

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Renato Ferreira da Silva

**RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO NA BACIA DO ALTO JEQUITINHONHA.**

Diamantina

2021

Renato Ferreira da Silva

RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA BACIA DO ALTO JEQUITINHONHA.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: André Medeiros de Andrade

Diamantina

2021

Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

S586 Silva, Renato Ferreira da
2021 Relação entre a temperatura de superfície e índices de
vegetação na bacia do Alto Jequitinhonha [manuscrito] / Renato
Ferreira da Silva. -- Diamantina, 2021.
79 p.

Orientadora: Prof.^a André Medeiros de Andrade.

Dissertação (Mestrado em Geologia) -- Universidade Federal
dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação
em Geologia, Diamantina, 2021.

1. Índices de Vegetação. 2. Temperatura de Superfície. 3.
Análise Ambiental. 4. Bacia do Alto Jequitinhonha. 5.
Sensoriamento Remoto. I. Andrade, André Medeiros de. II.
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. III.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecário Rodrigo Martins Cruz / CRB6-2886 Técnico em T.I. Thales
Francisco Mota Carvalho



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

RENATO FERREIRA DA SILVA

RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA BACIA DO
ALTO JEQUITINHONHA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação **em Geologia** da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, **nível de Mestrado**, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geologia**.

Orientador: Prof. **André Medeiros de Andrade**

Data de aprovação 16/08/2021.

Prof. Wesley Esdras Santiago - (ICA-UFVJM)

Prof. Cristiano Christofaro Matosinhos - (PPGGEO-UFVJM)



Documento assinado eletronicamente por **Andre Medeiros de Andrade, Servidor**, em 16/08/2021, às 20:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wesley Esdras Santiago, Servidor**, em 16/08/2021, às 21:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Christofaro Matosinhos, Servidor**, em 17/08/2021, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufvjm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0436593** e o código CRC **36461A26**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por mais essa oportunidade de complementar minha formação acadêmica. Em um país tão desigual e injusto como o Brasil o estudo é de fato a maior expressão de resistência.

Agradeço aos meus pais Justino Ferreira e Maria Rosenith pelo apoio incondicional, pelas sábias palavras de reflexão e encorajamento típicas do povo sertanejo do norte de Minas.

À minha esposa Francielle Durães que sempre esteve ao meu lado desde muito antes de tudo isso se iniciar, por todo apoio dado a mim. AMO-TE!

A todos os colegas da UFVJM, em especial os da pós-graduação em Geologia, Groselha (Matheus Simões), Carol Batista, Ana Cecília (subversiva), Fabi, Giancarlo (Gianzão), e o povo todo que providenciou aquela festa junina no sítio kkkkkkkk.

Ao grande amigo que fiz Uidemar Barral (Demazin) lá da Agronomia, que me ajudou muito nesse processo. E também agradeço a Fernando (Ranger Verde) lá da DTI, me salvou demais na parte de informática com meu notebook, valeu garotinho!

A todos os professores do PPGEIO em especial ao professor André Medeiros, que aceitou ser meu orientador e o fez com muito talento, talvez se não fosse o André eu não tivesse conseguido. Aos professores Eduardo Fontana, Cristiano, Soraya Neves e Alexandre.

Aos colegas do CeGeo em especial, Ana Clara (Aninha do geoprocessamento), Ana Clara (Aninha da mineralogia), Frank, Lucas e Hilda.

Aos meus amigos em especial, Madson (Rei), Robson Veloso (Neutro total), Nedson (Necaos), Pedro (Noob), Luiz (Pepê), Davi, Marco Antônio (Junin), Marco Antônio (Tom), Eduardo Freitas (Dudu), Ronieliton (Roni) e Érika Neves (Kinha).

Aos amigos do grupo do Délio em especial a Jefferson William (Jeffão), Gabriel, Meire, Robert, Taty, Dani, Leyli, Gu, Dani (de Black), Gilberto (Black) e o próprio Délio.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para que esse passo fosse dado.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.” (Marthin Luther King)

RESUMO

Os estudos ambientais voltados para análise da vegetação através de índices espectrais têm se tornado essenciais para a caracterização e obtenção de dados que possam subsidiar ações voltadas ao planejamento ambiental das áreas analisadas. Com o advento das geotecnologias através de técnicas de sensoriamento remoto torna-se possível realizar uma análise histórica-espacial de médio a longo prazo além de possibilitar o monitoramento contínuo acerca das características ambientais de uma determinada área. O objetivo desse trabalho é analisar a relação entre a temperatura de superfície (LST) e índices espectrais de vegetação (IV) na bacia hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1). O LST e os índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI, referente aos anos de 2000, 2006, 2012 e 2018 das principais classes vegetacionais da bacia foram gerados a partir de imagens do sensor MODIS do satélite Terra MOD11A2 e MOD13A2. A autocorrelação espacial dos dados foi realizada pelo uso do índice local de Moran (LISA) que identificou os agrupamentos de correlação espacial entre a LST e os IV. A partir das análises a área de estudo foi segmentada em áreas com correlação positiva, que denotam áreas com relação direta entre LST e IV, e com correlação negativa, em que há relação inversa entre LST e IVs. A bacia JQ1 apresentou aumento nos valores das medianas do NDVI quando comparados os anos de 2000 e 2018, com valores de 0,57 e 0,63 respectivamente. As classes que apresentaram os maiores índices foram a floresta plantada e a formação florestal natural, demarcando assim as áreas com maior vigor vegetativo. A pastagem e a formação savânica demarcaram principalmente a região oeste da bacia JQ1 caracterizada por vegetação de porte intermediário e a região sul apresentou os menores índices de vegetação principalmente por ser macarda por afloramento rochoso e formação campestre. Pode-se concluir a importância do uso de imagens de satélites para avaliação temporal de parâmetros biofísicos para bacias hidrográficas para grandes áreas geográficas. Os resultados indicam a necessidade da utilização de, dados com maior resolução espacial, a fim de se obter valores com maior acurácia para as classes vegetacionais.

Palavras-Chaves: Sensoriamento Remoto, Temperatura de Superfície, Índices de Vegetação, MODIS.

ABSTRACT

Environmental studies aimed at analysing vegetation through spectral indices have become essential for characterising and obtaining data that can support actions aimed at environmental planning in the areas analysed. With the advent of geotechnologies through remote sensing techniques, it is possible to carry out medium to long-term historical-spatial analysis, in addition to enabling continuous monitoring of the environmental characteristics of a given area. Thus, this work aims to analyse the relationship between surface temperature (LST) and spectral indexes of vegetation in the Alto Rio Jequitinhonha hydrographic basin (JQ1). Based on the MapBiomas project, the delimitations (masks) of the main vegetation classes of the JQ1 basin were obtained, namely: forest plantation, savanna formation, grassland, natural forest and pasture. Later, MODIS images from the Terra satellite MOD11A2 and MOD13A2 were used to obtain the LST and the NDVI, EVI, SAVI vegetation indices for the years 2000, 2006, 2012 and 2018 via Google Earth Engine platform for each vegetation class of the JQ1 basin. The spatial autocorrelation of the data was performed using the Moran local index (LISA), which identified the spatial correlation clusters between LST and IV. Through LISA, the basin was segmented into positively correlated areas (directly proportional) that denote areas with increased LST and IV and areas with negative clusters (inversely proportional). There is an increase/decrease in correlated LST with the decrease/increase of IVs, respectively. The JQ1 basin showed an increase in the NDVI median values compared to the years 2000 and 2018, being 0.57 and 0.63, respectively. The classes that presented the best indexes were the planted forest and the natural forest formation, thus demarcating the areas with the greatest vegetative vigour. On the other hand, pasture and savanna formation mainly demarcated the western region of the JQ1 basin, characterised by intermediate-sized vegetation. The southern region had the lowest vegetation indexes, mainly because it was a rocky outcrop and grassland formation. The research showed the importance of using satellite images for the temporal evaluation of biophysical parameters for hydrographic basins for large geographic areas. However, it is necessary to use more types of data in addition to orbital products with higher spatial resolution.

Keywords: Remote Sensing, Surface Temperature, Vegetation Indices, MODIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Jequitinhonha com destaque em vermelho para a Bacia do Alto Jequitinhonha.	15
Figura 2: Bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha.	17
Figura 3: Classes de solos da bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha.....	20
Figura 4: Mapa Geológico do Alto Jequitinhonha.....	22
Figura 5: Cenas/ Tiles do sensor MODIS	28
Figura 6: Diagrama de Moran	33
Figura 7: Etapas do processo de dados orbitais.....	35
Figura 8: Área de cobertura do Sensor MODIS.....	37
Figura 9: NDVI para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018	42
Figura 10: Medianas Anuais NDVI para as classes vegetacionais – JQ1 –Anos de 2000, 2006, 2012, 2018.....	44
Figura 11: Desvio Padrão da mediana do NDVI ano 2000 – Bacia JQ1	45
Figura 12: Desvio Padrão das medianas do NDVI ano 2018 – Bacia JQ1	46
Figura 13: EVI para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018.....	47
Figura 14: Medianas anuais do EVI para as classes vegetacionais JQ1 nos anos 2000, 2006, 2012 e 2018.....	48
Figura 15: Desvio Padrão das medianas do EVI ano 2000 – Bacia JQ1	49
Figura 16: Desvio Padrão das medianas do EVI ano 2018 – Bacia JQ1	50
Figura 17: Medianas do SAVI para as classes vegetacionais JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018 ..	52
Figura 18: LST para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018	54
Figura 19: Precipitação total para os anos de 2006 e 2012 – Estação Diamantina - MG	55
Figura 20: Precipitação total para os anos de 2006 e 2012 – Estação Salinas - MG	56
Figura 21: Mediana LST para as classes vegetacionais JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018.....	57
Figura 22: Dispersão NDVI x LST – bacia JQ1 – 2000 a 2018.....	59
Figura 23: Classes de Agrupamentos LST x NDVI– ano 2000– Bacia JQ1.....	60
Figura 24 : Classes de Agrupamentos LST x NDVI– ano 2018– Bacia JQ1.....	62
Figura 25: Classes de Agrupamentos LST x EVI– ano 2000– Bacia JQ1.....	63
Figura 26: Classes de Agrupamentos LST x EVI– ano 2018– Bacia JQ1.....	64
Figura 27: Classes de Agrupamentos LST x SAVI– ano 2000– Bacia JQ1.....	65
Figura 28: Classes de Agrupamentos LST x SAVI– ano 2018– Bacia JQ1.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Funções das bandas do sensor MODIS.....	26
Tabela 2: Produtos da superfície terrestre utilizando dados do sensor MODIS.....	26
Tabela 3: Níveis de processamento dados do sensor MODIS.....	27
Tabela 4: Informações dos produtos MOD11A2 e MOD13A2.....	36
Tabela 5: Classes de cobertura do solo do Alto Jequitinhonha.....	39
Tabela 6. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) – bacia – JQ1.....	41
Tabela 7. Mediana anual do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para as classes vegetacionais – Bacia JQ1.....	43
Tabela 8: Índice de Vegetação realçado (EVI) Média Mínima e Máxima anual – bacia JQ1.....	46
Tabela 9. Mediana Anual do Índice de Vegetação Realçada (EVI), para as classes vegetacionais – Bacia JQ1.....	48
Tabela 10. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), mediana anual – Bacia JQ1.....	50
Tabela 11: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), mediana anual para as classes vegetacionais – Bacia JQ1.....	51
Tabela 12: Temperatura de Superfície (LST) – Bacia JQ1.....	53
Tabela 13: Temperatura de Superfície (LST), mediana para as classes vegetacionais – Bacia JQ1.....	56
Tabela 14: Resultados da correlação – Bacia JQ1.....	58

SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
2	Objetivos	14
3	Caracterização da área de estudo.....	15
3.1	Localização da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	15
3.2	Clima.....	18
3.3	Solos	19
4	Contexto geológico da bacia hidrográfica do alto jequitinhonha – JQ1	22
5	Revisão Bibliográfica	24
5.1	Sensor MODIS.....	24
5.2	Temperatura de Superfície Terrestre - LST	28
5.3	Índices espectrais de Vegetação – IV.....	29
5.3.1	Índice de Vegetação com diferença Normalizado (NDVI) e Índice de Vegetação Realçado (EVI)	30
5.3.2	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI.....	32
5.3.3	Autocorrelação Espacial	33
6	Metodologia.....	34
6.1	Aquisição de dados orbitais	36
6.2	Dados de Temperatura de Superfície - LST	37
6.3	Índices Espectrais de Vegetação – NDVI, EVI e SAVI.....	38
6.4	Correlação LST e IV.....	39
6.5	Autocorrelação Espacial	40
7	Resultados	41
7.1	Índice de Vegetação com diferença Normalizado (NDVI).....	41
7.2	Índice de Vegetação Realçado (EVI).....	46
7.3	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	50
7.4	Temperatura de Superfície (LST).....	53
7.5	Correlação de Pearson	58
7.6	Autocorrelação Local – Índice de Moran	59
8	Conclusões.....	67
9	Referências.....	68

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, pesquisas apontam que estão ocorrendo variações dos padrões de chuvas, temperatura de superfície e da atmosfera em diversas regiões do globo terrestre (KARL *et.al*, 1991; HELD e SODEN, 2006, IPCC, 2019). De acordo com Pires (2015), existem dois grandes fatores responsáveis por tais alterações, sendo eles a ação antrópica e fenômenos de ordem natural.

Os períodos de secas prolongadas em grandes áreas geográficas, assim como o aumento na recorrência dos fenômenos de enchentes, inundações e ilhas de calor, esses últimos fenômenos voltados principalmente para áreas urbanas (GOODESS, 2012; IPCC, 2019), têm provocado grandes ciclos migratórios populacionais em todo o globo (WARNER *et.al*, 2008, OLIVER-SMITH, 2012).

O aumento da temperatura global e suas consequências são postulados como eventos que já estão ocorrendo tendo sido registrado por exemplo o aumento na temperatura média do ar desde o período pré-industrial juntamente com o aumento da frequência e intensidade das secas em regiões como o Mediterrâneo, Ásia, partes da América do Sul e África (IPCC, 2019). Uma das consequências do aumento da temperatura é a variação térmica da superfície terrestre que influencia diretamente no balanço de radiação incidente sobre a Terra (MARENGO, 2008, FRANCO *et.al*, 2016).

Xavier *et.al* (2015) colocam que as observações das temperaturas de superfície analisadas em uma determinada escala de tempo, podem revelar padrões importantes de mudanças climáticas. Períodos de estiagem prolongados podem ser eventos naturais ligados ao tempo de recorrência do próprio fenômeno da estiagem (JEPPESEN *et.al*, 2009; MOSS *et.al*, 2011) entretanto, o alto grau de antropização de áreas naturais pode influenciar diretamente no aumento da temperatura de superfície terrestre contribuindo para aquecimento em microescala.

A redução de áreas com cobertura vegetal pode contribuir para a elevação da temperatura de superfície e conseqüentemente maior evaporação diminuindo assim a disponibilidade do recurso hídrico em superfície (MOREIRA, 2016). Os processos físicos naturais que relacionam trocas de água e energia estão intrinsecamente ligados aos ciclos da vegetação, isso se deve ao fato da atmosfera ser passível de influências térmicas da superfície do continente (SOUZA *et.al*, 2011; PADOVANNI, 2017).

Para Pereira *et.al* (2012) as alterações nos padrões de uso e ocupação do solo oriundas da ação antrópica são os principais responsáveis pelos impactos ambientais de ordem social e econômica. Biermann e Boas (2010) colocam que o debate acerca das alterações climática e suas consequências tem sido muito recorrente em toda comunidade internacional.

Segundo Padovanni (2017) para a realização de uma análise acerca de possíveis alterações climáticas de uma determinada região é de fundamental importância identificar as modificações da cobertura vegetal e de uso do solo, uma vez que estes parâmetros interferem diretamente no balanço de energia.

Nesse contexto, avaliar o comportamento térmico da superfície terrestre e relacioná-los com a cobertura vegetal é um passo importante para se validar a ocorrência na mudança dos padrões climáticos regionais. Segundo Sun e Kafatos (2007) os dados provenientes do sensoriamento remoto exercem papel cada vez mais importante no monitoramento da condição da vegetação principalmente relacionados à seca em ambientes áridos e semiáridos.

A bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha em Minas Gerais abrange uma região carente de desenvolvimento socioeconômico tanto do Vale do Jequitinhonha como parte do Norte de Minas Gerais. A região apresenta alta contribuição hídrica para uma das regiões mais pobres economicamente do Estado de Minas Gerais, sofrendo impactos diretos das atividades antrópicas como silvicultura e garimpo.

Assim, compreender o comportamento das variáveis biofísicas temperatura e índices de vegetação da bacia do Jequitinhonha pode contribuir para a identificação de alterações climáticas regionais, permitindo a adoção de medidas para evitar o aumento do déficit hídrico da região.

2 OBJETIVOS

Analisar a relação entre a temperatura de superfície (LST) e índices espectrais de vegetação na bacia hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1).

A fim de se alcançar o objetivo principal são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Comparar o comportamento das diferentes classes vegetacionais da bacia JQ1 ao longo da série histórica através dos índices de vegetação;

- Analisar as alterações temporais e o comportamento espacial da LST e os índices espectrais de vegetação na JQ1 para os anos de 2000, 2006, 2012 e 2018; e

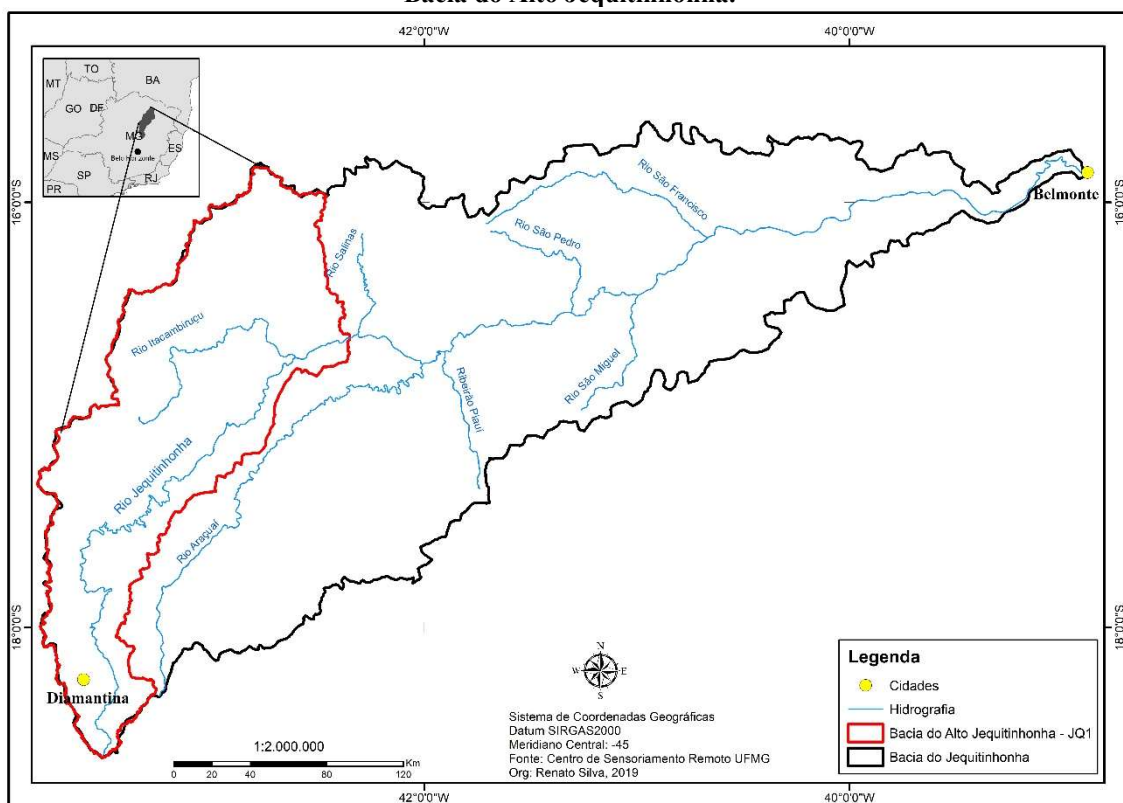
- Identificar áreas que haja autocorrelação espacial da LST e dos índices de vegetação.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

Para a realização desta pesquisa definiu-se como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha, que é definida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) como Circurscrição Hidrográfica (CH JQ1) (Figura 1), que integra a bacia federal do Rio Jequitinhonha.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Jequitinhonha com destaque em vermelho para a Bacia do Alto Jequitinhonha.



Fonte: Base Cartográfica do Centro de Sensoriamento Remoto – UFMG.

