

## **Mapeamento de turfeiras tropicais de montanha na Serra do Espinhaço Meridional**

### **Problema**

Turfeiras são tipos de áreas úmidas que constituem um ecossistema formado pela acumulação de tecidos vegetais em ambientes com condições anaeróbicas (MOORE, 1997; CAMPOS et al., 2011; CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, 2012a; SILVA et al., 2013). Sua importância está relacionada aos serviços ambientais por elas oferecidos: armazenamento de carbono (CAMPOS, 2009; GORHAM, 1991; PAGE; RIELEY; BANKS, 2011), armazenamento de água (CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, 2012a) e reconstituição paleoambiental (HORÁK-TERRA et al., 2015a).

Apesar de sua importância ambiental, pelos serviços prestados, as turfeiras não são bem mapeadas, principalmente as turfeiras tropicais de montanha, que precisam ser mapeadas e incluídas nas estimativas globais de carbono. Também com o mapeamento destas áreas será possível um melhor entendimento de sua contribuição para a hidrologia local, principalmente na contribuição para o abastecimento de aquíferos. Além disso, a falta de dados precisos, dificulta a elaboração de políticas públicas sobre práticas de manejo para preservar e caso ocorra a degradação, restaurar/recuperar os ecossistemas de turfeiras tropicais de montanha (U. S. FOREST SERVICE, 2018).

O mapeamento convencional de turfeiras tropicais de montanha torna-se oneroso devido, principalmente ao acesso a essas áreas ser bastante difícil, tornando o uso de imagens de satélite uma alternativa viável. Porém, a detecção remota destas áreas é desafiadora, pois podem parecer muito semelhantes às não-úmidas, além de sofrerem influência das encostas íngremes das montanhas e a cobertura de nuvens tornam difícil reunir e interpretar sinais de sensoriamento remoto (U. S. FOREST SERVICE, 2018).

Para auxiliar na identificação das áreas com turfeiras tem sido usado covariáveis que podem ser extraídas de diversas fontes, como a elevação e inclinação dos modelos digitais de elevação (MDEs), a distância de rios observada a partir de imagens de satélites, entre outras. As imagens de satélites fornecem também informações sobre o comprimento de ondas de objetos da superfície terrestre, que quando associados com outras características a partir de um modelo específico, podem contribuir com a determinação das áreas com maior probabilidade de conterem turfeiras (RUDIYANTO et al., 2018; MINASNY et al., 2019).

A associação algébrica do espectro de ondas extraídos de imagens de satélites constitui índices espectrais dos mais variados tipos. Estes índices minimizam as semelhanças existentes entre as áreas mapeadas, ou seja, áreas úmidas de não-úmidas, discriminando a informação de interesse com outros alvos de semelhança espectral e normaliza ou minimiza os efeitos ligados a coleta de dados espaciais, além de serem sensíveis às mudanças das características espectrais nas diferentes fitofisionomias. (JENSEN, 2009; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015; PEREIRA et al., 2016).

Diversos índices espectrais são usados no mapeamento de áreas úmidas, assim podem ser usados também para áreas com turfeiras. O mais usado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (MCFEETERS, 1996; RUDIYANTO et al., 2018; RAPINEL et al., 2019; SLAGTER et al., 2020), porém existem índices espectrais que apresentam bons resultados quando usados no mapeamento de áreas úmidas, devido a sua especificidade com o conteúdo de água existente na vegetação ou lamina de água na superfície, como o NDWI (Normalized Difference Water Index) (GAO, 1996; BHANGALE et al., 2020) e o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) (XU, 2006; SLAGTER et al., 2020). Outro índice espectral que pode ser usado para discriminar áreas úmidas (turfeiras) é o SWCI (Surface Water Content Index) (CHEN et

al., 2009), porém, este índice espectral não foi ainda utilizado na discriminação de áreas úmidas na literatura, apenas para culturas cultivadas, mas como tem uma forte interação com o conteúdo de água do solo e vegetação, tona-se bastante promissor o seu uso em estudos que envolvem o mapeamento de áreas úmidas por sensoriamento remoto.

