplicação da plataforma TerraMA²**. São José dos Campos/SP: INPE, 2014. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/terrama2/lib/exe/fetch.php?media=docs:papers:xii_srh_natal_2014_a_lan.pdf. Acesso em: 18 jul. 2021.

PLANET. **Planet analyst day 2021**. San Francisco/CA: Planet Labs, 2021a. Disponível em: https://assets.planet.com/docs/pl_analyst_day_presentation_9.21.2021.pdf. Acesso em: 18 dez. 2021.

PLANET. **Planet imagery product specifications (2020) Planet application program interface: in space for life on Earth**. San Francisco/CA: Planet Labs, 2020. Disponível em: <https://developers.planet.com/docs/data/>. Acesso em: 02 fev. 2021.

PLANET. **Planet imagery product specifications (2021) Planet application program interface: in space for life on Earth**. San Francisco/CA: Planet Labs, 2021b. Disponível em: https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/planet_imagery_product_specs.pdf.

Acesso em: 28 jan. 2022.

PÔSSA, É. M. *et al.* On water surface delineation in rivers using Landsat-8, Sentinel-1 and Sentinel-2 data. 2018. **Journal of Applied Remote Sensing**, Orlando, v. 15, n. Mar, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.014521>. Acesso em: 09 jan. 2022.

REBA, M.; SETO, K. C. A systematic review and assessment of algorithms to detect, characterize, and monitor urban land change. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 242, n. Mar, p. 111739, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111739>. Acesso em: 01 dez. 2021.

REICHLER, R. H. Data assimilation methods in the Earth sciences. **Advances in Water Resources**, New York, v. 31, n. 11, p. 1411–1418, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.01.001>. Acesso em: 27 nov. 2019.

RIEGEL, R. P. *et al.* Future Scenarios : Analysis of susceptible areas to floods and mass movements cenários futuros: análise de áreas susceptíveis a inundações e movimentos de massas. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, Ponta Delgada, v. 57, p. 23–32, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348631087_future_scenarios_analysis_of_susceptible_areas_to_floods_and_mass_movements_cenarios. Acesso em: 31 mar. 2021.

SANTOS, A. R. dos *et al.* **ArcGIS 10.2.2 passo a passo: elaborando meu primeiro mapeamento**. Alegre/ES: CAUFES, v. 1, 2014. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/livro/arcgis102vol1>. Acesso em: 17 jan. 2018.

SANTOS *et al.* **Medição de vazão**. In: Alguns Fundamentos de Hidrologia. Londrina/PR: UNOPAR, 2004. p. 46–56. *E-book*. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-norte-do-parana/hidraulica/medicaodavazao/11255143>. Acesso em: 29 nov. 2017.

SARP, G.; OZCELIK, M. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. **Journal of Taibah University for Science**, Medina, v. 11, n. 3, p. 381–391, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>. Acesso em: 17 abr. 2018.

SICHANGI, A. W. *et al.* Estimating continental river basin discharges using multiple remote sensing data sets. **Remote Sensing of Environment**, New York, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.019>. Acesso em: 17 abr. 2018.

SILVA, I. R. da *et al.* Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora/MG. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 22, n. 1, p. 35, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n1p35-51>. Acesso em: 29 jun. 2021.

SMITH, A. M. J. De; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial Analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools**. Leicester, UK: Troubador Publishing Ltd, 2007. *E-book*. Acesso em: 21 mar. 2019.

SMITH, L. C.; PAVELSKY, T. M. Estimation of river discharge, propagation speed, and hydraulic geometry from space: Lena River, Siberia. **Water Resources Research**, Washington, v. 44, n. W03427, p. 1–11, 2008. Disponível em:

<https://doi.org/10.1029/2007wr006133>. Acesso em: 20 maio 2019.

TAMIMINIA, H. *et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, New York, v. 164, n. March, p. 152–170, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>. Acesso em: 02 jan. 2021.

TEJERINA-GARRO, F. L.; FORTIN, R.; RODRÍGUEZ, M. A. Caracterização da ictiofauna e das interações peixe-ambiente no médio Araguaia, bacia Amazônica. **Estudos**, Goiania, v. 29, n. 85–99, p. 87–101, 2002. Acesso em: 14 ago. 2020.

TENNANT, D. L. Instream flow regimes for fish, wildfire, recreation and related environmental resources. **Fisheries**, London, v. 1, n. 4, p. 1, 1976. Disponível em: <https://doi.org/doi.org/10.1577/1548-8446>. Acesso em: 23 fev. 2022.

TOURIAN, M. J.; SCHWATKE, C.; SNEEUW, N. River discharge estimation at daily resolution from satellite altimetry over an entire river basin. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 546, p. 230–247, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.009>. Acesso em: 19 nov. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas: saneamento para todos**. Porto Alegre/RS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. v. 4. *E-book*. Acesso em: 09 abr. 2018.

TULBURE, M. G.; BROICH, M. Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, New York, v. 79, p. 44–52, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.01.010>. Acesso em: 21 mar. 2019.

UNESCO. **The impact of global change on water resources**. Paris/France: Unesco, 2011. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192216>. Acesso em: 23 set. 2018.

VERDE, N. *et al.* Assessment of radiometric resolution impact on remote sensing data classification accuracy. **Remote Sensing**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1–17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10081267>. Acesso em: 20 nov. 2019.

VILLELA, T. *et al.* Review article towards the thousandth cubesat: a statistical overview. **International Journal of Aerospace Engineering**, Reston, v. 2019, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/5063145>. Acesso em: 12 ago. 2020.

WANG, C. *et al.* Long-term surface water dynamics analysis based on landsat imagery and the Google Earth Engine Platform: A case study in the middle Yangtze River Basin. **Remote Sensing**, Basel, v. 10, n. 10, p. 1–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10101635>. Acesso em: 26 jan. 2019.

WANG, W. *et al.* Design and implementation of spatial database and geo-processing models for a road geo-hazard information management and risk assessment system. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 73, n. 3, p. 1103–1117, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3461-9>. Acesso em: 26 ago. 2018.

WILSON, M. *et al.* Modeling large-scale inundation of Amazonian seasonally flooded wetlands. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 34, p. 6, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2007gl030156>. Acesso em: 29 jul. 2018.

WULDER, M. A. *et al.* Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 3, p. 955–969, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.004>. Acesso em: 13 abr. 2019.

YANG, H. *et al.* Water body extraction methods study based on RS and GIS. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 10, n. PART C, p. 2619–2624, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.407>. Acesso em: 27 mar. 2018.

ZAJI, A. H.; BONAKDARI, H.; GHARABAGHI, B. Remote sensing satellite data preparation for simulating and forecasting river discharge. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 56, n. 6, p. 3432–3441, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8291504>. Acesso em: 14 nov. 2018.

ZANOTTA, D. Z.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2019. *E-book*. Acesso em: 02 maio 2020.

ZHANG, X.; VESSELINOV, V. V. Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. **Advances in Water Resources**, New York, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.12.017>. Acesso em: 30 abr. 2020.