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha está localizada na porção nordeste do Estado de Minas Gerais e uma pequena parte na porção sul da Bahia. Está compreendida entre os paralelos 16°S e 18°S e os meridianos 39°W e 44°W totalizando uma área de 69.900 km². Desta área, 65.800 km² situa-se em Minas Gerais valor que corresponde a 94,13% da área total, enquanto 4.100 km² pertencem à Bahia que corresponde a 5,87% da área total da bacia.

A bacia do Jequitinhonha contempla 70 municípios, sendo 63 em Minas Gerais e 7 na Bahia. O rio principal é o Jequitinhonha, com extensão total de 945 km desde a sua nascente no município do Serro/MG na região de Capivari até o oceano Atlântico onde

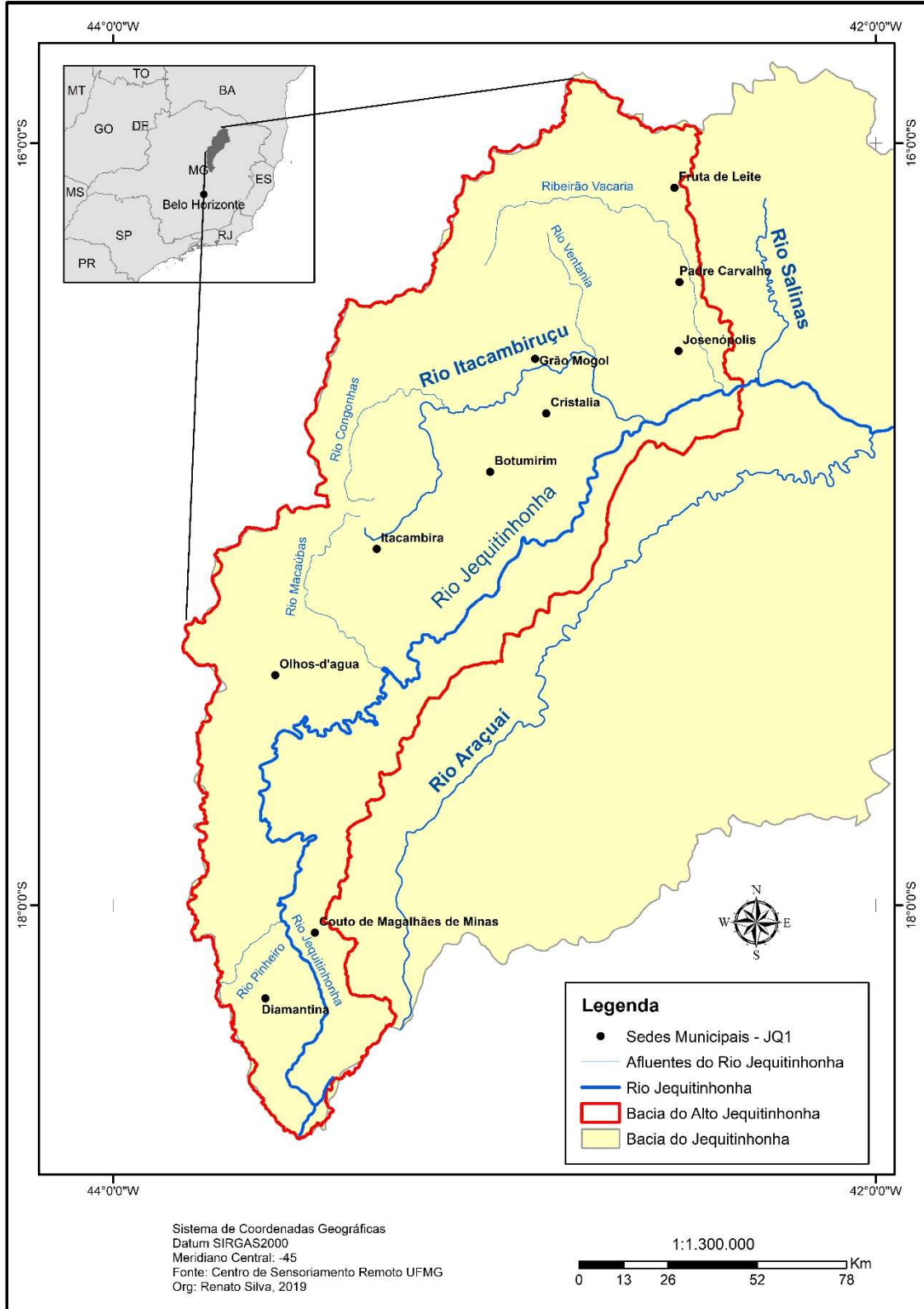
deságua na cidade de Belmonte no Estado da Bahia. Seus principais afluentes são os rios Araçuaí, São Miguel e ribeirão Piauí na margem direita e rios Itacambiruçu, Salinas, São Pedro e São Francisco na margem esquerda.

A sub bacia do Alto Jequitinhonha (JQ1) perfaz um total de 25 municípios abrangendo uma área total de 19.858,34 km², o que corresponde a aproximadamente 30 % da bacia do rio Jequitinhonha. Seus principais cursos d'água são o próprio rio Jequitinhonha e em sua margem esquerda o rio Itacambiruçu, próximo à cidade de Grão Mogol. Apenas 10 municípios apresentam suas sedes urbanas dentro da área da JQ1 com o total de 120.965 mil habitantes segundo o IGAM conforme figura 2.

De acordo com o relatório de diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha (IBGE, 1997) as principais atividades antrópicas que impactam o ciclo hidrológico dessa bacia hidrográfica são: a mineração e a garimpagem na parte a montante da bacia e o desmatamento para fins agropastoris associado a atividades de silvicultura nas regiões das chapadas.

Na parte alta da bacia próximo a cidade de Diamantina em Minas Gerais está situada parte da Serra do Espinhaço Meridional – SdEM, unidade fisiográfica de destaque no contexto geológico e geomorfológico regional.

Figura 2: Bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha.



Fonte: Fonte: Zoneamento Ecológico Econômico – IDESISSEMA-MG, 2020.

3.2 CLIMA

O clima da região da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) segundo Neves et.al (2005) apresenta parâmetros normais do zoneamento climático, porém é fortemente influenciado pelo fator orográfico uma vez que a SdEM apresenta valores de altitude média 1,250 metros acima do nível do mar.

Segundo a classificação climática de Koppen e Geiger (1936) a região da SdEM apresenta clima mesotérmico Cwb, marcado por verões brandos e úmidos e invernos mais frescos e secos com precipitação média anual que varia de 1.250 a 1.550 mm e temperatura média que varia de 18° a 19°C (NEVES *et.al*, 2005).

Acerca da caracterização climática da bacia do Jequitinhonha em sua totalidade o IBGE (1997) expõe que a bacia apresenta características climáticas que variam do clima semi-árido a úmido, com valores pluviométricos anuais entre 600 e mais de 1.600 mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano.

Em relação a distribuição espacial das chuvas segundo o IBGE (1997) concentram-se basicamente no período de outubro a março, sendo o trimestre dezembro a fevereiro responsável por mais de 50% da precipitação total. Devido a essa característica de concentração de chuvas Ferreira e Silva (2012) postulam que veranicos são comuns, fenômeno esse que afeta diferentemente a população principalmente porque ocorrem quando as taxas de evapotranspiração são muito elevadas.

Com relação aos dados de precipitação da bacia do Alto Jequitinhonha, a estação do INMET localizada em Diamantina obteve os melhores resultados para os anos analisados de 2000, 2006, 2012 e 2018 sendo 1641,5 mm, 1981 mm, 1220,9 mm, 1328,7 mm respectivamente. Quando comparados os valores obtidos na estação de Salinas que está localizada na porção ao norte da bacia os valores são de 914,5mm 1132,3mm, 513,3 mm, 1049mm para o mesmo período. A variação da temperatura média anual na bacia do Jequitinhonha é pequena apresentando valores na faixa dos 21 a 24°C (FERREIRA e SILVA, 2012).

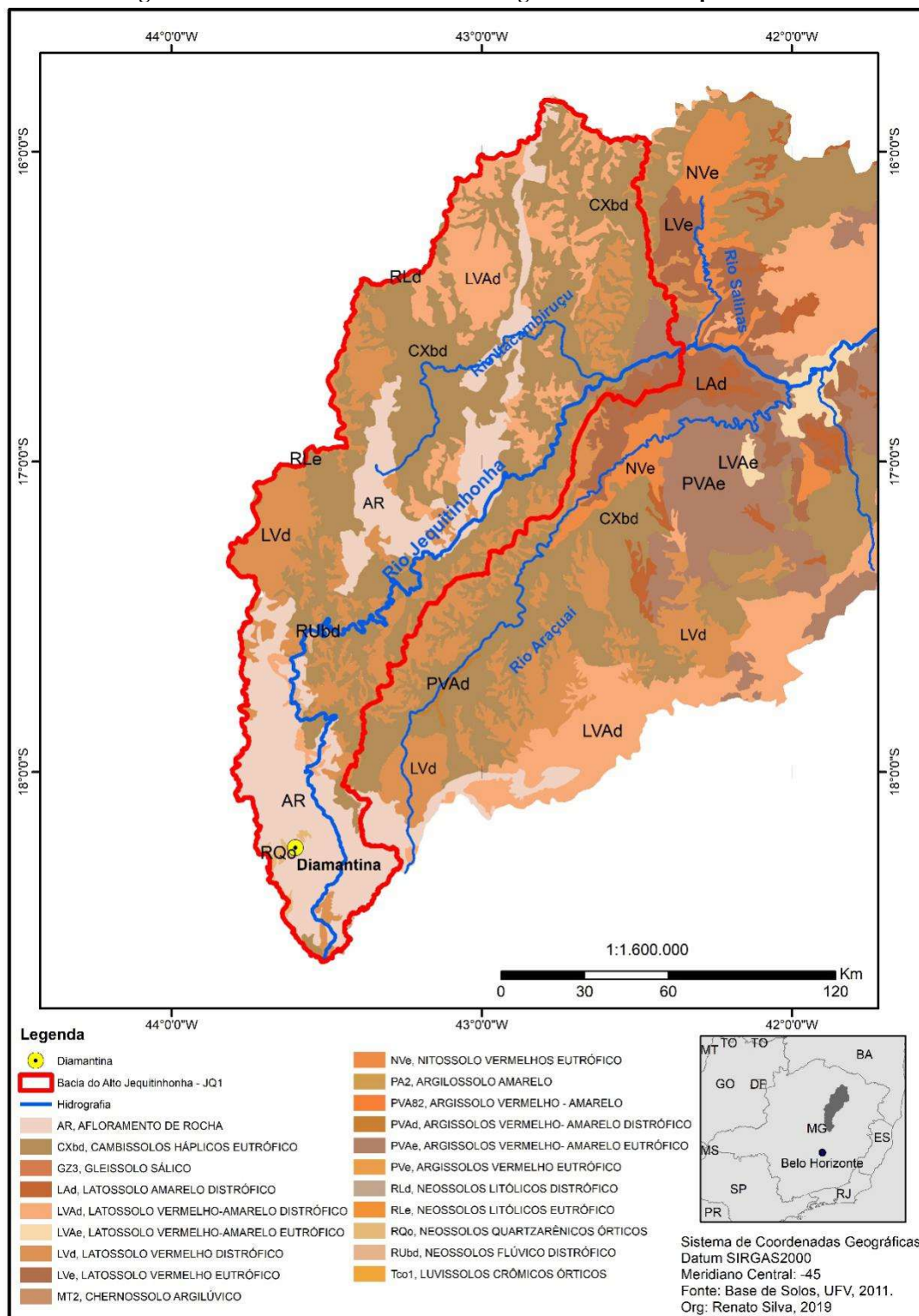
3.3 SOLOS

Os solos da bacia do Jequitinhonha se apresentam como fator determinante para análise ambiental uma vez que os solos estão diretamente ligados com os tipos de vegetação que por sua vez afetam o ciclo hidrológico.

Ferreira (2007) postula que as mudanças que ocorrem sobre os solos, sejam elas de caráter físico-químico ou biológico, influenciam diretamente no recurso hídrico tanto quantitativamente como qualitativamente.

Foram identificados como principais tipos de solos na bacia do Jequitinhonha de acordo com os mapeamentos feitos por EMBRAPA (2018), Ferreira (2007): Latossolos, Argissolos, Cambissolos acompanhado de manchas de Nesossolos (ligados à área de afloramento rochoso da SdEM), Litossolos, Gleissolos e Chernossolos (Figura 3).

Figura 3: Classes de solos da bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha



Fonte: UFV, 2011.

A partir da classificação pedológica os três grupos predominantes na área de estudo são: Latossolos, Argissolos e Cambissolo, representando 40%, 20% e 25% respectivamente da área da bacia.

Os latossolos são caracterizados de acordo com a EMBRAPA (2018) como solos profundos, permeáveis, muito porosos, friáveis e lixiviados que estão geralmente associados em as superfícies planas, suavemente ondulada a onduladas. Estão localizados nos topos das chapadas, áreas com declividades muito baixas tendo como material de origem os sedimentos argilo arenosos provenientes das coberturas detríticas (FERREIRA, 2007).

Os latossolos são utilizados principalmente para fins de reflorestamento na bacia do Jequitinhonha, no tocante ao aproveitamento agrícola. Apresentam excelentes condições físicas e que as limitações quanto à fertilidade natural não é um entrave a produção regional desde que utilizados sob sistemas de manejo adequados e que se faça uso de técnicas agrícolas que incluam a correção da acidez, o aumento da fertilidade e o controle erosivo (FERREIRA, 2007).

Os argissolos são essencialmente minerais, com horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica de coloração clara (A ou E), seguido de horizonte B textural de cor avermelhada a amarelada, dependendo do teor de óxidos de ferro (EMBRAPA, 2018; FERREIRA 2007). Esses solos são compostos por horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, podendo apresentar caráter alumínico na maior parte do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Os argissolos na bacia do Jequitinhonha são encontrados nas áreas das encostas onde o relevo é ondulado (12 a 24%). Parte dos argissolos da bacia do Jequitinhonha perderam totalmente o horizonte A fato esse que acarreta forte queda de produtividade em relação aos solos não degradados uma vez a ausência do horizonte A os torna muito ressecados (FERREIRA, 2007).

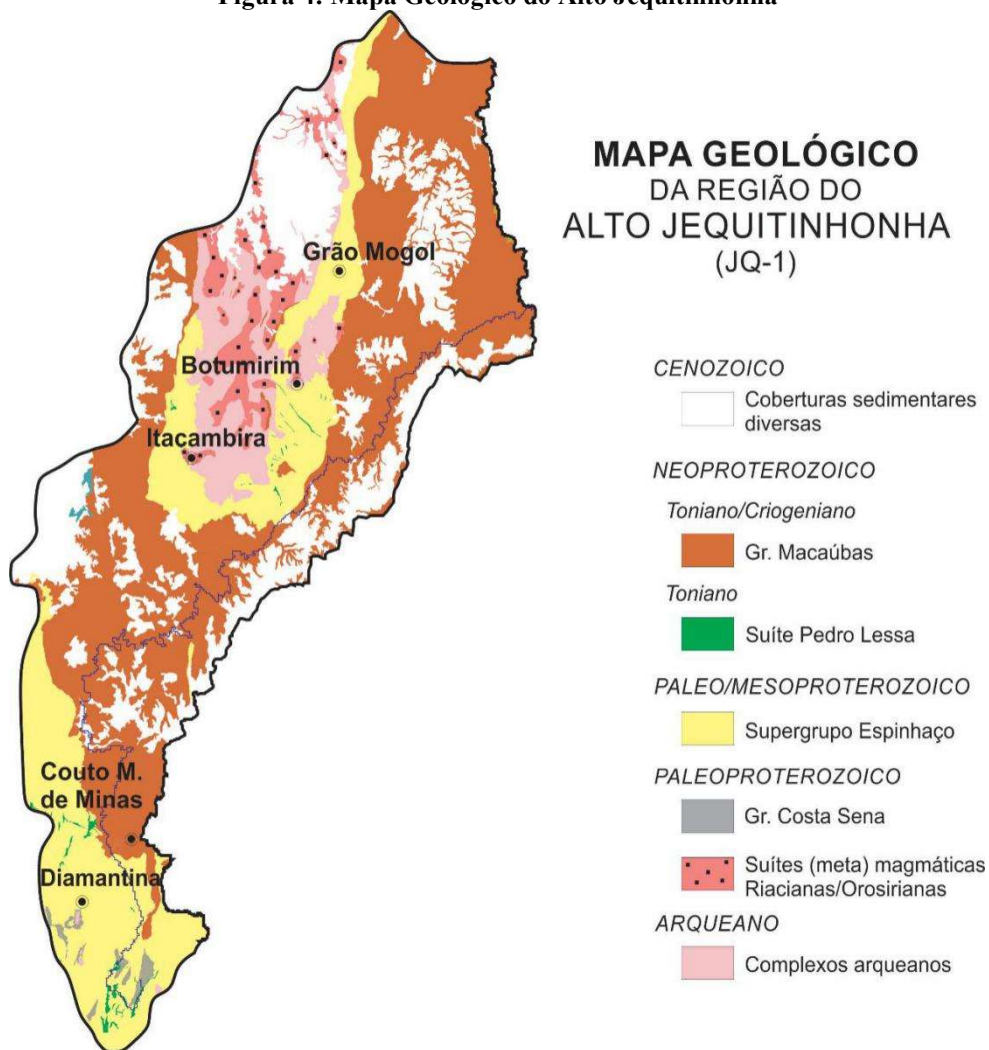
Por fim, os cambissolos são solos pouco desenvolvidos, apresentando alteração física e química em grau muito baixo. Geralmente ocorrem em locais com declividades mais elevadas e são muito erosivos (EMBRAPA, 2018).

São predominantes nas áreas de colinas provenientes de rochas xistosas do Grupo Macaúbas (FERREIRA, 2007). Para esse autor, são solos altamente susceptíveis a degradação ambiental como, por exemplo, elevadas perdas materiais e contaminações hídricas isso porque são solos que estão em formação e com elevados teores de silte.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JEQUITINHONHA – JQ1

Área foco deste projeto, a bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha, apresenta embasamento geológico muito antigo e diverso com rochas que variam do período Arqueano até o Cenozóico (e.g. KUCHENBECKER, 2018 – Fig. 4). Essa diversidade de litologias está ligada a ocorrência de vários ciclos tectônicos regionais, com destaque para as orogenias Riacciana-Orosiriana e Brasiliana (e.g. KUCHENBECKER, 2018).

Figura 4: Mapa Geológico do Alto Jequitinhonha



Fonte: Adaptado de Kuchenbecker (2018)

O embasamento pré-cambriano dessa região foi definido pela primeira vez Almeida *et.al* (1977). Schobbenhaus e Brito Neves (2003) e, mais recentemente Kuchenbecker (2018), mostram que a região do Alto do Jequitinhonha é marcada pela presença de gnaisses e migmatitos, seguidos de rochas metassedimentares de baixo grau metamórfico relacionadas a diferentes ciclos baciais durante o pré-cambrianos.

As rochas do Complexo Porteirinha, em particular os gnaisses e migmatitos, são principais representantes do Arqueano, localizadas principalmente na região próxima às cidades de Botumirim e Itacambira (e.g. KUCHENBECKER, 2018). Mais ao sul, próximo a cidade de Diamantina onde ocorrem exposições de granitóides também arqueanos, pertencentes ao Complexo Gouveia (e.g. FOGAÇA *et.al.*, 1997).

Entre as rochas representantes do Paleoproterozóico destacam-se as (meta) ígneas de composição graníticas a granodioríticas também pertencentes ao Complexo Porteirinha, (NOCE *et.al.*, 2007) mais especificadamente das Suítes Paciência e Catolé, ocupando uma extensa faixa entre Itacambira e Grão Mogol (KUCHENBECKER, 2018). As rochas metassedimentares paleoproterozóicas são representadas pelos xistos, quartzitos, metaconglomerados que perfazem o Grupo Costa Sena aflorantes próximo a Diamantina (LOPES-SILVA e KNAUER, 2011);

Do Mesoproterozoico destacam-se as rochas do Supergrupo Espinhaço, representadas principalmente por quartzitos associados a rochas filíticas, conglomeráticas e vulcânicas, que conferem a essa região um relevo dissecado, apresentando vertentes íngremes e vales profundos (e.g. FERREIRA, 2007).

Na região a montante da bacia do Alto Jequitinhonha estão localizadas as nascentes dos rios Jequitinhonha e Araçuaí que devido ao alto grau de fraturamento do arcabouço geológico apresenta alta permeabilidade quando comparada com as rochas xistosas do Grupo Macaúbas na porção mais a jusante da bacia (e.g. FERREIRA, 2007; 2011).