## **Objetivos:**

### **Objetivo Geral**

Avaliar o uso de índices espectrais no mapeamento de turfeiras tropicais de montanha na Serra do Espinhaço Meridional

### **Objetivos Específicos**

- Indicar o melhor índice espectral para o mapeamento de áreas com turfeiras;
- Relacionar os principais entraves no mapeamento de turfeiras tropicais de montanha;
- Gerar um mapa das turfeiras tropicais de montanha da Serra do Espinhaço Meridional que possa ser incorporado ao mapa mundial de turfeiras e ainda ser útil às políticas públicas no manejo destas áreas;
- Disseminar conhecimentos técnicos e científicos sobre o gerenciamento integrado de turfeiras;
- Consolidar a UnB como Instituição de Ensino e Pesquisa capaz de responder às demandas regionais e nacionais por conhecimento científico e tecnológico ligados ao tema do projeto.

## **Justificativa e Bibliografia (contribuição para a área)**

Turfeiras são originadas da lenta decomposição de vegetais em ambientes saturados com água. São ecossistemas particulares por acumularem grandes volumes de água e carbono e atuam como registros cronológicos de mudanças climáticas e ambientais nas escalas local, regional e global (GORHAM, 1991; CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, 2012b; SCHELLEKENS et al., 2014; HORÁK-TERRA et al., 2015a; BISPO et al., 2016; CAMPOS et al., 2017). São ecossistemas frágeis, muito sensíveis às alterações climáticas e vulneráveis a perturbações antrópicas, dependendo do regime hídrico local, das condições climáticas e ambientais específicas, tais como clima de montanha.

A Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) é o principal onde são encontradas tropicais turfeiras de montanha do Brasil. Nesta região elas ocorrem em depressões de superfícies de aplainamento, confinadas entre maciços quartzíticos, anteriormente preenchidas por rochas mais susceptíveis ao intemperismo (filitos, rochas metabásicas), devido à facilidade para o acúmulo do material orgânico (CAMPOS et al., 2017; SILVA; SILVA, 2017; FONSECA; SILVA; SENNA, 2018).

Nas turfeiras da SdEM, a precipitação pluviométrica mantém o nível do lençol freático e proporciona a recarga a partir do escoamento superficial, subsuperficial e infiltração na área de recarga hídrica. Nesse contexto, as turfeiras possuem papel ambiental fundamental na região da SdEM, regulando a vazão dos rios e armazenando carbono. Porém, muitas delas estão à mercê de processos antrópicos, que acabam influenciando suas funções, que por sua vez afetam a dinâmica hidrológica e fluxo do carbono na região, afetando assim a qualidade e o volume de suas águas (BISPO et al., 2016).

Foram mapeados 14287,55 hectares de áreas com turfeiras na SdEM, armazenando aproximadamente 142 milhões m<sup>3</sup> de água, além de estocarem cerca de 2,7 milhões de toneladas de carbono (CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, 2012b; SILVA et al., 2013). Porém, o mapeamento foi incipiente, sendo que no mapeamento realizado por Silva et al. (2013) foi usado apenas a composição de bandas do satélite landsat 5 (bandas 3,4,5 e 7) com resolução de 30 metros, trabalhos de campo para a observação do padrão de ocorrência das áreas de turfeiras (geometria) e classificação da imagem de satélite pelo Método da Máxima Verossimilhança.

Presume-se que a SdEM exista pelo menos 20 mil hectares de áreas ocupadas por turfeiras e com o uso de imagens de satélites de melhor resolução, como as obtidas pelo Sentinel 2, o mapeamento possa ser melhorado e aproxime a área real. Também, o uso de mais variáveis e modelos que integre estas variáveis, aumente precisão na determinação das áreas.

O uso de índices espectrais na identificação e mapeamento de áreas úmidas é bastante relatado na literatura (MARTH; MOURA; KOESTER, 2016; KALACSKA et al., 2018; RUDIYANTO et al., 2018; RAPINEL et al., 2019; SLAGTER et al., 2020; BHATNAGAR et al., 2020), porém, especificamente para turfeiras tropicais de montanha, os índices espectrais são pouco mencionados e quando usados, estes são apenas covariáveis, ou seja, não foram testados quanto a sua eficiência na identificação desta áreas.

Assim, acredita-se que o uso de índices espectrais possa contribuir com a identificação de áreas de turfeiras tropicais de montanha na SdEM e ainda identificar áreas não mapeadas anteriormente, uma vez que serão usadas imagens Sentinel 2, com melhor resolução. Com isso, este trabalho pode contribuir para geração de um mapa de melhor qualidade que possa ser usado pela esfera pública na tomada de decisões para elaboração de planos de manejo das áreas de turfeiras. Ainda, será de fundamental importância em estudos futuros que relacionam a hidrologia regional com as áreas de turfeiras, entre outros estudos, além de tornar a região reconhecida no âmbito mundial, uma vez que em muitos mapas de turfeiras mundiais, a SdEM é negligenciada.

## **Metodologia**

A SdEM tem em sua borda o sudeste do Cráton do São Francisco e estende-se por cerca de 300 Km na direção S-N, desde o Quadrilátero Ferrífero, nas proximidades de Belo Horizonte, até a região de Olhos d'Água ao norte de Diamantina (MARTINS-NETO, 2009; PEREIRA; GONTIJO; ABREU, 2015). O clima da região é do tipo Cwb (mesotérmico) de acordo com a classificação de Köppen, ocorrendo uma estação chuvosa e outra seca bem definidas e com temperatura média dos 3 meses mais frios compreendidas entre 10 e 15 °C e precipitação média anual é de 1500 mm (SILVA et al., 2004).

A região de estudos integra uma área de 1180109 hectares da SdEM, em Minas Gerais. Áreas referência serão usadas para verificação dos valores e precisão dos índices espectrais usados. Essas áreas já foram utilizadas em outros estudos realizados por CAMPOS et al., (2011); SILVA et al., (2013); CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, (2012a); HORÁK-TERRA et al., (2015b); BISPO et al., (2016) e BARRAL (2018), ou seja, são consolidadas como áreas de turfeiras.

Serão usadas imagens do satélite Sentinel 2, da missão Copernicus (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2020) e o MDE do satélite Alos Palsar com 12,5 m de resolução espacial ("ALOS PALSAR", 2019). As bandas espectrais usadas para a compor os índices espectrais são as bandas 3, 4, 8, 11 e 12 com espectros nas regiões do verde, vermelho,

infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas 1 (1,610 µm) e infravermelho de ondas curtas 2 (2,190 µm), respectivamente. Sendo as bandas 3, 4 e 8 com resolução espacial de 10 metros e as bandas 11 e 12 com resolução de 20 metros

Os índices espectrais que serão testados são o NDVI (LIU; HUETE, 1995; MCFEETERS, 1996; RUDIYANTO et al., 2018; RAPINEL et al., 2019; SLAGTER et al., 2020); NDWI (GAO, 1996; BHANGALE et al., 2020); MNDWI (XU, 2006; SLAGTER et al., 2020) e SWCI (CHEN et al., 2009), representados pela equações:

$$NDVI = (B8_{NIR} - B4_{Red}) / (B8_{NIR} + B4_{Red}) \quad \text{Eq.1}$$

$$NDWI = (B8_{NIR} - B11_{SWIR1}) / (B8_{NIR} + B8_{SWIR1}) \quad \text{Eq.2}$$

$$MNDWI = (B3_{verde} - B11_{SWIR1}) / (B3_{verde} + B11_{SWIR1}) \quad \text{Eq.3}$$

$$SWCI = (B11_{SWIR1} - B12_{SWIR2}) / (B11_{SWIR1} + B12_{SWIR2}) \quad \text{Eq.4}$$

A plataforma Google Earth Engine (GEE), uma avançada plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem, será usada para cálculo dos índices espectrais e também para aplicação de modelos estatísticos baseados em regras, conhecidos como árvore de decisão (BAKER et al., 2006; CONNOLLY; HOLDEN; WARD, 2007; BOURGEAU-CHAVEZ et al., 2018), para limitar as faixas de ocorrência dos índices espectrais onde podem ocorrer áreas com turfeiras, tendo como base as áreas referência citadas.

O software livre Qgis será usado com suporte ao GEE, uma vez que estes pode ser integrado ao GEE a partir do plugin específico para Qgis. E será usado para confecção final do mapa.