O início do Neoproterozoico é marcado por um evento extensional no paleocontinente do São Francisco – Congo, registrado principalmente pelos diques metabásicos da Suíte Pedro Lessa, que ocorrem próximos a Diamantina, e pelas rochas metassedimentares da base do Grupo Macaúbas (CASTRO, 2014, KUCHENBECKER, 2018).

A distribuição das formações do Grupo Macaúbas no Alto do Jequitinhonha ocorre da seguinte forma:

(a) A Formação Duas Barras, formada por metapelitos, metarenitos e metaconglomerado e a Formação Domingas representada por metadolomitos, ocorrem na região próximo a Couto de Magalhaes e Diamantina (KUCHENBECKER *et.al.*, 2015);

(b) A Formação Rio Peixe Bravo, marcada por rochas metapelíticas e metareníticas, ocorre principalmente na região leste de Grão Mogol (KUCHENBECKER, 2018);

(c) A Formação Matão, com rochas metassedimentares caracterizada por metarenitos que apresentam variação de cores do branco ao rosado, intercalados por metaconglomerados em direção ao topo (MARTINS *et.al.*, 2008) que afloram na região de Itacambira (MARTINS *et.al.*, 2008; KUCHENBECKER, 2018).

Por fim, o Cenozoico é marcado pela presença de grandes faixas com coberturas detríticas (chapadas) que ocorrem sobre as rochas de baixo grau metamórfico (xistosas) descritas anteriormente. As formas de relevo apresentam declividade muito baixa (suave) que se encerram de forma abrupta apresenta-se como uma área muito heterogênea em relação a embasamento geológico, evidenciando grande diversidade de formas do relevo (FERREIRA, 2007; 2011).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 SENSOR MODIS

O presente trabalho se baseará em dados orbitais do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua. O sensor apresenta resolução temporal de 1-2 dias e 36 bandas espectrais em diferentes regiões do espectro eletromagnético, incluindo a faixa do infravermelho termal (bandas 31 e 32) (SOARES *et.al.*, 2007).

O sensor MODIS está a bordo dos satélites TERRA e AQUA que são a primeira e segunda plataforma do programa EOS lançados em dezembro de 1999 e maio de 2002 respectivamente. O sensor MODIS a bordo do satélite TERRA disponibiliza dados de radiância em nível 1 e radiância com calibração e georreferenciamento em nível 2, além de dados com significado físico de reflectância, índice de área foliar e temperatura de superfície (SOARES *et. al.*, 2007).

O programa EOS tem como objetivo a observação contínua dos processos de mudanças globais com isso suas plataformas e sensores foram planejados para operar por um longo período de tempo (LATORRE *et.al.*, 2003, SOARES *et.al.*, 2007). O EOS foi concebido com três componentes básicos: 1) Ciência de observação da Terra, 2) sistema de observação e 3) sistema de controle de dados e informações.

O primeiro componente do programa EOS que é a Ciência de Observação da Terra aborda os processos de mudança climática em escala global e as investigações dos fenômenos que os causam.

O Sistema de Observação teve como finalidade o lançamento de plataformas de pequeno e médio porte. Foram produzidos 24 sensores para contemplar pelo menos 15 anos de operação com segurança na produção de dados.

O último componente do programa EOS é o Sistema de Controle de Dados e Informações (EOSDIS). Esse componente tem a finalidade de controlar as plataformas e sensores em operação, receber pedidos dos usuários do sistema e fazer o planejamento da observação além de processar, arquivar e distribuir os dados coletados (SOARES *et.al*, 2007).

O EOSDIS tem como principal instrumento o sensor MODIS que está a bordo dos satélites TERRA e AQUA. O satélite TERRA foi lançado em 18 de dezembro de 1999 e inicialmente era conhecido como EOS-AM, justamente por fazer observações no período da manhã. A plataforma AQUA foi lançada no dia 04 de maio de 2002 em complementação as observações da plataforma TERRA e inicialmente era denominada como EOS-PM (SOARES *et.al*, 2007).

Os produtos oferecidos pelo MODIS possibilitam a leitura histórica dos dados terrestres, oceano e atmosféricos de maneira contínua ao longo da série histórica, além de serem disponibilizados de maneira gratuita, fato que permite a realização de estudo acerca de fenômenos climáticos com baixo custo de investimento.

Pires (2017) coloca que a aquisição de imagens ao longo de uma série histórica possibilita visões de diferentes escalas e tempo além de permitir a transformação de dados do infravermelho termal em temperaturas aparente da superfície.

De acordo com Barke *et.al* (1992), Latorre *et.al* (2003), Rosendo (2005) e Soares *et.al* (2007) o sensor MODIS é o principal instrumento das plataformas TERRA e AQUA e foi projetado para obter dados da atmosfera, oceano e superfície terrestre. Possui bandas de resolução espectral nas regiões do Visível – VIS e do Infravermelho – IV, com uma cobertura global a cada 2 dias (JUSTICE *et.al*, 2002; LATORRE *et.al.*, 2003; SOARES *et.al.*, 2007).

Possui 36 bandas que variam no intervalo de 0,4 μm a 14,4 μm no espectro eletromagnético e 12 bits de resolução radiométrica (LATORRE *et.al*, 2003; SOARES *et.al.*, 2007).

O MODIS apresenta ampla faixa de imageamento de 2.330 km de largura, além de diferentes resoluções espaciais suas bandas espectrais sendo 2 bandas de 250 m, 5 bandas de 500 m e 29 bandas de 1 km (ROSENDO, 2005; SOARES *et.al.*, 2007).

Segundo Soares *et.al* (2007) as bandas do MODIS foram planejadas para que o sensor registrasse as propriedades das nuvens, vegetação na cobertura terrestre, da temperatura da superfície dos oceanos e da criosfera. As bandas estão configuradas de diferentes formas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Funções das bandas do sensor MODIS

BANDAS	FUNÇÕES
1 a 7	Aplicações Terrestres
8 a 16	Observações Oceânicas
17 a 19	Medições Atmosféricas
20 a 36	Cobrem a porção do termal do espectro eletromagnético

Fonte: Barke et.al 1992

Para Soares *et.al* (2007) as características das bandas do MODIS permitiram a criação de 44 produtos (MOD1 a MOD44) que disponibilizam informações no tocante a vários ramos do conhecimento das ciências ambientais. Os dados servem de subsídio para análises ambientais nos estudos acerca das ciências atmosféricas. A seguir a tabela 2 apresenta os produtos para uso em estudos prioritariamente voltados à superfície terrestre.

Tabela 2: Produtos da superfície terrestre utilizando dados do sensor MODIS

<i>Produtos voltados ao balanço de energia</i>	
MOD09	Reflectância de Superfície
MOD11	Temperatura de Superfície e Emissividade
MOD43	BRDF/Albedo
MOD10 e 29	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar
<i>Produtos Relacionados à vegetação</i>	
MOD13	Índices de Vegetação – NDVI e EVI
MOD15	Índices de Área Foliar e Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa
MOD16	Evapotranspiração
MOD17	Fotossíntese Líquida e Produtividade Primária
<i>Produtos relacionados à cobertura terrestre</i>	
MOD12	Cobertura da Terra/ Mudança da cobertura da Terra
MOD14	Anomalias Termiais – Fogo e Queima de Biomassa
MOD44	Mudança de cobertura Vegetal

Fonte: Adaptada Justice et. al (2002, p.4). Em destaque em negrito para os produtos que serão utilizados nesse estudo.

NDVI: Índice de vegetação com diferença normalizada; EVI: Índice de vegetação melhorado.

Os dados MODIS são disponibilizados em produtos que possuem correção geométrica, atmosférica, radiométrica e são dispostos hierarquicamente em 5 níveis de processamento, onde cada nível varia de acordo com o grau de processamento. Conforme tabela 3.

Tabela 3: Níveis de processamento dados do sensor MODIS

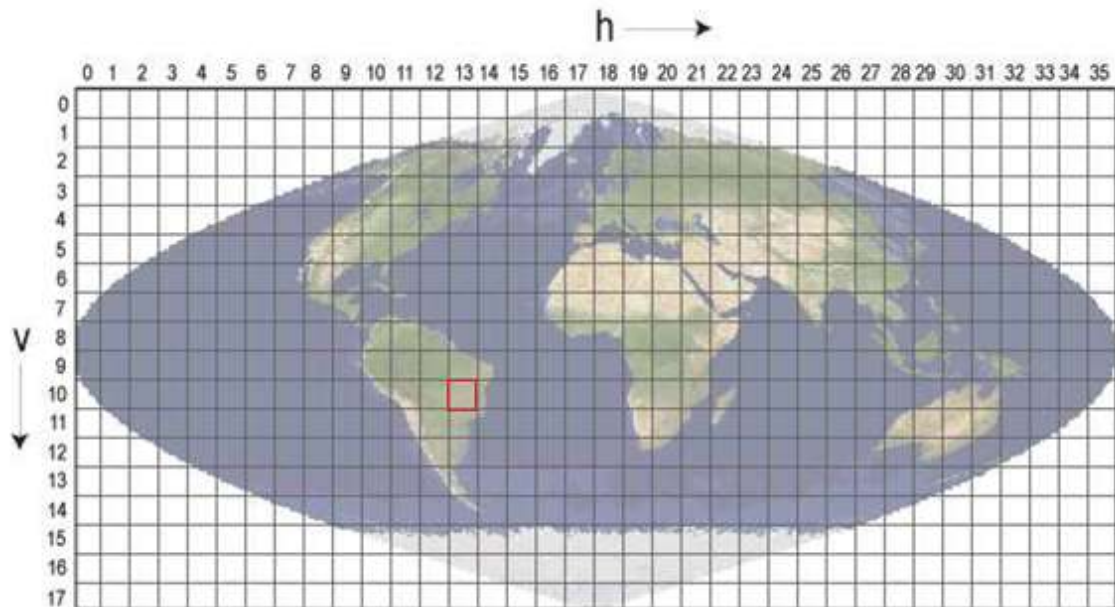
Nível 0	Dado bruto sem tratamento e não disponível ao usuário.
Nível 1A	Base de dados de 36 canais do MODIS é utilizado como produto base para geolocalização, calibração e processamento.
Nível 1B	Produtos compostos por dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas no nível 1A. Apresenta dados adicionais como dados de calibração e estimativas de qualidade e de erro.
Nível 2	Produtos derivados de radiâncias calibradas de produtos prévios do MODIS. Os produtos nível 2G (L2G) são gerados a partir do nível 2
Nível 3	Produtos espacialmente reamostrados e temporalmente compostos para reproduzir estimativas de variáveis geofísicas para cada uma das grades de localização. A escala de tempo dos produtos neste nível é de um dia até um ano.
Nível 4	Produto gerado por meio da incorporação dos dados MODIS em modelos para realizar estimativas de variáveis geofísicas.

Fonte: JUSTICE *et al.*, (2002), Latorre *et.al* (2003, p.102); Soares *et.al* (2007, p.17).

As imagens do MODIS são disponibilizadas por recortes espaciais conhecidos como cenas ou *tiles*, e são indicadas com a letra h (horizontal) possuindo 36 *tiles* e v (vertical) possuindo 18 *tiles*. Cada *tile* possui 10 X 10 graus de latitude/longitude, sendo o território brasileiro coberto por 17 *tiles* (PIRES, 2017).

A figura 5 mostra como a superfície da Terra é coberta pelos *tiles* do MODIS.

Figura 5: Cenas/ Tiles do sensor MODIS



Fonte: Pires (2017), destaque em vermelho para o *tile h13v10*

5.2 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE - LST

A temperatura de superfície terrestre (*Land Surface Temperature – LST*) é uma variável biofísica importante nos processos físicos da superfície terrestre pois combina os resultados das interações da atmosfera com a superfície através dos fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (WAN e LI, 1997).

Para Leite (2011) a obtenção da LST por sensor remoto é oriunda do balanço de radiação entre radiação de onda curta e onda longa que envolve a região do infravermelho. Novo (2008) coloca que a faixa espectral utilizada para estudos acerca da temperatura na superfície terrestre é do infravermelho termal.

Com isso, a faixa espectral que permite uma maior transmissão da energia emitida da Terra que alcança o sensor na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético é o intervalo de 8,0 a 14,0 μm (STEINKE *et. al*, 2010).

Dentre as variáveis climatológicas passíveis de serem analisadas para caracterização de uma determinada região destaca-se a temperatura de superfície pois essa variável estima o fluxo de energia da superfície da Terra (PADOVANNI, 2017).

Para Pires (2015) LST é uma variável que deve ser analisada em estudos acerca de alterações climáticas pois evidencia os processos de dependência dos fatores solo/atmosfera e atua sobre os climas locais. Ratificando essa colocação Warren *et.al*

(2012) expõem que a LST é a principal variável para a execução de estudos ambientais acerca de mudanças climáticas.

Dentre os produtos do MODIS destaca-se o MOD11 pois apresenta a temperatura de superfície da Terra – LST e a emissividade (E) diárias da superfície terrestre que são variáveis fundamentais para se descrever os processos da superfície sendo muito requisitados para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (RUNNING *et al.*, 1994; LATORRE *et al.*, 2007).

Segundo Latorre *et al.* (2003) a temperatura de superfície utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) e a emissividade recuperados dos dados do AQUA/MODIS. O algoritmo LST é utilizado para recompor pixels com emissividades conhecidas nas bandas 31 e 32 e apresenta com os dados já georreferenciados e corrigidos para efeitos da atmosfera (SOARES *et al.*, 2007).

Araújo *et al.* (2018) avaliaram alterações nos parâmetros biofísicos (NDVI, LST e Albedo) no Nordeste brasileiro utilizando o MODIS no período de 2002 a 2011. Verificaram que a LST no período analisado apresentou valores maiores que 28 °C sendo que regiões onde prevaleceram o cerrado e a caatinga os valores foram superiores a 30 °C. Os autores citados identificaram ainda correlação direta entre o aumento da LST quando os dados de precipitação apresentaram valores abaixo dos 1500 mm anuais.

Santos (2018) realizou análise acerca da umidade do solo, do balanço climatológico e da dinâmica da vegetação em região semiárida com produtos MODIS como LST e NDVI. Este autor identificou uma diferença entre os valores de umidade em função da cobertura vegetal paralelamente a uma queda acentuada nos valores de precipitação na área de estudo que foi acompanhado pelo aumento da temperatura e do índice de aridez, fato que resultou na redução da umidade do solo e no aumento da evapotranspiração que por fim culminou no déficit hídrico da região.

5.3 ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO – IV

Os índices de vegetação (IVs) exercem função primordial enquanto metodologias que proporcionam análises acerca da dinâmica temporal e do vigor da vegetação. De acordo com Formaggio e Sanches (2017) a interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação possibilita a mensuração dos IV que operam principalmente entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, permitindo a estimativa de parâmetros

biofísicos como área foliar, cobertura vegetal, porcentagem de cobertura dos solos dentre outros.

Os IV são diferenciados em grandes grupos, aqui iremos citar dois deles: Índices Simples e Índices Ajustados ao solo. Dentre os índices simples destaca-se o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) proposto por Rouse *et.al* (1973) como o IV amplamente utilizado nos estudos ambientais (PIRES, 2017). Em relação os índices ajustados ao solo destacam-se o Índice de Vegetação ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice da Vegetação Realçado (EVI) propostos respectivamente por Huete *et.al* (1988; 1997).

O IV SAVI atua de forma a minimizar o efeito dos solos abaixo da vegetação (cobertura de dossel) enquanto o EVI tem por objetivo aperfeiçoar o sinal da vegetação reduzindo as influências das respostas espectrais dos solos e da atmosfera.

Segundo Franciscan (2018) a estimativa dos índices de vegetação associados a dados de superfície terrestres tem sido utilizada para o manejo de grandes áreas. Baseado na relação entre as variáveis biofísicas (umidade do solo, precipitação, temperatura) que perfazem as características climáticas de uma região.

Os IVs são utilizados como excelentes produtos que visam a quantificação e monitoramento de fenômenos em uma bacia hidrográfica pois auxiliam na indicação de áreas em transformação.

Para Rosendo e Rosa (2005) os IV indicam as condições da vegetação monitorada o que os evidencia enquanto produtos do sensoriamento remoto como peças fundamentais para análise da condição da vegetação.

Os dados obtidos dos índices NDVI e LST são importantes para se determinar mudanças na vegetação (JULIEN *et.al.*, 2006). Esses autores demonstraram em sua pesquisa que a redução do NDVI em algumas regiões e o aumento em outros locais estavam associados diretamente a um aumento na temperatura da superfície acima 2,5 °C, indicando que as áreas áridas e semiáridas se tornaram mais áridas.

5.3.1 *Índice de Vegetação com diferença Normalizado (NDVI) e Índice de Vegetação Realçado (EVI)*

O NDVI foi proposto inicialmente por Rouse *et.al* (1973) é uma relação entre as refletâncias das bandas do infravermelho próximo e o vermelho. Visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar, minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais e é sensível a clorofila (ROUSE *et.al* 1973; LATORRE *et.al* 2007, MOREIRA 2016). Podendo ser obtido de conforme a equação:

$$NDVI = \frac{IV - V}{IV + V} \quad (1)$$

Onde, IV é o Infravermelho Próximo e V é a Radiação do Vermelho.

Outro índice de vegetação disponibilizado pelo MOD13 é o EVI, desenvolvido por Huete *et.al* (1997) com o objetivo de melhorar o sinal da vegetação. Esse índice é mais sensível à variação da estrutura do dossel (LATORRE, *et.al* 2007, MOREIRA, 2016), reduzindo as influências atmosféricas e do solo. O EVI é obtido conforme a equação:

$$EVI = G \cdot \frac{IV - V}{IV + C1 \cdot V - C2 \cdot A + L} \quad (2)$$

Onde,

G = Fator de Ganho (2,5)

IV = Refletância do Infravermelho Próximo

V = Refletância do Vermelho

L = Fator de correção para a interferência do solo (constante igual a 1)

C1 e C2 = Coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis na atmosfera (6 e 7,5 respectivamente).

A = Refletância do Azul

Os valores propostos para os fatores L, G, C1 e C2 foram definidos por Huete *et.al* (1997) e Justice *et.al* (1998).

Os índices de vegetação do MOD13 permitem realizar estudos acerca das condições da cobertura vegetal ao longo do tempo em escalas regional e global (LATORRE *et.al* 2007).

O produto MOD13 gerado pelo MODIS disponibiliza os índices NDVI e EVI produzidos globalmente com resolução espacial de 250 m, 500 m e 1 km em composição de imagens mensais ou mosaicos de 16 dias (LATORRE *et.al* 2007).

Moreira (2016) ratifica o papel de destaque do produto MOD13 uma vez que este fornece dados temporais e espaciais da dinâmica da vegetação, fato que proporciona o monitoramento ao longo dos anos de diversos ecossistemas. Os dados MOD13 foram utilizados em estudos e monitoramentos voltados para a compreensão de fenômenos tais

como queimadas no Cerrado (SANTOS, 2018) secas/estiagens no norte de Minas Gerais (MOREIRA, 2016).

Bayma (2015) avaliou o potencial do NDVI e EVI do MODIS para detecção de desmatamentos no Cerrado. A autora definiu limiares de desmatamento por formação vegetal para formações florestais e savânicas. Paula *et.al* (2013) conseguiram diferenciar pastagem plantada e natural comparando NDVI e EVI do Landsat 5, e Ferreira *et.al* (2013) utilizaram NDVI e EVI para avaliar a biomassa sadia e pastagem (*Brachiaria spp*) no bioma Cerrado.

5.3.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI

Proposto por Huete (1988) possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L.

O fator L varia com a característica da refletância do solo e depende da densidade da vegetação que se deseja analisar. Aplica-se para vegetação muito baixa o fator L =1, para intermediária L =0,5 e para altas densidades L =0,25, o valor a ser utilizado varia de acordo com a quantidade de cobertura do solo, sendo amplamente utilizado o valor 0,5 (HUETE,1988; ROSENDO E ROSA, 2005; LIU,2007; FRANCISCON, 2018). A equação do SAVI é descrita da seguinte maneira:

$$SAVI = \frac{IV-V}{IV+V+L} * (1 + L) \quad (3)$$

Onde L = variável de ajuste do solo, IV é o Infravermelho Próximo e V é a Radiação do Vermelho.

Destaca-se que ambos os índices são indicadores da condição e da densidade da vegetação saudável. O SAVI é uma adaptação do NDVI, caso o valor do fator L for zero o SAVI apresentará valor idêntico ao NDVI (DEMARCHI *et.al*, 2011).