### **Adequação do plano de trabalho ao nível de Iniciação Científica e ao projeto de pesquisa do(a) orientador(a)**

Turfeiras são tipos de áreas úmidas originadas da lenta decomposição de vegetais em ambientes saturados com água, assim são acumuladoras de carbono e por serem constituídas de matéria orgânica, armazenam grandes quantidades de água, contribuindo com o abastecimento dos cursos d'água onde ocorrem. Quando são antropizadas, seus serviços ecológicos são afetados, sobretudo sua capacidade de retenção de água e armazenamento de carbono, isso ainda mais evidente em regiões tropicais (GORHAM, 1991; CAMPOS; SILVA; VIDAL-TORRADO, 2012b; BISPO et al., 2016).

A SdEM é o principal arcabouço de turfeiras de montanha do Brasil (SILVA et al., 2013; FONSECA; SILVA; SENNA, 2018), porém o mapeamento destas áreas ainda é incipiente e o mapeamento tradicional é inviável principalmente pelo difícil acesso, dessa forma, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta bastante útil.

O sensoriamento remoto por satélite tem sido um método amplamente adotado para mapeamento e monitoramento da cobertura do solo em geral, usando dados de radar e ópticos. No entanto, o mapeamento preciso de áreas úmidas é uma tarefa desafiadora ao usar dados de satélite, isso porque geralmente não são unificadas por um tipo de cobertura do solo ou tipo de vegetação comum, mas compartilham apenas a característica da presença de água na superfície, abaixo do dossel da vegetação ou no solo, o que dificulta o delineamento com base em informações espectrais ou retroespalhadas. Ainda pode haver mudanças devido a variações no nível do lençol ao longo de determinado período (GALLANT, 2015; SLAGTER et al., 2020).

Estudos que analisam o comportamento espectral de tipos de áreas úmidas são de fundamental importância e um primeiro passo para sua identificação e atualmente existem muitos satélites, que fornecem imagens multiespectrais gratuitamente, incluindo Landsat, Sentinel 2 e Radiômetro de Emissão e Reflexão Térmica Advanced Spaceborne (ASTER). Também, os dados de satélites multiespectrais são mais práticos para mapeamento de áreas úmidas, quando comparados com dados hiperespectrais (GUO et al., 2017; AMANI et al., 2018).

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o uso de índices espectrais no mapeamento de turfeiras tropicais de montanha, um tipo de área úmida, na Serra do Espinhaço Meridional, em Minas Gerais. Os índices espectrais que serão usados (NDVI, NDWI, MNDWI e SWCI) combinam as bandas espectrais mais usadas na discriminação de áreas úmidas que são infravermelho próximo (NIR), infravermelho de ondas curtas (SWIR) (AMANI et al., 2018; MAHDAVI et al., 2018), além das bandas com comprimentos de ondas na região do verde e vermelho, sendo todas do satélite Sentinel 2.

Com esta pesquisa, espera-se um melhor entendimento do comportamento espectral das áreas com turfeiras tropicais de montanha e que possa ser útil no mapeamento destas áreas, que são de fundamental importância regional, principalmente no abastecimento de cursos d'água nas épocas secas e nacional, pois armazenam grandes quantidades de carbono, evitando que seja lançado na atmosfera, agravando o efeito estufa.

### **Viabilidade de execução (recursos, infraestrutura e metodologia)**

O Instituto de Geociências possui toda infraestrutura e recursos necessários para o desenvolvimento da pesquisa, desde profissionais capacitados na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto e laboratórios dedicados exclusivamente para trabalhos voltados para estas áreas com todos os softwares instalados e disponíveis para uso.

As principais etapas para realização da pesquisa são:

1. Revisão de literatura sobre áreas úmidas, turfeiras, comportamento espectral em área úmidas e uso dos índices espectrais a serem usados na pesquisa (NDVI, NDWI, MNDWI e SWCI). Essa pesquisa pode ser realizada pelo portal de periódicos da CAPES, onde os principais trabalhos sobre o tema podem ser encontrados na base scienceDirect da Elsevier.
2. Delimitação das áreas de turfeiras a partir de imagens do Google Earth®, com base em pontos coletados em campo em outros trabalhos, que atestam que são realmente áreas de turfeiras.
3. Aplicação dos índices espectrais escolhidos e coleta de valores limites (*thresholds*) que representam áreas com turfeiras. Esta etapa será realizada na plataforma Google Earth Engine e no Qgis com plugin específico. Os índices serão aplicados em imagens do satélite Sentinel 2 em dois períodos diferentes, na época de maior precipitação e no período seco, pois as áreas de turfeiras são influenciadas pela elevação do nível freático, consequentemente pelas chuvas.
4. Utilização dos *thresholds* selecionados na etapa anterior para selecionar áreas com de turfeiras em toda região da SdEM delimitada como área de estudo, e verificação do melhor índice espectral na identificação das áreas de turfeiras. Estes *thresholds* podem ser integrados a modelos estatísticos de treinamento como árvores de decisão e random forest para classificação das áreas objeto do estudo,

as turfeiras. Nesta etapa, caso os *thresholds* não apresentem uma boa precisão, serão acrescentadas outras variáveis aos modelos, como a declividade e elevação extraídas de modelos digitais de elevação.

5. Escolha de áreas de forma aleatória que foram classificadas anteriormente como turfeiras, para verificação da precisão dos *thresholds* utilizados.
6. Elaboração do mapa final da área delimitada com as áreas de turfeiras encontradas.

### **Cronograma de execução**

Mês 1 - Revisão bibliográfica;

Mês 2 - Revisão bibliográfica;

Mês 3 - Revisão bibliográfica e delimitação de áreas com turfeiras;

Mês 4 - Revisão bibliográfica, aplicação dos índices espectrais e obtenção dos *thresholds*;

Mês 5 - Revisão bibliográfica, aplicação dos *thresholds* com modelos estatísticos

Mês 6 - Revisão bibliográfica, verificação da precisão e necessidade de inclusão de outras variáveis além dos *thresholds* dos índices espectrais;

Mês 7 - Revisão bibliográfica e análise dos produtos gerados;

Mês 8 - Revisão bibliográfica e análise dos produtos gerados;

Mês 9 - Revisão bibliográfica; elaboração do relatório final e publicação dos resultados;

Mês 10 - Revisão bibliográfica; elaboração do relatório final e publicação dos resultados;

Mês 11 - Revisão bibliográfica; elaboração do relatório final e publicação dos resultados;

Mês 12 - Revisão bibliográfica; elaboração do relatório final e publicação dos resultados.

## Referencias

**ALOS PALSAR. ASF**, 8 mar. 2019. Disponível em: <<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>>. Acesso em: 12 jun. 2020

AMANI, M. et al. Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 144, p. 119–136, 1 out. 2018.

BAKER, C. et al. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. **Wetlands**, v. 26, n. 2, p. 465, 1 jun. 2006.

BARRAL, U. M. **Hidrologia e fluxo de carbono em turfeiras tropicais de montanha**. [s.l.] UFVJM, 2018.

BHANGALE, U. et al. Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery. **Procedia Computer Science**, Third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet'19). v. 171, p. 2645–2654, 1 jan. 2020.

BHATNAGAR, S. et al. Mapping Vegetation Communities Inside Wetlands Using Sentinel-2 Imagery In Ireland. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 88, p. 102083, jun. 2020.

BISPO, D. F. A. et al. Hydrology and carbon dynamics of tropical peatlands from Southeast Brazil. **CATENA**, v. 143, p. 18–25, 1 ago. 2016.

BOURGEOU-CHAVEZ, L. L. et al. Mapping Peatlands in Boreal and Tropical Ecoregions. In: **Comprehensive Remote Sensing**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 24–44.

CAMPOS, J. R. DA R. Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da área de proteção ambiental Pau-de-Fruta em Diamantina – MG. 2009.

CAMPOS, J. R. DA R. et al. Influence of the structural framework on peat bog distribution in the tropical highlands of Minas Gerais, Brazil. **CATENA**, v. 156, p. 228–236, 1 set. 2017.

CAMPOS, J. R. DA R.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Mapping, organic matter mass and water volume of a peatland in Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 723–732, jun. 2012.

CAMPOS, R. et al. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1217–1227, ago. 2011.

CHEN, H. et al. **Construction and validation of a new model for cropland soil moisture index based on MODIS data**. Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability VI. **Anais...** In: REMOTE SENSING AND MODELING OF ECOSYSTEMS FOR SUSTAINABILITY VI. International Society for Optics and Photonics, 20 ago. 2009 Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/7454/745418/Construction-and-validation-of-a-new-model-for-cropland-soil/10.1117/12.825039.short>>. Acesso em: 7 jun. 2020

CONNOLLY, J.; HOLDEN, N. M.; WARD, S. M. Mapping Peatlands in Ireland using a Rule-Based Methodology and Digital Data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 2, p. 492–499, 2007.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2 - Missions - Sentinel Online**. Publico. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

FONSECA, S. F. DA; SILVA, A. C.; SENNA, J. A. DE. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na identificação de usos da terra no entorno das turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, n. 0, p. 124–139, 13 mar. 2018.