O fator L no SAVI visa minimizar o efeito da presença de solo em meio a vegetação amenizando assim os efeitos de *background* do solo (HUETE, 1988).

Rosendo (2005) utilizou o SAVI e NDVI para o acompanhamento sazonal das modificações que ocorreram com a vegetação na bacia do rio Araguari na região do triângulo mineiro. Dantas *et.al* (2012) aplicaram o SAVI em diferentes regiões da Caatinga brasileira com diferentes sensores remotos e obteve resultado satisfatório com alto índice de correlação entre os resultados do SAVI.

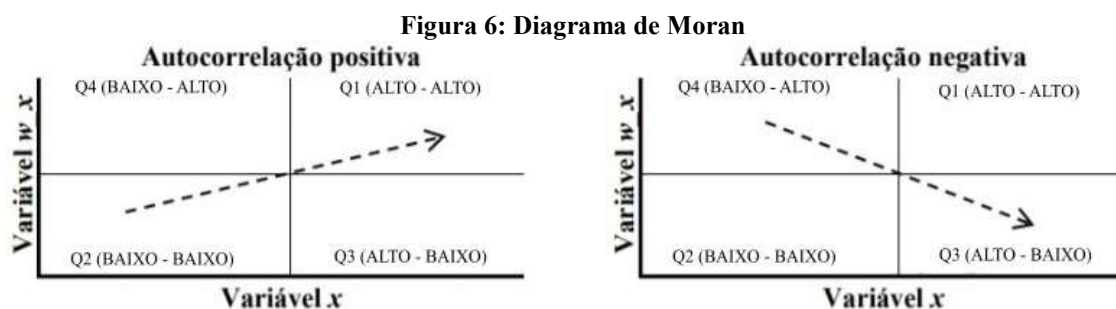
5.3.3 Autocorrelação Espacial

Câmara *et.al* (1996) expõe que os indicadores globais de autocorrelação espacial são úteis para a caracterização da região estudada como um todo, pois apresentam um único valor como medida da associação espacial para o conjunto de dados. Com isso o autor citado propõe a utilização de indicadores locais de associação espacial a fim de se obter padrões espaciais de correlação em maior detalhe.

Há duas maneiras de se mostrar a autocorrelação de Moran local, sendo elas o mapa de *clusters* (LISA) e o diagrama de Moran. O intuito de se apresentar o mapa de *clusters* é mostrar espacialmente quais são as áreas dentro da bacia JQ1 que apresentam correlação dos dados de LST com IVs e como essa correlação se dá. As áreas que apresentam vegetação com maior vigor são representadas pelos agrupamentos com menores valores de temperatura e maiores valores de índices de vegetação.

O diagrama de Moran, mostra como o conjunto de dados avaliados está distribuído em 4 quadrantes, e se os dados tendem a um comportamento linear. No eixo y do diagrama é analisado os índices de vegetação e no eixo x a temperatura de superfície. O diagrama de dispersão de Moran bivariado mostra o valor de uma variável no eixo x observada numa determinada região com o valor de outra variável observado nas no eixo y.

O gráfico é dividido em 4 (quatro) quadrantes conforme a figura 6 abaixo.



Fonte: Adaptado de Marconato *et.al* (2020)

Em Q1 (Alto – Alto) são apresentados valores positivos e médias positivas com a observação sendo de valor alto em relação à média e estando em cluster de valores altos (vizinhos também com valores acima da média).

O Q2 (Baixo – Baixo) apresenta valores negativos e médias negativas. Nesse quadrante os valores estão nas áreas que possuem valores baixos (em relação à média) e seus vizinhos também possuem valores baixos.

O Q3 (Alto – Baixo) apresenta valores positivos e médias negativas, com o alto valor da variável de interesse estando em uma área que as unidades vizinhas possuem um baixo valor.

Por fim, em Q4 (Baixo – Alto) ocorrem valores negativos e médias positivas, com as células com um baixo valor da variável de interesse sendo circundada por unidades espaciais com alto valor.

A autocorrelação positiva é apresentada com valores no primeiro e segundo quadrantes, já a autocorrelação negativa apresenta os dados plotados em sua grande maioria no terceiro e quarto quadrantes.

6 METODOLOGIA

A metodologia desse estudo foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira referente aos processamentos de dados orbitais, e a segunda parte a correlação espacial dos valores obtidos através das imagens de satélite. Nessa primeira etapa foram processados os índices de vegetação (IVs) e temperatura de superfície disponibilizados pelos produtos orbitais MOD11A2 e MOD13A2, ambos com 1000 m de resolução espacial.

A definição das principais classes vegetacionais a serem abordadas nesse trabalho foi baseada na área total ocupada dentro da bacia, sendo assim, as classes da Formação Florestal, Floresta Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre e Pastagem correspondem a mais de 95% do total da cobertura vegetal da área de estudo.

As classes vegetacionais foram obtidas a partir dos dados do projeto MapBiomas, e o período de análise foi definido com base no sensor MODIS que teve seu início no ano 2000. O produto MOD11A2 foi escolhido com o objetivo de minimizar a ocorrência de pixels com ausência de informações e devido a sua ampla série temporal de dados. A Versão 6 desse produto fornece a temperatura e emissividade terrestre média por pixel em composição de 8 dias (LST & E) com resolução espacial de 1 km em uma grade de 1.200 por 1.200 km (LATORRE *et.al.* 2003;2007; LIU, 2007; SOARES *et.al.* 2007).

Após a aquisição dos IVs e da LST para cada uma das classes vegetacionais foi avaliada a correlação entre os IVs e a temperatura de superfície a partir do testes de correlação de Pearson. A correlação de Pearson evidencia como os conjuntos de dados se relacionam não sendo uma análise espacial propriamente dita. A seguir, foi realizada a análise de autocorrelação espacial baseada no índice local de Moran.

A análise de autocorrelação espacial tem a premissa básica de se estimar a magnitude da autocorrelação espacial, mostrando assim como os valores estão correlacionados no espaço geográfico. A seguir a figura 7 apresenta o fluxograma com os procedimentos metodológicos.

Figura 7: Etapas do processo de dados orbitais



Fonte: Próprio Autor, 2020.

6.1 AQUISIÇÃO DE DADOS ORBITAIS

Foram utilizados dados MODIS obtidos para os anos de 2000, 2006, 2012 e 2018. As imagens referem-se aos produtos do sensor MODIS sendo eles, Temperatura de Superfície (MOD11A2) e índices de vegetação NDVI e EVI (MOD13A2). Faz-se necessário dizer que esses produtos orbitais são disponibilizados pré-processados com correções radiométrica, geométrica e atmosférica (PIRES, 2017).

Para cada ano, foi calculada uma imagem de mediana constituída por 23 imagens, exceto para o ano 2000, com 20 imagens, uma vez que a resolução temporal dos produtos MODIS utilizados é de 16 dias para os índices de vegetação. Com isso foram utilizadas 89 imagens para o NDVI, 89 para o EVI, 89 para o SAVI. Para a LST foram utilizadas 178 imagens, uma vez que esse produto apresenta resolução temporal de 8 dias, totalizando 445 imagens para o período analisado de 2000 a 2018.

Para o índice de vegetação SAVI foram utilizadas das bandas do vermelho e do infravermelho próximo do MOD13A2. Foram adquiridas imagens desde o início da operação do sensor MODIS do satélite TERRA em fevereiro de 2000.

Nestas imagens foram utilizadas o filtro de mediana com o intuito de se descartar os valores extremos de alta refletância que possam interferir na composição do valor final. As imagens utilizadas são disponibilizadas gratuitamente no catálogo de imagens da NASA na plataforma *Google Earth Engine - GEE* (SINDHU *et.al*, 2018). A tabela 4 apresenta as resoluções dos produtos.

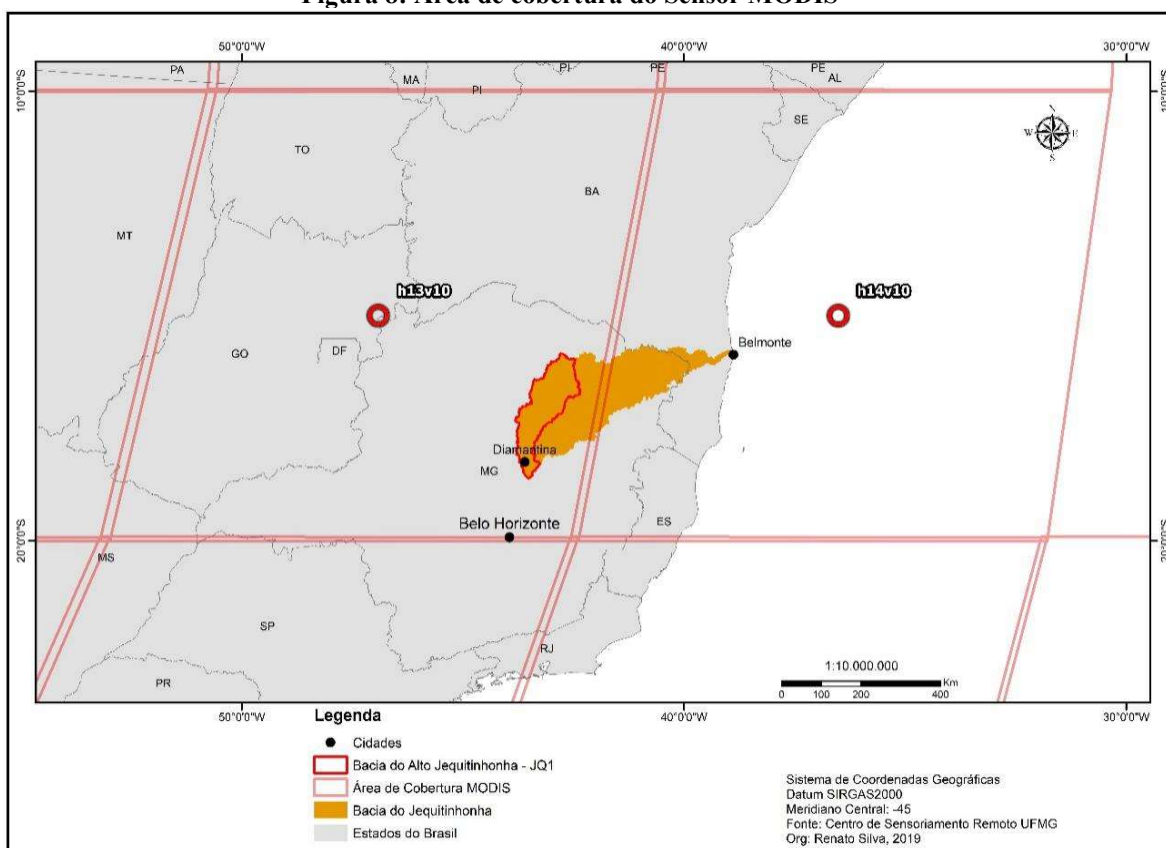
Tabela 4: Informações dos produtos MOD11A2 e MOD13A2

Imagem	Nível de Processamento	Res. Espacial	Res. Temporal	Projeção
MOD11A2	L3	1000m	8 Dias	Sinusoidal
MOD13A2	L3	1000m	16 Dias	Sinusoidal

Fonte: Adaptado de NASA, 2016

A figura 8 mostra as faixas de imageamento do sensor MODIS na área de estudo, compreendida pela *tile* h13v10.

Figura 8: Área de cobertura do Sensor MODIS



Fonte: Base Cartográfica do Centro de Sensoriamento Remoto – UFMG, tiles MODIS, LP DAAC, 2016.

6.2 DADOS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE - LST

Para se obter os valores da LST foram utilizados os produtos MOD11A2, que apresentam uma média simples de todos os pixels LST MOD11A1 correspondentes aos valores coletados dentro do período de 8 dias e resolução espacial de 1 km.

Leite (2011) expõe que um problema na utilização de imagens termais se dá pela interferência dos componentes da atmosfera na aquisição dos dados por sensor remoto, o que pode acarretar em *gaps* (ausência de dado). Conforme Pires (2015) o produto MOD11A2 proporciona a minimização de *gaps* devido à cobertura de nuvens.

A LST é uma variável biofísica que combina resultado das interações entre a atmosfera e o solo (PIRES, 2015; 2017). O aumento da LST ao longo do tempo para uma determinada área pode afetar diretamente o processo de evaporação local. A LST foi calculada segundo o algoritmo *Split-window* que recupera informação das bandas termais (banda 31 e 32) para fazer a estimativa da TST (WAN e DOZIER, 1996).

O *Split-window* processa a temperatura de superfície baseado na temperatura de brilho e emissividade das bandas 31 (10,780 μm - 11,280 μm) e 32 (11,770 μm - 12,270

μm) do produto MOD11, pois a emissividade das coberturas de solo apresentam valores que variam entre 10,5 μm e 12,5 μm (WAN e DOZIER, 1996).

Com isso a estimativa da TST através do *Split-window* é dada por:

$$\text{LST} = \left(A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 + \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31}+T}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31}+T}{2} + C \quad (5)$$

Onde, T_{31} e T_{32} são a temperatura de brilho das bandas 31 e 32 respectivamente; $\varepsilon = 0,5$ ($\varepsilon_{31} + \varepsilon_{32}$) e $\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{31} - \varepsilon_{32})$ são emissividades das bandas 31 e 32; $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ e C, são coeficientes de regressão.

Os dados MOD11 são fornecidos em temperatura Kelvin, sendo necessário utilizar um fator de conversão para que os dados sejam transformados para graus Celsius (WAN e DOZIER, 1996; PIRES, 2015, PADOVANNI, 2017), conforme a equação:

$$\text{LST } (^\circ\text{C}) = (\text{DN} * \text{F}) - 273,15 \quad (6)$$

Onde, LST é a Temperatura de Superfície Terrestre em graus Celsius, DN é o Digital Number, valor original do pixel no produto MOD11A2, em Kelvin, F é o fator de conversão = 0,02.

6.3 ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO – NDVI, EVI E SAVI

Os índices de vegetação NDVI e EVI são disponibilizados pelos produtos MOD13A2 do MODIS no catálogo da plataforma GEE. O produto MOD13A2 apresenta o NDVI e EVI sendo necessário dividir os valores de níveis de cinza para que o resultado seja expresso entre -1 e 1, conforme equação (SCHAAF, 2005; ARAI e FREITAS, 2007):

$$\text{NDVI} = (\text{DN}) \div 10000 \quad (7)$$

Onde DN é o número digital, valor do pixel,

Para obtenção do índice SAVI será aplicado dado obtido no NDVI ajustando-o ao fator do solo pelo fator L.

$$\text{SAVI} = \frac{\text{IV}-\text{V}}{\text{IV}+\text{V}+\text{L}} * (1 + \text{L}) \quad (8)$$

Onde,

IV: Banda do infravermelho próximo;

V: Banda do Vermelho;

L: Fator de que varia de acordo com o porte da vegetação.

O fator L varia conforme o tipo da vegetação sendo aplicado L = 1 para vegetação muito baixa, L= 0,5 para vegetação de porte intermediária e L = 0,25 para área que apresentem vegetação com altas densidades.

O fator L foi ajustado de acordo com os tipos de vegetação predominantes na área de estudo, considerando a caracterização da vegetação na área da bacia do Alto Jequitinhonha disponibilizada pelo projeto Mapbiomas (2018) para os anos de 2000, 2006, 2012 e 2018 para se definir as classes vegetacionais. Foram consideradas as seguintes classes: Formação florestal, floresta savânica, floresta plantada, formação campestre e pastagem (tabela 5).

Tabela 5: Classes de cobertura do solo do Alto Jequitinhonha

CLASSE		FATOR L
Floresta Natural	Formação Florestal	0,25
	Floresta Savânica	0,5
Floresta Plantada		0,25
Campestre		0,5
Pastagem		0,5

Estas classes representam 95% da cobertura vegetal da bacia hidrográfica no período estudado. As demais classes detectadas na área não foram consideradas, dada a baixa representatividade na área de estudo.

6.4 CORRELAÇÃO LST E IV

A partir dos valores obtidos para cada classe para LST e os IV, foi realizada a correlação linear de Pearson (r) que evidencia como as variáveis se correlacionam. Podendo ser direta ou inversamente, cujos resultados variam de -1 e 1 (ROGERSON, 2012).

A equação é descrita da seguinte forma:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (4)$$

Onde:

r: Coeficiente de correlação da amostra;

$\sum_{i=1}^n$: Somatório;

x_i, y_i : variáveis observadas, no caso desse estudo são os valores de temperatura do ar e precipitação;

\bar{x}, \bar{y} : média da amostra de x e y;

s_x, s_y : desvios padrão amostrais das variáveis x e y, respectivamente.

Os pontos que apresentarem valores mais próximos de +1 denotam correlação positiva, evidenciando uma relação diretamente proporcional entre as variáveis analisadas. Os valores próximos de -1 denotam correlação negativa, evidenciando uma relação inversamente proporcional (ROGERSON, 2012).

Os valores próximos a 0 indicam ausência de relação linear entre as variáveis, sendo importante avaliar graficamente os dados principalmente por meio de gráficos de dispersão (ROGERSON, 2012).

6.5 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

A autocorrelação espacial dos dados foi avaliada a partir do índice de Moran local. O índice de Moran local apresenta o indicador local de associação espacial (LISA). Na autocorrelação local são comparados os valores de algum indicador de cada região com o de seus vizinhos, procurando assim evidenciar padrões de associação espacial (*clusters*) (CÂMARA, *et al.*, 1996).

O índice de Moran local foi utilizado no modelo bivariado, relacionando assim cada índice de vegetação com a temperatura de superfície, com isso o produto final obtido foi um mapa de *clusters* identificando as regiões dentro da área de estudo que possuem correlação direta e inversa.

Para se realizar a autocorrelação espacial da temperatura de superfície com os índices de vegetação apresentados nesse estudo foi necessário se definir uma matriz de peso espacial. As matrizes de pesos espaciais são baseadas na contiguidade e podem ser definidas de acordo com a vizinhança (CÂMARA, *et al.*, 1996).

Assim, as células dos arquivos vetoriais das classes vegetacionais que possuem dados de índice de vegetação e temperatura de superfície foram correlacionados com suas respectivas células vizinhas. Com base na contiguidade, é atribuído o valor de 1 na matriz quando duas regiões são vizinhas (possuem fronteiras em comum), já quando não há contiguidade (não compartilham fronteiras) atribui-se o valor 0 (CÂMARA, *et al.*, 1996).

7.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO COM DIFERENÇA NORMALIZADO (NDVI)

Os resultados das análises estatísticas do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) são apresentados em relação aos anos de 2000, 2006, 2012 e 2018 (tabela 6), com maior mediana do NDVI para os anos de 2006 e 2018, com valor de 0,63 e a menor valor de mediana para o ano de 2000 que apresentou valor de 0,57.

Quando se leva em consideração os valores máximos e mínimos, o ano de 2012 exibe o maior valor de NDVI = 0,91 e o menor NDVI em 2018 com o valor 0,07.

Tabela 6. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) – bacia – JQ1

Ano	NDVI			
	Mínimo	Mediana	Máximo	Desvio Padrão
2000	0,28	0,57	0,86	0,07
2006	0,23	0,63	0,90	0,07
2012	0,09	0,61	0,91	0,07
2018	0,07	0,63	0,89	0,08

De acordo Huete *et.al* (2002) áreas com valores superiores a 0,75 apresentam tendência de saturação de NDVI, essas áreas são compostas por classes vegetacionais com maior vigor e porte arbóreo, para a bacia do Alto Jequitinhonha a saturação é evidenciada nas classes da floresta plantada e formação florestal com os maiores valores de medianas anuais.

Huete *et.al* (2002) afirmam que áreas com alta composição de biomassa podem gerar saturação na composição do NDVI, com isso, as áreas que são melhor vegetadas apresentam maiores valores na composição do NDVI. Para a JQ1 a formação florestal e a floresta plantada apresentaram valores máximos de NDVI respectivamente de 0,86 e 0,82 para o ano 2000, 0,90 e 0,87 para o ano de 2006, 0,90 e 0,91 para 2012 e por fim 0,89 e 0,89 para o ano de 2018.

A formação florestal obteve maior desempenho nos valores de máxima do NDVI em relação a floresta plantada nos anos iniciais da série analisada (2000 e 2006) devido ao fato da floresta plantada não ter atingido seu ápice nos valores de máxima nesse período, já a partir do ano de 2012, a floresta plantada e a formação florestal natural apresentam aproximadamente os mesmos valores de NDVI.