GALLANT, A. L. The Challenges of Remote Monitoring of Wetlands. **Remote Sensing**, v. 7, n. 8, p. 10938–10950, ago. 2015.

GAO, B. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1 dez. 1996.

GORHAM, E. Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. **Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America**, v. 1, n. 2, p. 182–195, maio 1991.

GUO, M. et al. A Review of Wetland Remote Sensing. **Sensors**, v. 17, n. 4, p. 777, abr. 2017.

HORÁK-TERRA, I. et al. Holocene climate change in central–eastern Brazil reconstructed using pollen and geochemical records of Pau de Fruta mire (Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 437, p. 117–131, 1 nov. 2015a.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. [s.l.] Parêntese Editora, 2009.

KALACSKA, M. et al. Estimating Peatland Water Table Depth and Net Ecosystem Exchange: A Comparison between Satellite and Airborne Imagery. **Remote Sensing**, v. 10, n. 5, p. 687, maio 2018.

LIU, H. Q.; HUETE, A. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 457–465, mar. 1995.

MAHDAVI, S. et al. Remote sensing for wetland classification: a comprehensive review. **GIScience & Remote Sensing**, v. 55, n. 5, p. 623–658, 3 set. 2018.

MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V.; KOESTER, E. Localização e mapeamento de áreas úmidas na Sub-bacia hidrográfica Arroio Santa Isabel, através do método NDWI. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 25, n. 1, p. 23–41, 15 ago. 2016.

MARTINS-NETO, M. A. Sequence stratigraphic framework of Proterozoic successions in eastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 26, n. 2, p. 163–176, 1 fev. 2009.



MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1 maio 1996.

MINASNY, B. et al. Digital mapping of peatlands – A critical review. **Earth-Science Reviews**, v. 196, p. 102870, 1 set. 2019.

MOORE, P. D. Bog standards in Minnesota. **Nature**, v. 386, n. 6626, p. 655–657, abr. 1997.

PAGE, S. E.; RIELEY, J. O.; BANKS, C. J. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. **Global Change Biology**, v. 17, n. 2, p. 798–818, 1 fev. 2011.

PEREIRA, A. A. et al. Avaliação de Índices Espectrais para Identificação de Áreas Queimadas no Cerrado Utilizando Dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 8, 16 out. 2016.

PEREIRA, E. O.; GONTIJO, B. M.; ABREU, L. G. Á. DE C. As ecorregiões da reserva da biosfera da serra do espinhaço: elementos para o fortalecimento da conservação da biodiversidade / The ecoregions of biosphere reserve of serra do espinhaço (...). **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, p. 18–33, 19 fev. 2015.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. [s.l.] Oficina de Textos, 2015.

RAPINEL, S. et al. Mapping potential, existing and efficient wetlands using free remote sensing data. **Journal of Environmental Management**, v. 247, p. 829–839, 1 out. 2019.

RUDIYANTO et al. Open digital mapping as a cost-effective method for mapping peat thickness and assessing the carbon stock of tropical peatlands. **Geoderma**, v. 313, p. 25–40, 1 mar. 2018.

SCHELLEKENS, J. et al. Holocene vegetation and fire dynamics in central-eastern Brazil: Molecular records from the Pau de Fruta peatland. **Organic Geochemistry**, v. 77, p. 32–42, 1 dez. 2014.

SILVA, M. L. DA et al. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço meridional - Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1149–1157, out. 2013.

SILVA, M. L.; SILVA, A. C. Gênese e evolução de turfeiras nas superfícies geomórficas da Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 31 mar. 2017.

SLAGTER, B. et al. Mapping wetland characteristics using temporally dense Sentinel-1 and Sentinel-2 data: A case study in the St. Lucia wetlands, South Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102009, 1 abr. 2020.

U. S. FOREST SERVICE. **Mapping Mountain Peatlands | US Forest Service.** Publico. Disponível em: <<https://www.fs.usda.gov/features/mapping-mountain-peatlands>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 20 jul. 2006.