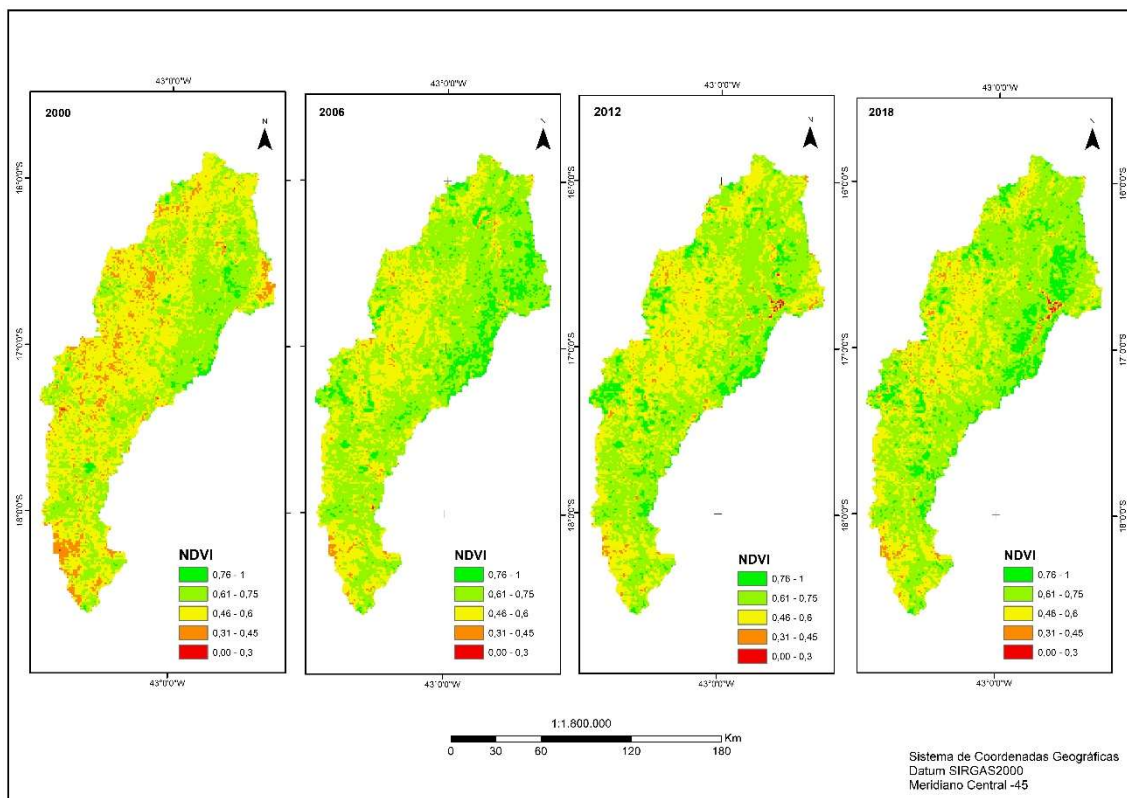
Há que se destacar que a floresta plantada possui maior suporte para o seu desenvolvimento, uma vez que trata de uma atividade com fins lucrativos e com isso obtém um manejo adequado da classe vegetacional. Com isso, apesar de possuir menor área ocupada na bacia apresenta excelentes valores de NDVI.

A formação florestal se destacou na composição dos valores de NDVI por ser uma formação natural e pelo fato de ter apresentado uma redução em sua área total de 503.186,5 ha em 2000 para 487.063,81 ha para 2018.

Apesar da redução da área ocupada a formação florestal apresentou um aumento nos valores máximos de NDVI de 0,86 para 0,89 e nos valores de mediana de 0,57 para 0,63. Demonstrando assim um aumento na composição da biomassa que refletiu diretamente no vigor da vegetação. A representação dos valores de NDVI (Figura 9) foram apresentadas na forma de intervalos, divididas em cinco classes.

A figura 9 evidencia áreas com maior vigor vegetativo com o NDVI > 0,75, as cores em laranja e vermelho evidenciam áreas com menor NDVI entre 0,31 e 0,45 e 0,30 a 0,00 consequentemente apresentam áreas com pouco ou nenhum tipo de vegetação, a classe 0,46 a 0,6 denota ambientes com vegetação de porte intermediário corroborando com Franciscon (2018).

Figura 9: NDVI para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Há predominância na ocorrência da classe representada 0,61 – 0,75, para os anos 2006 e 2018, evidenciando um predomínio de vegetação mais densa para esses anos, por outro lado, para o ano de 2000 as classes predominantes foi 0,46-0,60 e 0,31-0,45 evidenciando a ocorrência da vegetação intermediária de baixo porte e esparsa.

Isso pode ser explicado pela variação pluviométrica interanual, os anos de 2006 e 2018 foram os que apresentaram maior precipitação dentro da bacia JQ1, sendo 1981 mm registrado na estação do INMET em Diamantina e 1132,3mm na estação de Salinas ambos para o ano de 2006, em 2018 os valores foram de 1328,7mm na estação de Diamantina e 1049mm na estação de Salinas.

A fim de se especificar o comportamento do NDVI dentro da bacia JQ1, foram obtidas as medianas das principais classes vegetacionais, conforme a tabela 7. Há que se expor a dificuldade em diferenciar as classes vegetacionais pelas medianas utilizando o MODIS. Os resultados obtidos foram muito próximos, o que revela a necessidade de um produto orbital com melhor resolução espacial para maior acurácia dos resultados.

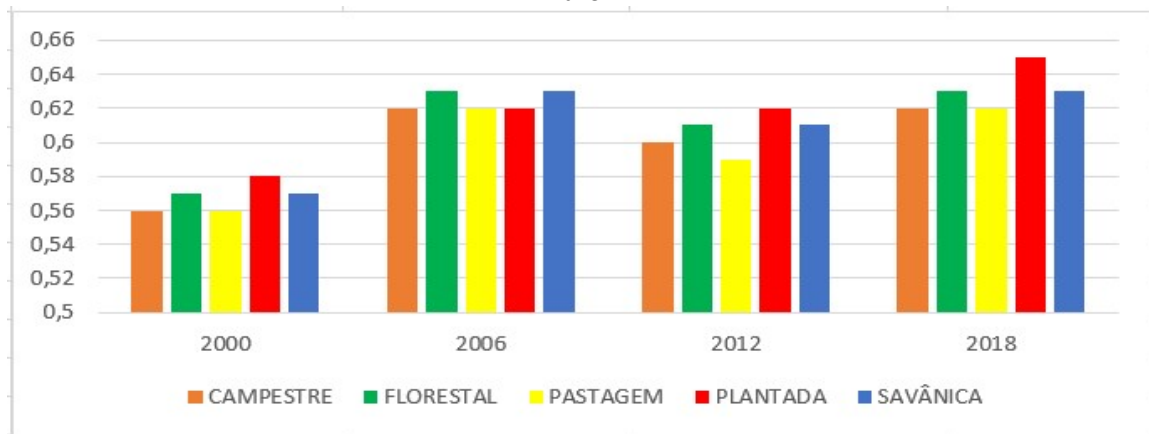
Tabela 7. Mediana anual do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para as classes vegetacionais – Bacia JQ1

NDVI					
	CAMPESTRE	FLORESTAL	PASTAGEM	PLANTADA	SAVÂNICA
2000	0,56	0,57	0,56	0,58	0,57
2006	0,62	0,63	0,62	0,62	0,63
2012	0,60	0,61	0,59	0,62	0,61
2018	0,62	0,63	0,62	0,65	0,63

Os valores das medianas indicaram oscilação entre todas as classes, houve um decréscimo no NDVI para o período de 2006 para 2012 (figura 10) exceto para a floresta plantada que se manteve com o mesmo valor de mediana 0,62. Isso se deve ao fato desse período ter sido de aumento da LST em toda a bacia que correspondeu a uma queda dos índices das demais classes.

Esse ao aumento da LST do período de 2006 a 2012 não diminuiu o NDVI da floresta plantada pois essa classe vegetacional teve sua área expandida saindo de 170.695,01 ha em 2006 para 214.138,65 ha em 2012.

Figura 10: Medianas Anuais NDVI para as classes vegetacionais – JQ1 –Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Quando analisadas as medianas para cada uma das classes houve aumento do NDVI dentro da série histórica em todas as classes. A formação campestre apresentou para o ano 2000 valor da mediana NDVI = 0,56, em 2018 o NDVI = 0,62. A formação florestal apresentou NDVI = 0,57 em 2000 e NDVI = 0,63 em 2018. A pastagem obteve para o ano 2000 valor da mediana NDVI = 0,56, em 2018 o NDVI = 0,62. A floresta plantada obteve a maior diferença no período analisado, partindo de NDVI = 0,58 no ano 2000 a NDVI = 0,65 em 2018 e a formação savânica saiu de NDVI = 0,57 em 2000 para NDVI = 0,63 em 2018.

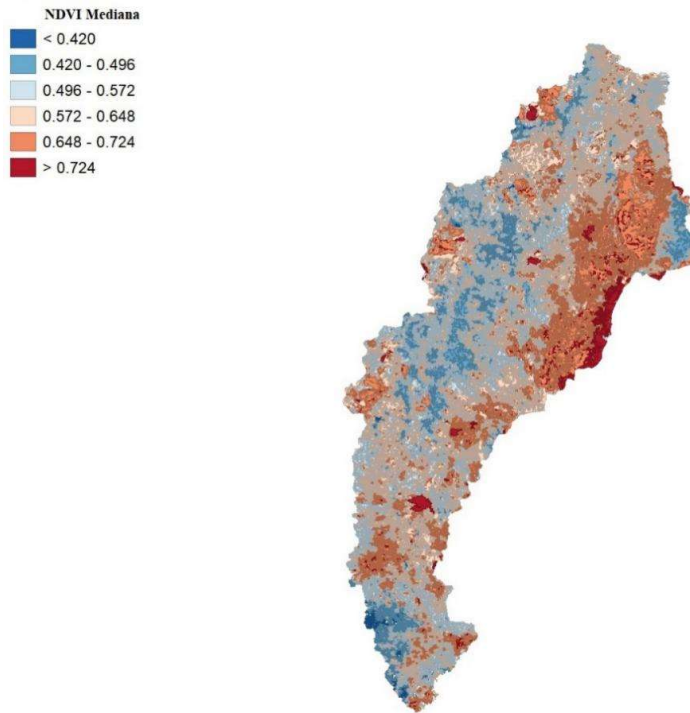
Os valores das medianas ficaram durante o período analisado de 2000 a 2018 todos acima de 0,5 evidenciando que às classes vegetacionais apresentam cobertura vegetal em toda a bacia uma vez que os valores não foram próximos de 0, tal situação evidenciaria valores referentes a ausência de vegetação.

A fim de se espacializar o comportamento do NDVI na bacia JQ1 foi gerado o desvio padrão das medianas dos anos de 2000 (figura 10) e 2018 (figura 11). O desvio padrão ilustra as regiões que obtiveram valores mais distantes da média do conjunto de dados, com isso são indicadas as áreas onde há os maiores e os menores valores dos índices de vegetação.

A bacia JQ1 apresenta um padrão espacial com os valores mais distantes positivos para o NDVI tanto para o ano 2000 quanto para o ano de 2018 para a porção leste, figura 11. Para o ano 2000 os valores que denotam regiões com maior vigor vegetativo, sendo o resultado $> 0,724$ e para 2018 se deu para os valores $> 0,790$. Nota-se um destaque para as regiões com altos valores de NDVI, indicando respectivamente as áreas com presença de talhões de eucalipto (floresta plantada).

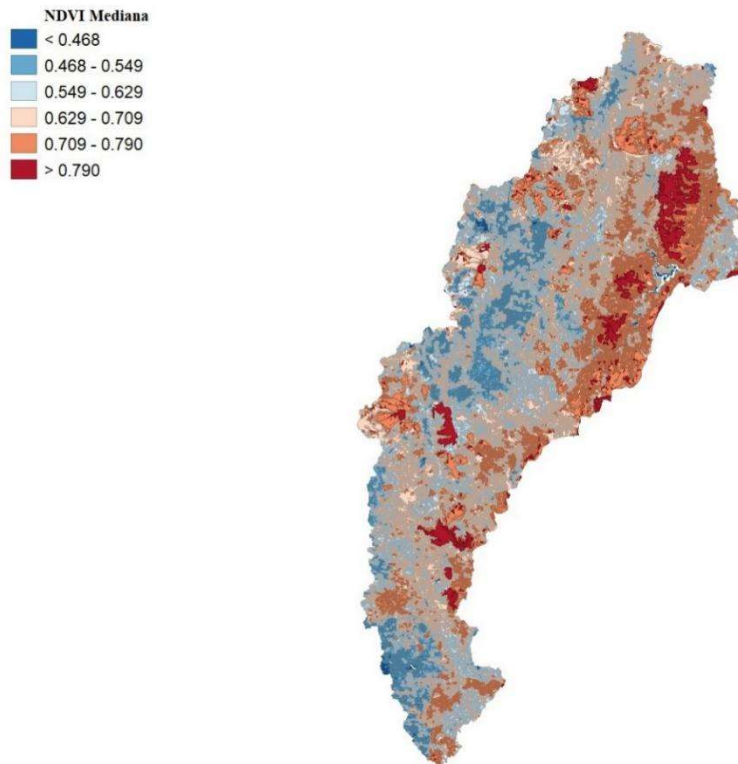
Quando analisadas os menores valores, temos as classes da pastagem e formação campestre com os valores de NDVI para o ano 2000 $< 0,420$ e de $0,420$ a $0,496$ distribuídos predominantemente à porção oeste da bacia JQ1 e ao sul da bacia do ribeirão Vacaria.

Figura 11: Desvio Padrão da mediana do NDVI ano 2000 – Bacia JQ1



Moreira (2016) coloca que o campo rupestre é uma fitofisionomia do Cerrado característica principalmente de região de serras e afloramento rochosos que apresenta resposta espectral muito próxima ao solo exposto e área urbanizada. Isso explica a presença dos valores $<0,420$ e $0,420 - 0,496$ nas regiões sul e oeste das figuras 11 e 12, que são áreas predominantemente compostas por campo rupestre e pastagem.

Figura 12: Desvio Padrão das medianas do NDVI ano 2018 – Bacia JQ1



7.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO REALÇADO (EVI)

O EVI é um IV que realça o dossel da vegetação (LATORRE *et.al*, 2007), destacando assim áreas que apresentam tal característica. Nas medianas do EVI houve pequena mudança do menor para o maior valor, sendo os anos de 2000 e 2012, respectivamente, os que apresentaram menor EVI de 0,31. O maior valor (0,34) foi verificado para o ano de 2006 conforme tabela 8.

Tabela 8: Índice de Vegetação realçado (EVI) Média Mínima e Máxima anual – bacia JQ1

	EVI			
	Mínimo	Mediana	Máximo	Desvio Padrão
2000	0,14	0,31	0,60	0,04
2006	0,10	0,34	0,67	0,05
2012	0,01	0,31	0,66	0,05
2018	0,02	0,33	0,63	0,05

O EVI apresentou para o ano 2000 predominância da classe 0,21 - 0,30 perfazendo a porção sul e em maior área na porção oeste, sendo o sul marcado por vegetação

campestre e a oeste por pastagem. Esse resultado corrobora com o comportamento do NDVI na bacia, que também apresentou porção oeste e sul da bacia JQ1 com menores valores.

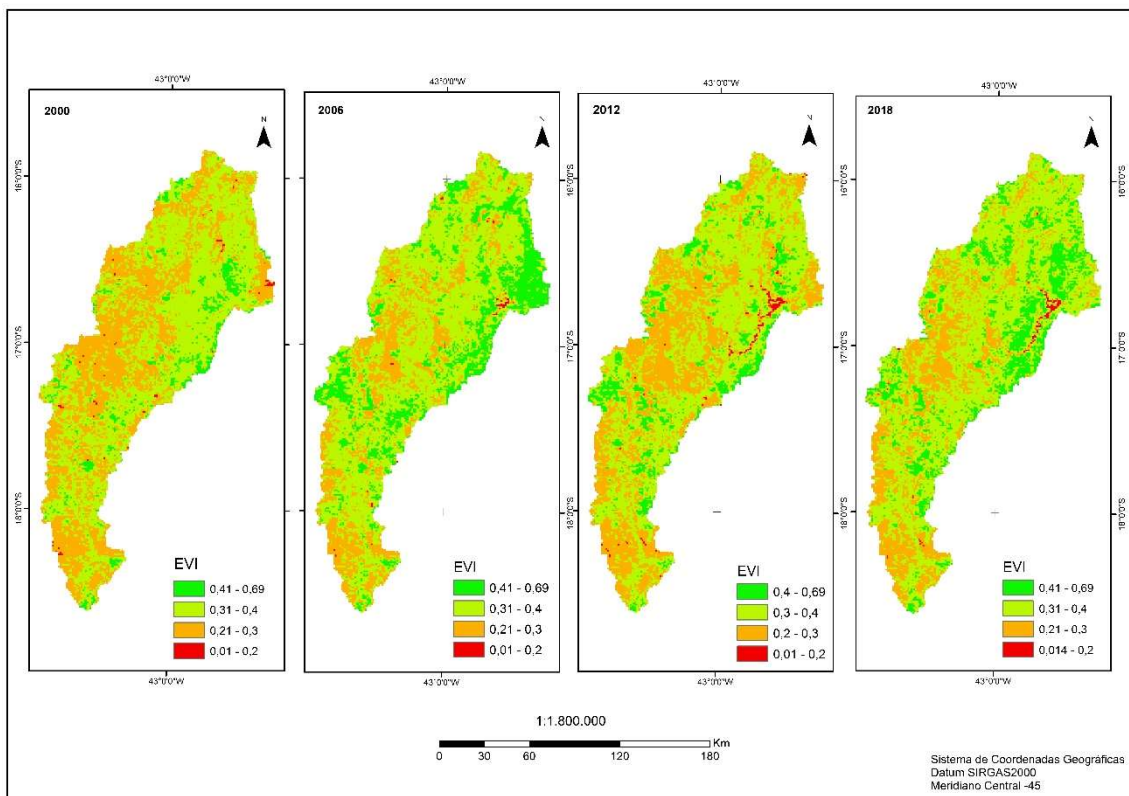
Em relação aos valores em 2018, a classe 0,21 a 0,30 foi reduzida uma vez que houve a predominância da classe da formação savânica apresentando valores de 0,31 – 0,40, a formação savânica apresentou valor de mediana para 2018 de 0,33.

O comportamento do EVI na bacia JQ1 se deu de forma muito parecida com o NDVI, porém esse último com valores maiores. Nota-se que o padrão de espacialização do NDVI e EVI identifica a porção oeste da bacia JQ1 com menores valores e a porção a leste a ao norte com os maiores valores.

Com isso as regiões oeste e sul apresentam predominantemente classes vegetacionais herbáceas e arbóreas de baixo porte, fato que garante os menores índices. Para o ano 2000, os valores de EVI que se destacaram na totalidade da bacia JQ1 foram 0,21 a 0,30 e 0,31 a 0,40, conforme figura 13.

No ano de 2018 os valores do EVI que predominaram na bacia JQ1 foram de 0,31 a 0,69. O aumento das áreas com vegetação densa com presença de dossel é notável quando se comparado com a imagem do ano 2000.

Figura 13: EVI para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Com a finalidade de se especificar os valores do EVI na bacia JQ1, foram obtidas as medianas para as principais classes vegetacionais conforme a tabela 9. Os valores obtidos são muito próximos entre si o que mostra a limitação do produto orbital utilizado, e expõe que a obtenção das medianas não proporciona a diferenciação das classes.

Tabela 9. Mediana Anual do Índice de Vegetação Realçada (EVI), para as classes vegetacionais – Bacia JQ1

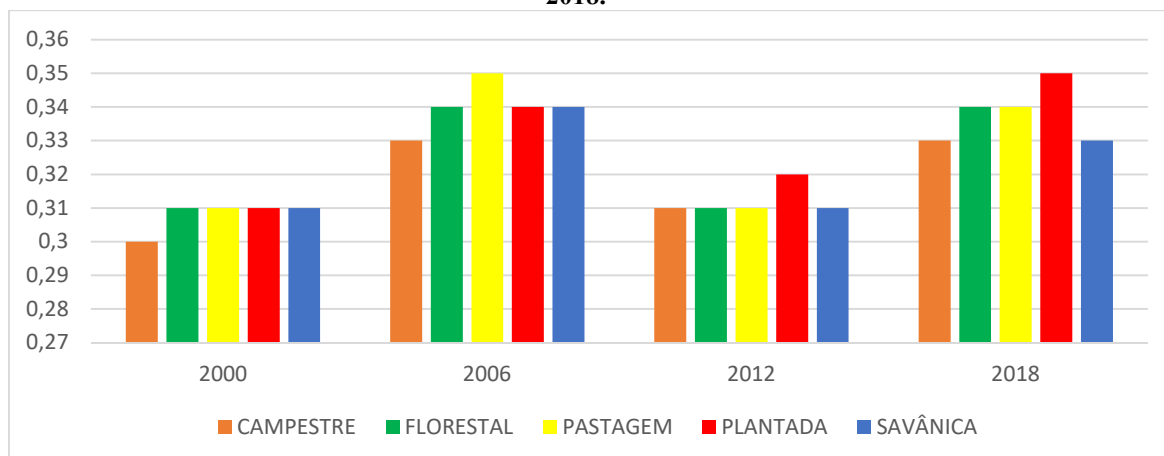
EVI					
	CAMPESTRE	FLORESTAL	PASTAGEM	PLANTADA	SAVÂNICA
2000	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31
2006	0,33	0,34	0,35	0,34	0,34
2012	0,31	0,31	0,31	0,32	0,31
2018	0,33	0,34	0,34	0,35	0,33

Destaca-se que em todas as classes estudadas houve aumento nos índices das medianas NDVI e EVI, sendo os anos de 2006 e 2018 os melhores resultados pois são os anos que obtiveram valores de precipitação.

O maior aumento foi na classe floresta plantada, passando inicialmente de 0,31 de mediana em 2000 para 0,35 em 2018, já a formação savânica apresentou menor variação de 0,31 para 0,33 no mesmo período. Huete *et.al* (2002) expõem que os valores de EVI que caracterizam o cerrado brasileiro se apresentam na faixa de valor até 0,4.

Formaggio e Sanches (2017) evidencia que a variação nos valores de EVI para áreas de Cerrado são correspondentes a variação sazonal típica do bioma. O Cerrado apresenta valores de EVI menores quando comparados com biomas da Mata Atlântica e Amazônia, devido às características climáticas e variação pluviométrica. A figura 14 expõe os valores das medianas por classe vegetacional.

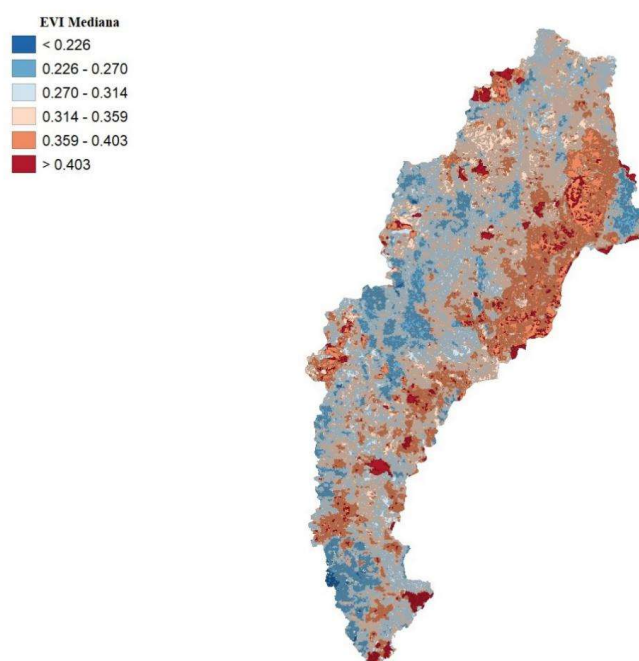
Figura 14: Medianas anuais do EVI para as classes vegetacionais JQ1 nos anos 2000, 2006, 2012 e 2018.



O desvio padrão das medianas dos dados EVI, quando espacializados, demonstram o comportamento do índice dentro da bacia JQ1 uma vez que evidencia a dispersão dos valores em relação à média do conjunto de dados.

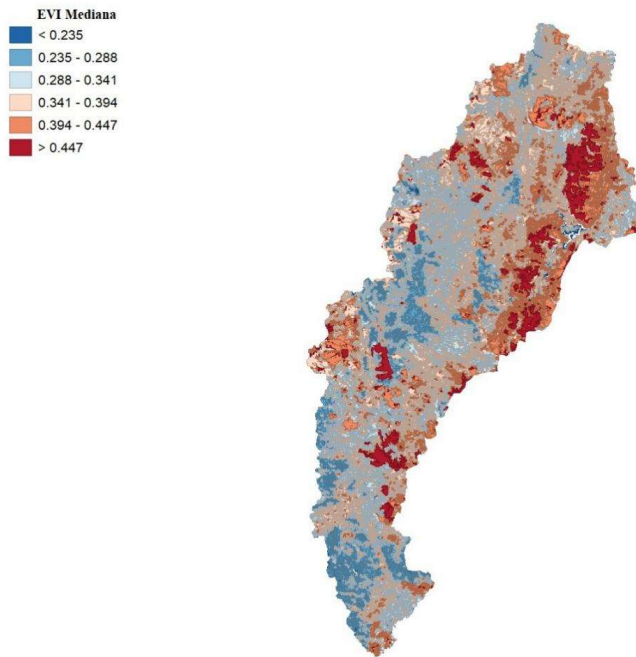
As regiões relativas ao terceiro desvio-padrão apresentaram valores medianos de NDVI maiores que 0.403 representam a disposição espacial da floresta plantada, os valores menores que 0,226 denotam áreas que predominam a presença de pastagem e savana para o ano 2000, conforme figura 15. Para o ano de 2018 essas classes vegetacionais são identificadas pelo terceiro desvio-padrão com os valores maiores de 0.447 e menor que 0.235 respectivamente, conforme figura 16.

Figura 15: Desvio Padrão das medianas do EVI ano 2000 – Bacia JQ1



Entre os valores 0,226 – 0,270, foram incluídas regiões predominantemente localizadas nas porções oeste e sul. Essas áreas são marcadas pela presença de pastagem e campo rupestre, na região sul região característica da Serra do Espinhaço Meridional, é marcada por vegetação de baixo porte que denota pouco valor de EVI.

Figura 16: Desvio Padrão das medianas do EVI ano 2018 – Bacia JQ1



7.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (SAVI)

Para os valores de mínimo e máximo do SAVI temos para todos os anos estudados valores positivos acima de 1 para as máximas, sendo a imagem do ano de 2006 que apresentou o maior valor (1,36) e para a imagem do ano de 2012 temos o menor valor de mínimo (0,07), conforme tabela 10.

Tabela 10. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), mediana anual – Bacia JQ1

	SAVI			
	Mínimo	Mediana	Máximo	Desvio Padrão
2000	0,10	0,80	1,27	0,14
2006	0,09	0,90	1,36	0,12
2012	0,07	0,86	1,35	0,12
2018	0,08	0,90	1,33	0,13

Os valores acima de 1 denotam áreas saturadas em vegetação que mesmo em anos de menor regime pluviométrico as classes que detêm essa característica não apresentam valores próximo de 0 que denotaria regiões com ausência de vegetação.

Os valores de máxima para o SAVI para as classes vegetacionais da JQ1 foram respectivamente 1,34 para pastagem, 1,35 para formação campestre, 1,36 para savânica, 1,12 para floresta plantada e 1,13 para formação florestal.

Nota-se a diferença entre os resultados encontrados por Rosendo (2005) para o Cerrado na bacia do rio Araguari - MG com os desta pesquisa principalmente nas classes que possuem maior porte arbóreo como Mata e formação florestal. Essa diferença se deu prioritariamente pelo o uso de produtos MODIS diferentes.

A escolha pelo produto MODIS de 1000m se deu para os IV pelo fato dessa resolução ser compatível com a do produto MOD11A2 que apresenta a LST também com resolução de 1000m. Como o intuito é correlacionar os dados de IV e LST analisando-os espacialmente, haveria discrepância nos resultados finais obtidos através de produtos orbitais com resoluções diferentes.

A segunda razão pelo fato das classes que possuem maior saturação de vegetação terem apresentado menores valores na bacia JQ1 se deu especificamente pela valoração do fator L. Para a bacia JQ1 houve a diferenciação do fator L por classe vegetacional essa diferenciação do fator L afeta diretamente na composição do valor do SAVI.

A diferenciação do fator L para as classes vegetacionais da bacia JQ1 se deu pelo fato que a floresta plantada e a formação florestal possuem maior porte arbóreo e consequentemente maior saturação de vegetação, essa característica garante a essas classes menor contribuição da resposta espectral do solo no valor do SAVI, fato que atribui a elas o $L = 0,25$.

As classes vegetacionais que foram definidas com o fator $L = 0,5$ (campestre, pastagem e savânica) apresentaram maiores medianas do que as que o fator $L = 0,25$ (florestal e plantada). As maiores medias foram verificadas para as classes com fator $L = 0,5$, dada a influência desse fator no cálculo do NDVI. É determinante na composição do valor do IV final, conforme tabela 11.

Tabela 11: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), mediana anual para as classes vegetacionais – Bacia JQ1

SAVI					
	CAMPESTRE	FLORESTAL	PASTAGEM	PLANTADA	SAVÂNICA
2000	0,83	0,72	0,82	0,73	0,86
2006	0,93	0,79	0,93	0,78	0,95
2012	0,91	0,77	0,89	0,78	0,91
2018	0,94	0,77	0,93	0,81	0,94

Dentre as classes com $L = 0,5$ que é o valor comumente utilizado para classes vegetacionais de porte intermediário, observa-se a proximidade dos valores com uma pequena vantagem para formação savânica com o valor da mediana de 0,95, já a formação campestre apresentou 0,94 e a pastagem 0,93, enquanto melhores resultados.

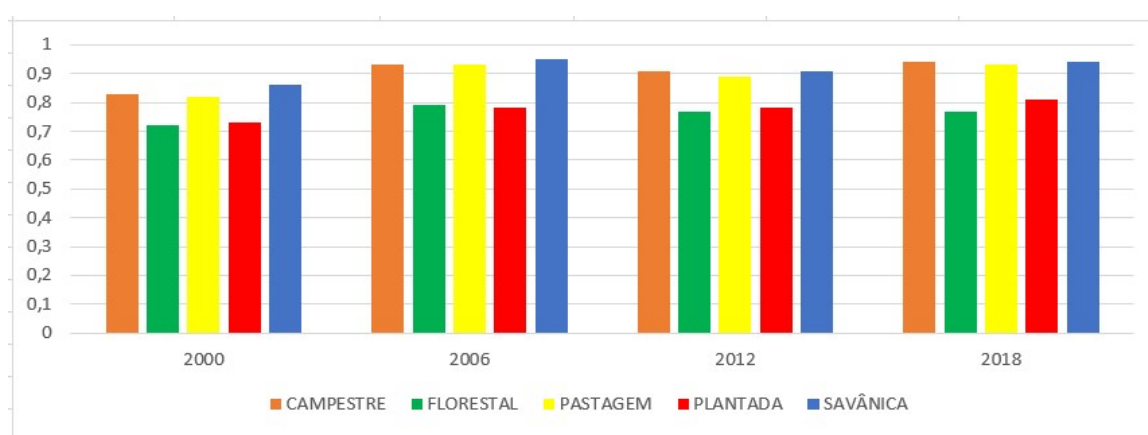
Com esses resultados foi evidenciado que o fator L quando diferenciado entre as classes vegetacionais inviabiliza a aplicação do índice pois produz valores finais menores para as classes de maior porte quando comparados com as de porte intermediário.

O que deve ser levado em consideração é a característica predominante da vegetação na bacia, ou seja, se a bacia for predominantemente composta por classes vegetacionais de alto porte deve-se utilizar o $L=0,25$ para todas as classes e não somente para as florestas. Para que assim as classes vegetacionais intermediárias não apresentem valores acima das florestas.

Esse trabalho buscou a diferenciação para fator L das classes vegetacionais com intuito de se obter melhores resultados para cada classe, fato que não se mostrou com os resultados obtidos, o fator L para áreas de Cerrado apresenta resultados mais condizentes com as classes vegetacionais com $L=0,5$.

Esse resultado evidencia a dificuldade na diferenciação das classes de porte intermediário utilizando produtos MODIS. Apesar disso, as classes naturais de formação savânica e campestre obtiveram melhor índice que a pastagem, garantindo-lhes assim melhor saturação vegetação. A figura 17 mostra o comportamento das medianas do SAVI por classe vegetacional.

Figura 17: Medianas do SAVI para as classes vegetacionais JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Diante da figura 17 temos que o ano 2000 apresentou as menores medianas. Os anos de 2006 e 2018 apresentaram os maiores índices entre as classes. Para os anos de

2006 e 2018 verificou-se a queda da LST (tabela 12) na bacia JQ1 afetando diretamente no aumento dos IV das classes vegetacionais.

Conforme exposto anteriormente o aumento da área ocupada pela classe da floresta plantada foi determinante no comportamento dos valores das medianas, o aumento da área foi de 55,24% de 2000 a 2018.

7.4 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (LST)

Para a bacia JQ1 o maior valor de LST foi 35,38°C observado para a imagem do ano de 2000, já o menor foi 22,04 °C em 2018. No que se refere aos resultados de desvio padrão, se obteve como valor que de destoa da média o obtido no ano 2000 sendo 1,28 para o ano final da série o valor obtido foi de 1,09.

Os resultados da temperatura de superfície (LST) em todos os anos estudados na bacia JQ1 foram submetidos a análise estatística e os resultados são apresentados (tabela 12).

Tabela 12: Temperatura de Superfície (LST) – Bacia JQ1

	LST			
	Mínimo (°C)	Mediana(°C)	Máximo (°C)	Desvio Padrão
2000	22,75	27,87	35,38	1,28
2006	22,40	26,97	34,23	1,24
2012	22,62	28,38	34,25	1,27
2018	22,04	27,23	33,66	1,09

Quando analisada a série histórica das imagens da LST, identifica-se que as áreas que valores de 29°C a 31°C representam principalmente as regiões com vegetação intermediária ou pasto, essa classe de temperatura e se apresenta como classe dominante na bacia JQ1 nas imagens do ano 2000 e 2012.

As temperaturas mais elevadas dentro da bacia JQ1 se deram no mês de outubro e as de menores temperatura no mês de junho marcada pelo período de inverno. Observa-se que áreas que possuem maior cobertura vegetal apresentam menores valores 22°C a 25°C.

A floresta plantada foi a classe vegetacional responsável pelos menores valores de LST na porção leste da bacia, já na porção sul a vegetação característica é a formação campestre que apresentou também menores valores de LST devido a influência do relevo marcado pela Serra do Espinhaço.

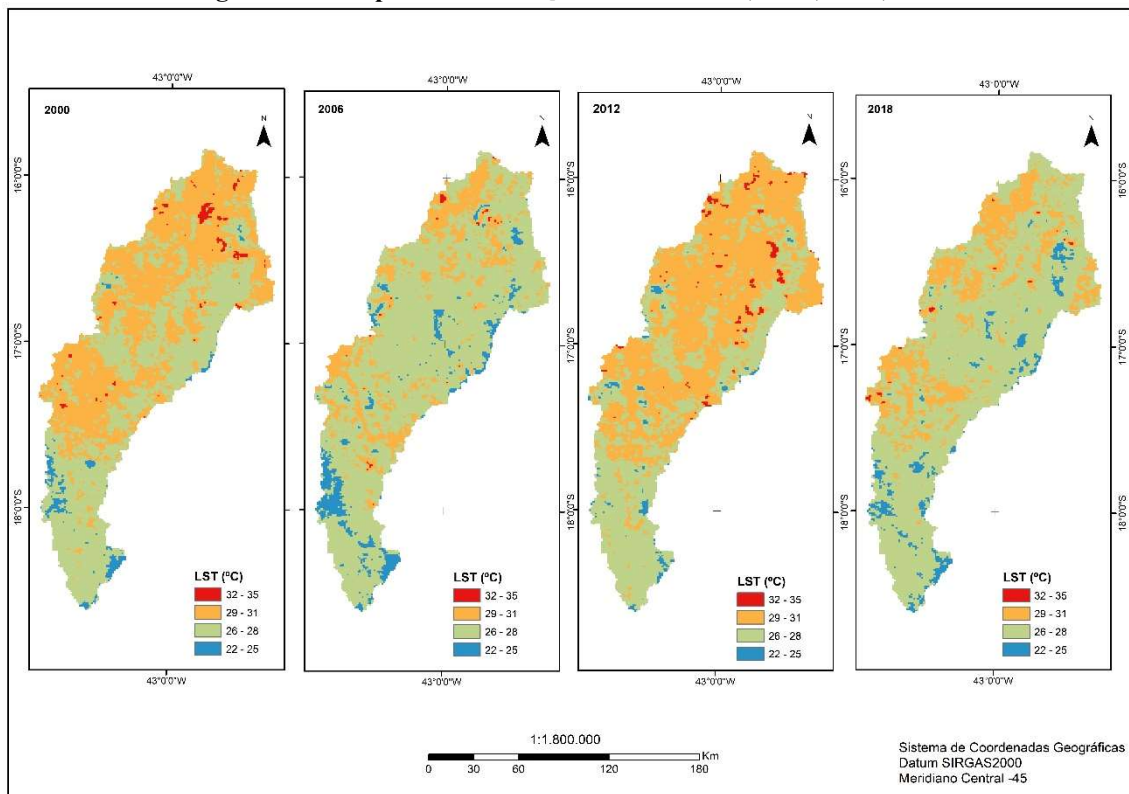
O relevo afeta diretamente o valor da LST devido a altitude, com isso quanto maior a altitude menor será a temperatura (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). A região sul da bacia JQ1 apresenta os maiores valores altimétricos devido a presença da Serra do Espinhaço fato que contribui para essa região apresentar valores de 22°C a 25°C.

Padovanni (2017) expõe a influência do relevo nos valores da LST em sua pesquisa, destacando que as áreas a montante na bacia hidrográfica apresentaram os menores valores da LST coincidindo com as maiores áreas com cobertura vegetal e maior altitude estando as cotas altimétricas entre 950m e 1170m. Para as áreas a jusante a autora encontrou os maiores valores de LST com altitude entre 850m e 950m.

A relação da altimetria com a temperatura também foi evidenciada em Matos (2009), a autora verificou a correlação da temperatura de superfície através do MODIS com as imagens topográficas do SRTM para o município de Ingá- PB. O resultado foi a correlação de -0,98, que mostrou a forte correlação inversamente proporcional, quanto maior a altimetria menor foi os valores de LST.

Quando analisadas a região ao norte da JQ1 temos a presença das menores cotas altimétricas e os maiores valores da LST representados pela classe de 32°C a 35°C. Conforme figura 18.

Figura 18: LST para a bacia JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Padovanni (2017) expõe o comportamento da LST utilizando produtos MODIS na bacia do rio Uma no Estado de São Paulo, evidenciando a relação o uso do solo com a LST. Com isso identificou que áreas antropizadas e agrícolas apresentaram maiores valores da LST quando comparados com floresta plantada e formações florestais naturais.

Quando analisadas as imagens da figura 18, verifica-se que o ano de 2006 foi responsável pelas menores temperaturas do período, as classes de 22°C a 25°C juntamente com a classe de 26°C a 28°C são predominantes. Em 2012 é notável o aumento da LST principalmente na região central e norte da bacia JQ1 sendo a classe de 29°C a 31°C que apresenta predominância.

O aumento da LST de 2006 para 2012 pode ser relacionado com a redução do total de precipitação na bacia JQ1 evidenciado pelos resultados obtidos das estações do INMET para as cidades de Diamantina (região Sul da bacia) conforme figura 19 e Salinas (ao norte da bacia) conforme figura 20.

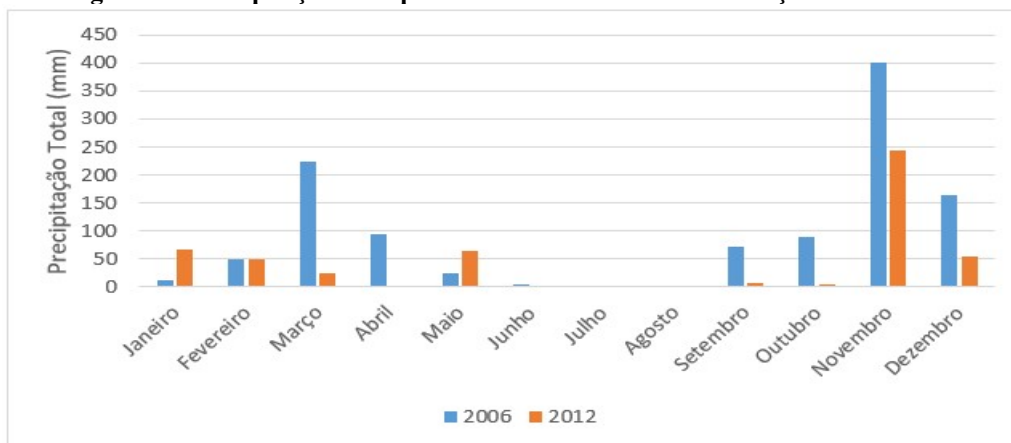
Figura 19: Precipitação total para os anos de 2006 e 2012 – Estação Diamantina - MG



O ano de 2006 apresentou total precipitado para estação em Diamantina de 1981mm, para o ano de 2012 o total precipitado foi de 1220 mm (figura 19). Houve também redução para a estação em Salinas onde registro foi de 2006 foi de 1132 mm e para 2012 o valor foi de 513mm (figura 20).

Moreira (2016) expõe que a água possui elevada capacidade térmica, característica que lhe permite adquirir ou perder calor com facilidade. Com isso, quando há a entrada de água no sistema a LST é suavizada pois a precipitação atua como um regulador térmico.

Figura 20: Precipitação total para os anos de 2006 e 2012 – Estação Salinas - MG



As regiões com os maiores valores da LST estando entre 32°C a 35°C, que se apresentaram de maneira concentrada ao norte da bacia JQ1 no ano 2012 praticamente são inexistentes em 2006 e 2018 quando o total precipitado foi maior.

Tal comportamento também foi verificado com a região sul da bacia JQ1 que apresentou áreas com valores de 22°C a 25°C para o ano de 2006 na região da Serra do Espinhaço. Para o ano de 2012 houve alta nos valores da LST para a mesma região apresentando a classe 26°C a 28°C. Diante do exposto a alta dos valores da LST sofreu influência direta da redução da precipitação na área da bacia.

Os resultados das análises estatísticas da temperatura da superfície, entre os anos de 2000 e 2018 são apresentados (tabela 13), com maior valor de 28,51°C no ano de 2012 para a pastagem e a menor para o valor de 26,85°C, para a imagem do ano de 2006.

Tabela 13: Temperatura de Superfície (LST), mediana para as classes vegetacionais – Bacia JQ1

	2000	2006	2012	2018
CAMPESTRE	27,86 °C	27,05 °C	28,42 °C	27,29 °C
FLORESTAL	28,01 °C	27,04 °C	28,36 °C	27,29 °C
PASTAGEM	27,83 °C	27,10 °C	28,51 °C	27,39 °C
PLANTADA	28,41 °C	27,53 °C	28,50 °C	27,31 °C
SAVÂNICA	27,77 °C	26,85 °C	28,34 °C	27,14 °C

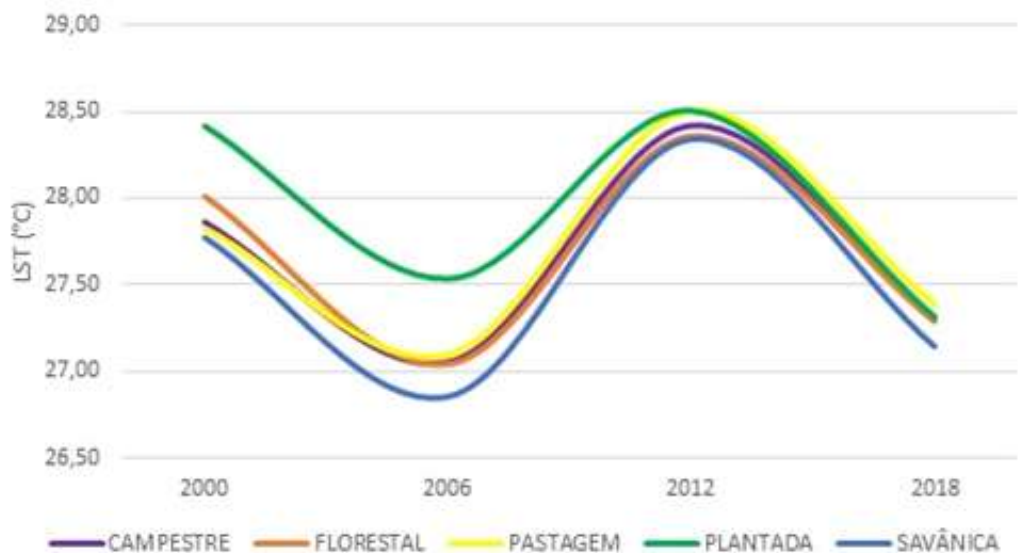
A temperatura da superfície é uma variável biofísica que está relacionada com a característica do ambiente na superfície, com isso áreas bem vegetadas possuem valores de temperaturas menores em relação as áreas não vegetadas. Assim temos que o valor da LST sofre influência pela composição vegetal juntamente com a precipitação e pela característica altimétrica da área analisada.

Há que se destacar a floresta plantada pois essa iniciou o período analisado com os maiores valores da LST entre 2000 e 2006 dentre as classes, que foi o período de

desenvolvimento dos talhões, a partir de 2006 há o aumento gradativo da LST devido ao ciclo de corte somado a baixa precipitação atingindo o ápice da LST em 2012.

Para o ano de 2018 a floresta plantada apresenta seu melhor cenário no que diz respeito ao vigor vegetativo (Tabela 9), apresentando maiores valores dos IV, levando à queda da LST, conforme figura 21.

Figura 21: Mediana LST para as classes vegetacionais JQ1 – Anos de 2000, 2006, 2012, 2018



Isso ocorre porque as áreas bem vegetadas tendem a possuir temperaturas menores do que áreas com pastagem onde a cobertura do solo é mais rala e mais exposta à radiação solar.

Quando analisadas as classes de pastagem e formação savânica temos a validação da premissa anterior uma vez que a pastagem apresentou maiores valores de LST dentre as classes analisadas e um aumento no total da área ocupada de 26,27% no período de 2000 a 2018. Há que se destacar que para todas as classes analisadas houve redução da LST quando comparados resultados iniciais e finais da série histórica, isso se deve ao aumento dos índices de vegetação e do total precipitado ter sido maior em 2018 em relação ao ano 2000.

A formação savânica por apresentar maior vigor vegetativo dentre as classes de por intermediário apresentou menores valores de LST no mesmo período, mesmo com uma redução na sua área de 11,78%, evidenciando assim uma cobertura vegetal em melhor estado de conservação quando comparada com as demais.

7.5 CORRELAÇÃO DE PEARSON

A correlação de Pearson foi realizada a fim de se identificar a relação do aumento da LST com a redução dos índices de vegetação na bacia JQ1 ou um cenário contrário, que evidencie a queda da LST com o aumento dos índices de vegetação.

Com os resultados alcançados com os dados do sensor MODIS foi possível estabelecer uma relação entre os índices de vegetação e a temperatura de superfície, uma vez que os resultados da correlação foram negativos mostrando que a relação é inversamente proporcional entre as variáveis biofísicas.

A LST é variável que sofre influência das características da superfície terrestre, assim áreas vegetadas apresentam menores valores que áreas com solo exposto ou com pouca vegetação. Para toda a série histórica os valores obtidos foram negativos (tabela 14), a relação entre as variáveis se deu de maneira inversa, porém os valores são baixos, evidenciando uma correlação fraca.

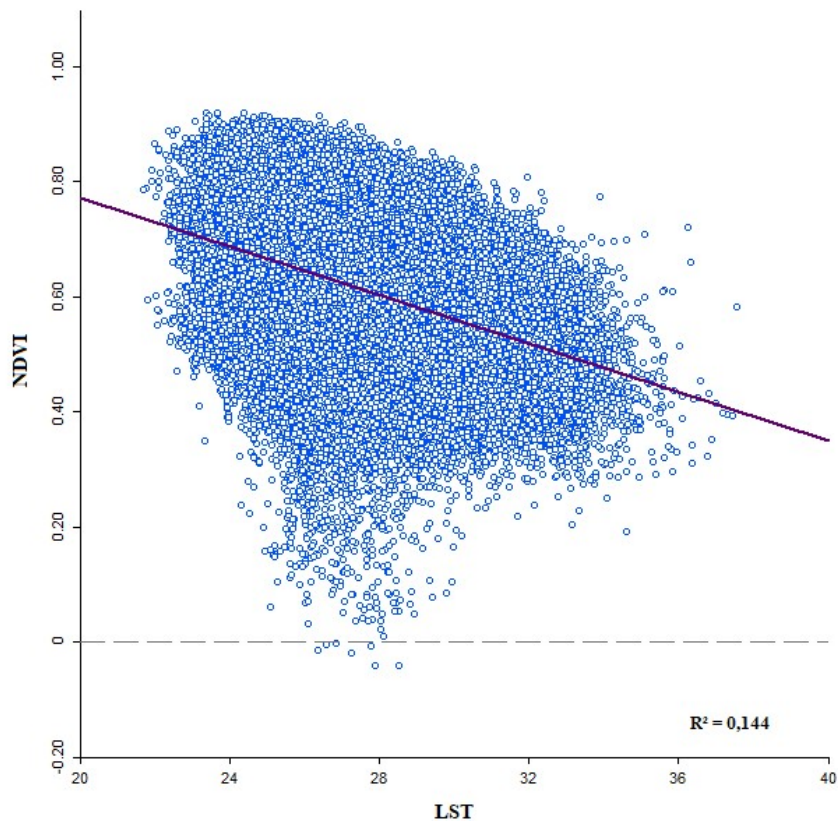
Foram utilizados os dados de todos os pixels das imagens para se realizar a correlação, com isso o resultado obtido faz menção ao comportamento da bacia como um todo e não especificamente por classe vegetacional.

Tabela 14: Resultados da correlação – Bacia JQ1

ANO	BACIA JQ1		
		(r)	(R ²)
2000 a 2018	NDVI/LST	-0,38	0,144
	EVI/LST	-0,20	0,041
	SAVI/LST	-0,108	0,117

Diante da figura 22, temos a correlação negativa para NDVI com LST evidenciando que houve predominantemente na bacia do Alto Jequitinhonha a queda da LST correlacionada com o aumento dos valores de NDVI nos anos de 2006 e 2018. O fator determinante para a redução da LST no período analisado se deu pelo aumento da precipitação que afetou diretamente com o aumento nos índices de vegetação.

Figura 22: Dispersão NDVI x LST – bacia JQ1 – 2000 a 2018



Mendonça (2019) também encontra correlação negativa do NDVI com a LST utilizando produtos MODIS, sendo o valor do R^2 de 0,57 para o mês de junho entre os anos de 2012 a 2016 em Ingá- PB.

A diferença entre a bacia JQ1 e o estudo de Mendonça (2019) se dá essencialmente pelo período analisado por Mendonça (2019) que foi menor e pelo ecossistema estudado, nas áreas de caatinga o regime pluviométrico tende a ser menor que áreas de Cerrado.

Com isso, áreas localizadas na região do nordeste brasileiro sofrem com uma maior oscilação da LST devido ao déficit hídrico regional. A bacia do Alto Jequitinhonha apresenta características florísticas, de temperatura e precipitação mais próximas do nordeste brasileiro apenas em sua porção ao norte, região que apresentou os maiores valores de LST dentro da bacia.

7.6 AUTOCORRELAÇÃO LOCAL – ÍNDICE DE MORAN

O índice de Moran Local trabalha com o conceito de áreas de correlação significativa permitindo a identificação de agrupamentos (CÂMARA, 1996) entre os IV e a LST na área de estudo.

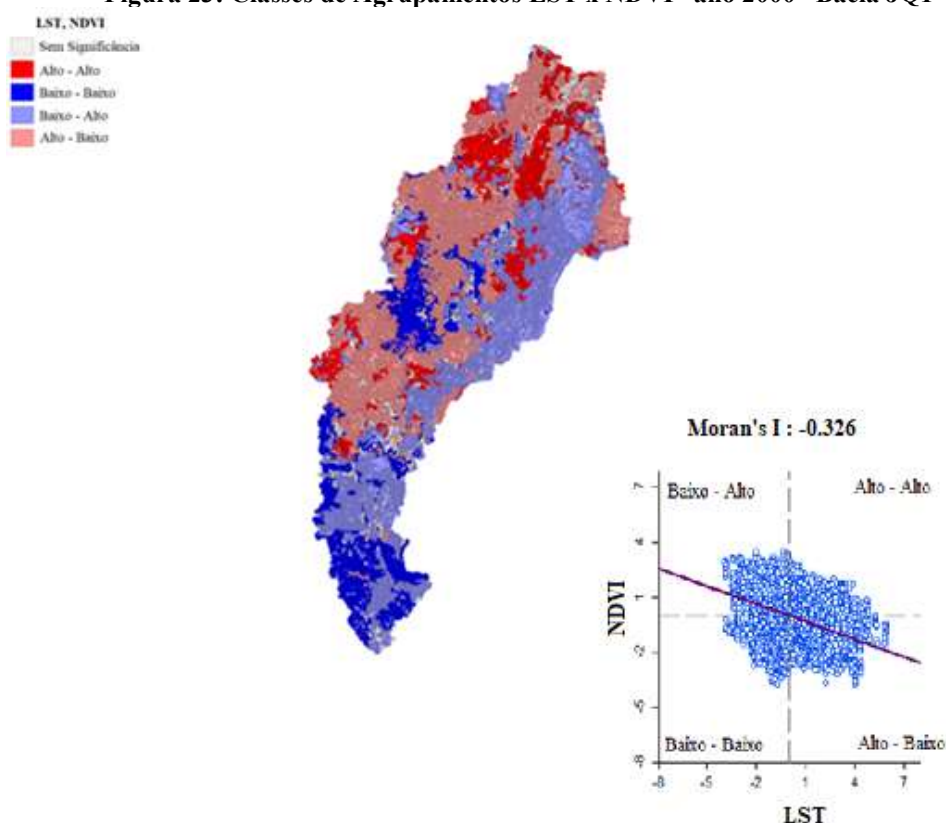
Para a visualização dos agrupamentos foram gerados os mapas que destacam como os índices de vegetação se correlacionam dentro da bacia JQ1 com os dados de temperatura de superfície, com isso utilizou-se os valores obtidos para as classes vegetacionais.

Os agrupamentos são gerados conforme cada polígono é classificado nos quadrantes do diagrama de Moran (figura 8, pág.34), a figura 23 apresenta o mapa de agrupamentos para o ano 2000.

Os resultados são padronizados em 5 agrupamentos, dos agrupamentos que demonstraram autocorrelação espacial destaca-se o Baixo – Alto como o agrupamento com maior número de células correlacionadas 40480, seguido pelo agrupamento Alto - Baixo com 34448 células correlacionadas.

O agrupamento Baixo – Alto apresenta regiões com a LST abaixo da média do conjunto de dados e o NDVI acima da média, essas regiões são caracterizadas como áreas que apresentam melhor condição de cobertura vegetal, vide figura 23.

Figura 23: Classes de Agrupamentos LST x NDVI– ano 2000– Bacia JQ1



Essa correlação fica evidenciada quando comparamos a figura 23 com o desvio padrão do NDVI do ano 2000, apresentado na figura 11 (pág. 40). As áreas que apresentaram maiores valores de NDVI relacionam-se em sua maioria com menores valores da LST. Isso porque áreas bem vegetadas absorvem mais radiação do que refletem

fazendo com que a LST seja menor, e pelo fato dessas áreas apresentarem boa cobertura vegetal o NDVI apresenta-se acima da média.

Pires (2015) expõe em sua pesquisa a relação da condição da vegetação com a LST, com isso áreas urbanas das cidades de Palmas e Porto Nacional em Tocantins apresentaram maiores LST que as demais regiões do Estado. A LST se apresentou em menores patamares quando analisada a região do Parque Estadual do Lajeado e da APA da Ilha do Bananal. Corroborando com a premissa que áreas bem vegetadas estão associadas a menores valores de LST.

O agrupamento Alto – Baixo mostra áreas com LST alto (acima da média) e com menor NDVI (abaixo da média) é o segundo maior agrupamento para o ano 2000. Nessas áreas há predominância das classes pastagem e formação savânica, que apresentam menor porte e cobertura vegetal e uma relação inversamente proporcional as áreas mais vegetadas de formação florestal e floresta plantada, que apresentam relação no Baixo-Alto.

Com isso, as classes que caracterizam a bacia JQ1 são as de transição, que mostra correlação inversamente proporcional como podemos ver no diagrama de Moran da figura 23.

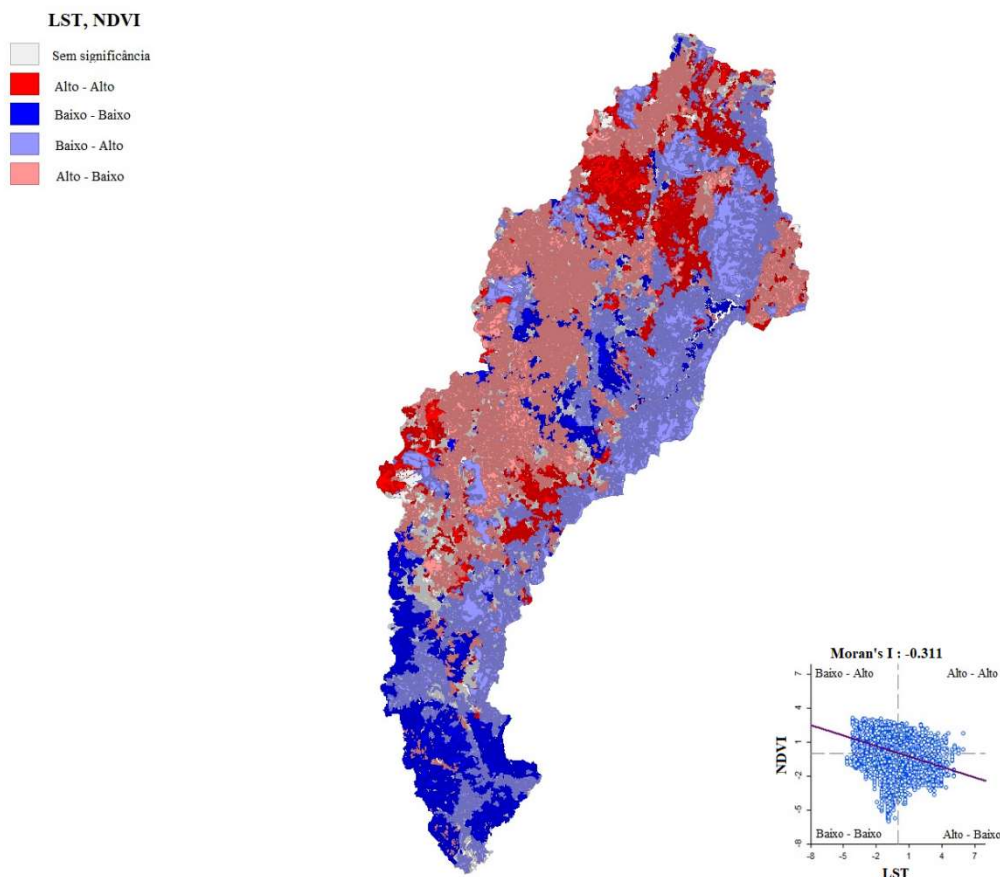
Com o resultado de -0,326 a autocorrelação espacial se apresenta baixa para o ano 2000, significando assim que o aumento ou a queda da LST está correlacionado de maneira incipiente com os índices de vegetação não apresentando assim causalidade entre as variáveis. Foi constatado nesse período que há de fato queda dos valores de NDVI correlacionados com o aumento da LST, porém esse comportamento se dá de maneira dispersa e não pode ser entendido como uma dependência dos índices de vegetação com a temperatura de superfície.

Os agrupamentos Alto – Alto e Baixo – Baixo representam agrupamentos de valores que apresentam correlação diretamente proporcional entre as variáveis analisadas, ou seja, representam valores de LST acima da média correlacionados com NDVI também acima da média, revelando que o aumento de uma dessas variáveis não significa necessariamente a redução da outra.

No ano 2018, final da série histórica analisada, a disposição espacial dos agrupamentos de correlação é basicamente o mesmo do ano 2000. Houve uma pequena mudança na região ao norte na bacia do rio Vacaria, evidenciando aumento da área do agrupamento Baixo – Alto, mostrando um aumento nos IV e redução da LST.

Tal fato mostra a uma melhora na condição da vegetação nessa região, conforme figura 24. Isso se deve pela inserção de floresta plantada na área citada que apresentou um aumento em sua área de 37% em relação ao ano 2000, concomitantemente com a redução da área da formação campestre de 31% no mesmo período.

Figura 24 : Classes de Agrupamentos LST x NDVI– ano 2018– Bacia JQ1



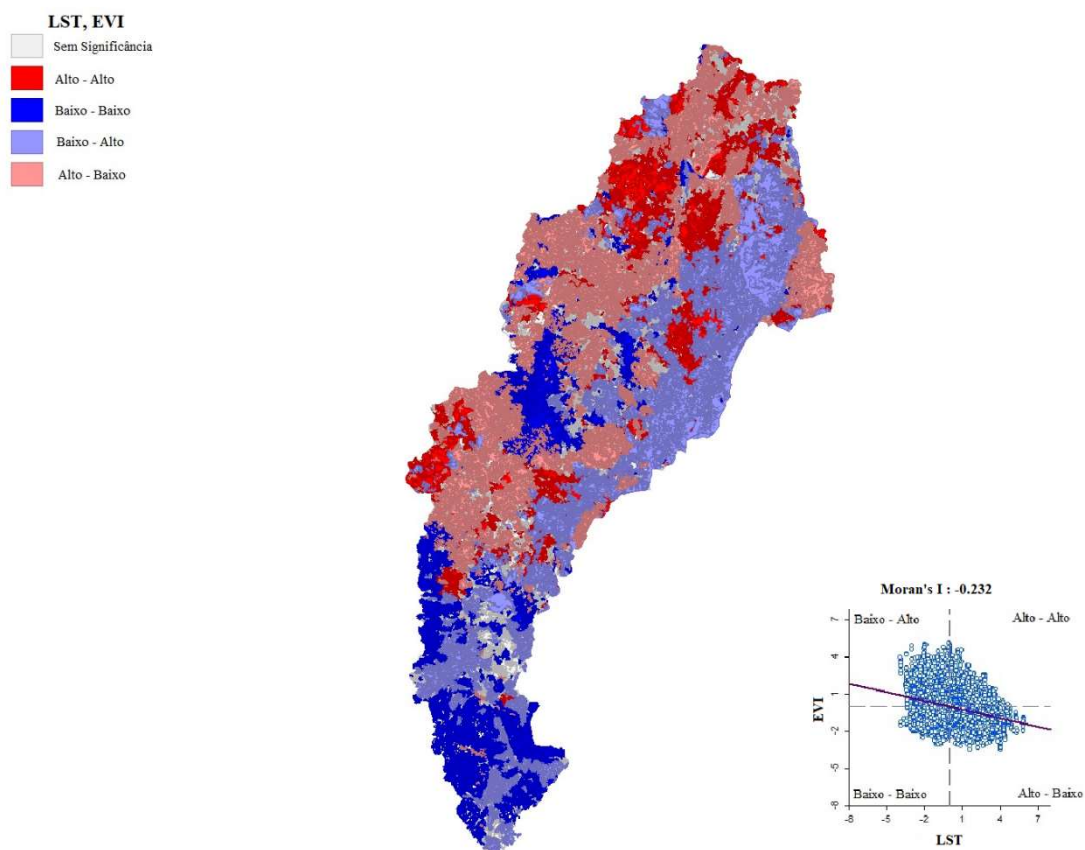
Das classes de agrupamentos que mostram valores correlacionados o agrupamento Baixo – Alto continuou sendo a classe predominante dentro da bacia, apresentando 45752 células correlacionadas seguidas pelo agrupamento Alto – Baixo com 40561 células correlacionadas.

A porção mais ao sul da bacia JQ1 se manteve com o mesmo agrupamento predominante durante o período analisado sendo Baixo – Baixo, apesar de ser caracterizada pela presença de vegetação intermediária, essa região teve pouca variação em relação aos valores dos índices devido à influência da altimetria do relevo.

O diagrama de Moran para 2018 (figura 24) apresentou como resultado -0,311, a autocorrelação espacial se deu basicamente da mesma forma desde o início da série histórica, com isso a relação é dada de maneira inversamente proporcional predominante na bacia JQ1, evidenciando o aumento da LST com a redução dos IV.

Para a autocorrelação espacial entre LST e EVI o comportamento espacial dos agrupamentos foi semelhante ao do NDVI. O EVI é compreendido como um índice complementar ao NDVI, com isso áreas que apresentam cobertura vegetal e formação de dossel apresentam os maiores valores de EVI. A figura 25 mostra como se deu os agrupamentos de correlação da LST com o EVI no ano 2000 para a bacia JQ1.

Figura 25: Classes de Agrupamentos LST x EVI– ano 2000– Bacia JQ1



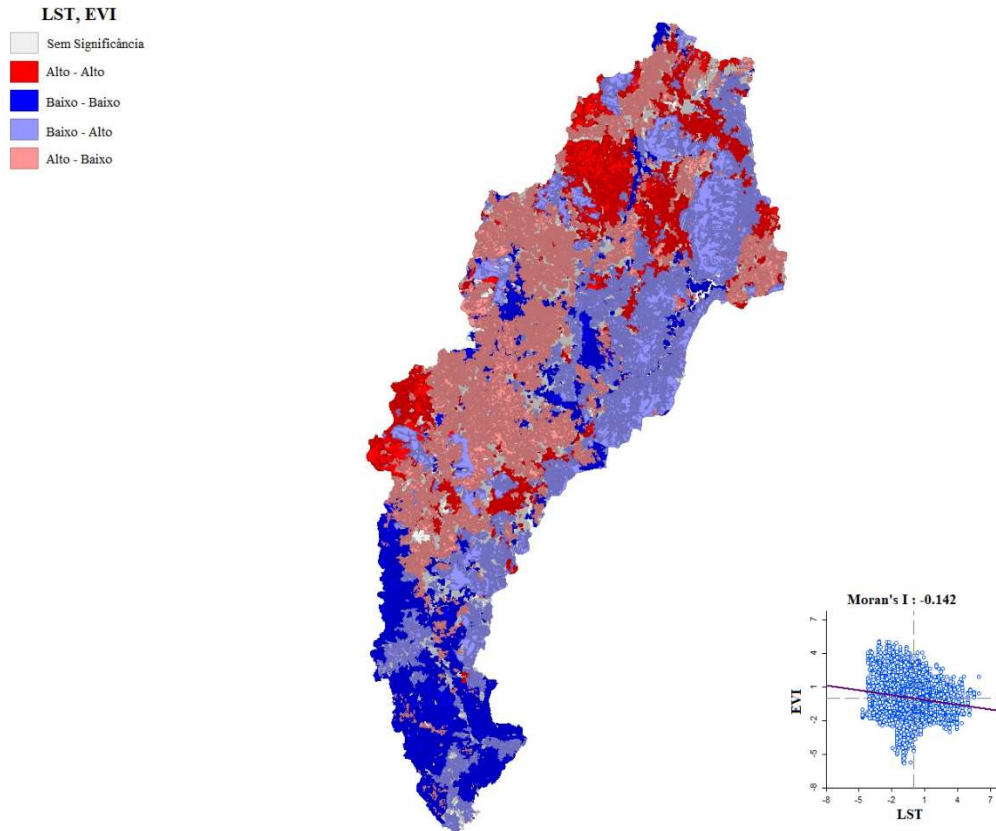
O diagrama de Moran mostra um valor para a correlação espacial de EVI e LST - 0,232 para o ano 2000 e de -0,142 para 2018. Os valores estão abaixo dos apresentados na correlação LST e NDVI pois os valores do EVI são menores dentro da série histórica. A característica fundamental dessa correlação LST com EVI é que estão em patamares tão baixos que praticamente não há correlação, evidenciando assim uma grande dispersão dos valores.

A dispersão dos valores correlacionados mostra que redução dos valores de EVI se deu pelo aumento não somente da LST, pois caso fosse apenas pelo aumento dos valores da LST a inclinação da reta da figura 25 seria mais acentuada evidenciando uma forte dependência entre as variáveis de LST e EVI.

Para o ano de 2018 os agrupamentos de correlação espacial da LST com EVI apresentam praticamente os mesmos padrões de distribuição dentro da bacia JQ1. Não

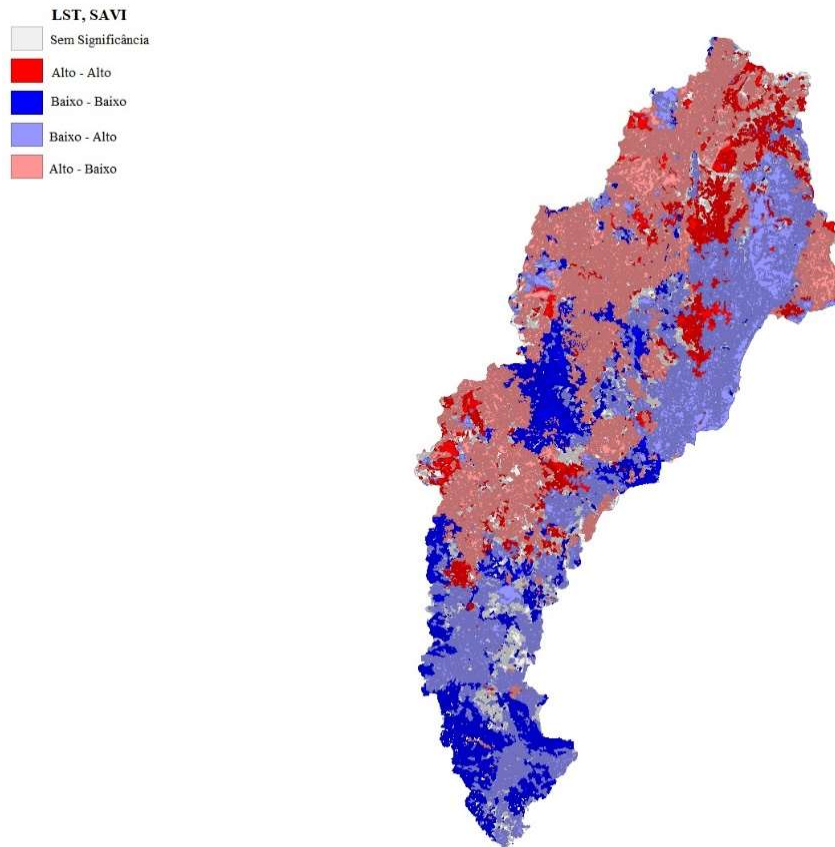
houve mudanças significativas nos agrupamentos, sendo o maior agrupamento o Baixo–Alto com 35484 células correlacionadas seguido pelo agrupamento Alto – Baixo com 29019 células correlacionadas, conforme figura 26.

Figura 26: Classes de Agrupamentos LST x EVI– ano 2018– Bacia JQ1



O SAVI apresentou autocorrelação de Moran local obedecendo os mesmos padrões espaciais que os agrupamentos do NDVI e EVI. Com isso, há predominância das classes de transição nos agrupamentos, sendo o agrupamento Alto – Baixo na porção oeste enquanto maior agrupamento, apresentando 25723 células correlacionadas conforme figura 27.

Figura 27: Classes de Agrupamentos LST x SAVI– ano 2000– Bacia JQ1



Outro agrupamento que merece destaque foi o Baixo – Alto que mostra baixos valores de LST correlacionados com altos valores de SAVI. Esse comportamento também foi mostrado com NDVI e EVI quando correlacionados com o LST, mostrando assim que áreas melhor vegetadas apresentaram maiores IV.

No mapa dos agrupamentos nota-se mudança no padrão espacial em relação a região Alto – Alto quando analisado esse mesmo agrupamento com NDVI e EVI do ano 2000. Isso se deve primordialmente à diferenciação entre as classes do valor do fator L, com isso os valores que seriam maiores quando utilizados $L = 0,5$ tendem a redução quando utilizado $L = 0,25$.

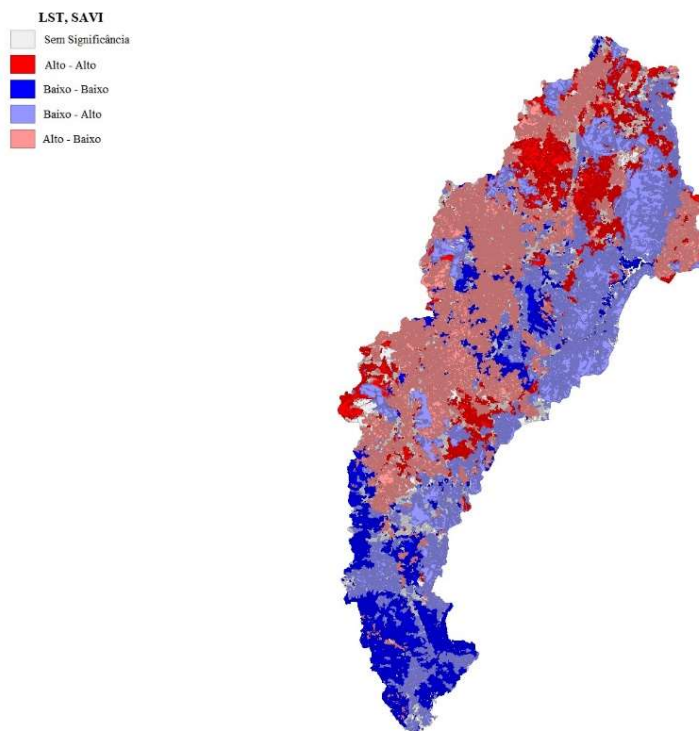
A diferenciação do fator L evidenciou as regiões com vegetação de porte intermediário como as de maior predominância, mostrando assim as classes vegetacionais de savana, campestre e pastagem como predominantes na bacia JQ1, classes que apresentaram maiores valores de LST e menores de SAVI, diferentemente do que

aconteceu com NDVI e EVI, onde foram evidenciados como agrupamento predominante o Baixo – Alto.

A autocorrelação indicada pelo índice de Moran Local foi de -0,246 para o ano 2000 e de -0,231 para o ano de 2018. Com isso a correlação do SAVI com a LST também se deu de maneira inversamente proporcional, indicando assim o aumento da LST está ligado a queda do SAVI.

Na área central onde havia também um agrupamento em Baixo – Baixo esse foi substituído majoritariamente pelo Alto – Baixo mostrando assim um aumento da LST para a região e a manutenção de valores de SAVI abaixo da média. A figura 28 mostra os agrupamentos de correlação para o ano 2000.

Figura 28: Classes de Agrupamentos LST x SAVI– ano 2018– Bacia JQ1



8 CONCLUSÕES

A correlação espacial entre as variáveis biofísicas da LST com os IV foi importante por apresentar como essas variáveis se comportam ao longo da série histórica. Diante dos dados apresentados ficou evidenciado que a oscilação dos índices de vegetação está correlacionada com a LST, porém de maneira fraca, fato que evidencia a interferência de mais variáveis, como podemos citar a precipitação.

A bacia JQ1 apresentou dois principais agrupamentos de correlação, sendo eles: Baixo – Alto e Alto – Baixo. As regiões caracterizadas por vegetação de melhor porte como a floresta plantada e formação florestal apresentaram os menores valores de LST e consequentemente os maiores de IV. Essas regiões foram caracterizadas como agrupamento Baixo - Alto, ou seja, denotam áreas com melhor condição de vegetação, perfazem prioritariamente a porção leste até a porção norte da bacia JQ1.

O agrupamento Alto – Baixo é caracterizado por regiões que apresentaram altos valores de LST conjuntamente com baixos índices de vegetação, essas áreas são compostas principalmente por vegetação de baixo porte como formação savânica; campestre e pastagem. Foram identificadas principalmente a oeste da bacia JQ1.

As classes vegetacionais apresentaram comportamento espectral muito parecido entre si, assim as classes com porte intermediário (savana, campestre e pastagem) obtiveram valores muito próximos e pequenas oscilações ao longo dos anos. As classes de formação florestal e floresta plantada apresentaram maiores valores de IV.

Os anos de 2006 e 2018 apresentaram os melhores IV para todas as classes vegetacionais, consequentemente apresentaram também menores valores da LST e melhores totais precipitados. Diante da oscilação da LST analisada, o período 2018 – 2022 tende a apresentar alta de temperatura com queda nos IV.

A oscilação no período analisado se deu de maneira acentuada no ano de 2012 principalmente por ter sido o ano de menor regime pluviométrico, assim temos a redução dos IV para as classes vegetacionais e aumento da LST. O total precipitado é uma variável que influencia diretamente a relação da LST com os IV.

O sensor MODIS apresentou resultados adequados para a investigação para a avaliação da variação espaço-temporal dos IV e da temperatura de superfície. Contudo, para elucidação mais detalhada principalmente dos agrupamentos faz-se necessário o uso de mais tipos de dados além de um produto orbitais com maior resolução espacial, a fim de se obter valores com maior acurácia para as classes vegetacionais.

9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M, HASUY, BRITO NEVES, B. B., FUCK, R.A., 1977. **PROVÍNCIAS ESTRUTURAIS BRASILEIRAS**. Proceedings of Simposio de Geologia do Nordeste.

ARAI, E; FREITAS, R.M. **PRÉ PROCESSAMENTO**. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL**. São José dos Campos, SP: A. Silva.Vieira Ed., 2007.

ARAÚJO, A.L; SILVA, M.T; SILVA, B.B; SANTOS, C.C; DANTAS, M.P. **ANÁLISE DAS MUDANÇAS DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS SOBRE O NORDESTE BRASILEIRO DE 2002 A 2011 COM DADOS MODIS**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, v. 4, 589 - 599, 2018.

BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGT, D. (1992). **MODIS SPECTRAL SENSIVITY STUDY: REQUIREMENTS AND CHARACTERIZATION**. October, 84p.

BAYMA, A.P. **ANÁLISE DO POTENCIAL DE SÉRIES TEMPORAIS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI E EVI) DO SENSOR MODIS PARA DETECÇÃO DE DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO**. Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Instituto de Geociências, 2015.

BIERMANN, F., BOAS, I. **PREPARING FOR A WARMER WORLD: TOWARDS A GLOBAL GOVERNANCE SYSTEM TO PROTECT CLIMATE REFUGEES**. Global environmental politics, 10, 60-88, 2010.

CASTRO MP. **CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA FORMAÇÃO CAPELINHA COMO UMA UNIDADE BASAL DO GRUPO MACAÚBAS EM SUA ÁREA TIPO, MINAS GERAIS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. [online] URL: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4324.2014>.

DANTAS, F. R. DA CUNHA; NASCIMENTO, F. C. A. DO; BRAGA, C. C. **ANÁLISE COMPARATIVA DO SAVI SOBRE REGIÕES DA CAATINGA BRASILEIRA OBTIDO POR DADOS REMOTOS**. 2012. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1190/1459>. Acesso em: 03 fev. 2020.

DEMARCHI, J.C; PIROLI, E. L; ZIMBACK, C.R.L. **ANÁLISE TEMPORAL DO USO DO SOLO E COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO RIO PARDO – USANDO IMAGENS LANDSAT – 5**. Revista Raéga, v.21, p234-271,2011.

EMBRAPA. **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS**/ Humberto Gonçalves dos Santos[et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FERREIRA, V.O. PAISAGEM, RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, EM MINAS GERAIS. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, p.313.

FERREIRA, V.O. UNIDADES DE PAISAGEM DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, EM MINAS GERAIS: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. Caminhos de geografia - revista on line. ISSN 1678-6343. Uberlândia v. 12, n. 37 mar/2011 p. 239- 257.

FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. O CLIMA DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA, EM MINAS GERAIS: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. Revista Brasileira de Geografia Física, n.02 (2012), p.302-319.

FERREIRA, L.G; FERNANDEZ, L.E; SANO, E.E; FIELD, C.; SOUSA, S.B; ARANTES, A.E.; ARAÚJO, F.M BIOPHYSICAL PROPERTIES OF CULTIVATED PASTURES IN THE BRAZILIAN SAVANNA BIOME: AN ANALYSIS IN THE SPATIAL- TEMPORAL DOMAINS BASED ON GROUND AND SATELLITE DATA. Remote sensing, basel, v.5, p.307-326, 2013.

FOGAÇA, A.C.C. GEOLOGIA DA FOLHA DIAMANTINA. In: Grossi-Sad JH, Lobato LM, Pedrosa-Soares AC, Soares-Filho BS. (Ed.). Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais 1667-1806. 1997.

FORMAGGIO, A.R; SANCHES, I. D. SENSORIAMENTO REMOTO EM AGRICULTURA. cap.3: Índices de vegetação x agricultura. Editora: Oficina de textos, 2017.

FRANCISCON, U. ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA MICROBACIA DO RIO PURUZINHO DO SUL DO AMAZONAS. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, 2018.

FRANCO, R.A.M.; HERNANDEZ, F.B.T; TEIXEIRA, A.H.C. MAPEAMENTO DA VARIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM DIFERENTES TIPOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO. Revista Brasileira de Cartografia (2016). No 68/10: 1975-1992 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936.

GOODESS, C. M. HOW IS THE FREQUENCY, LOCATION AND SEVERITY OF EXTREME EVENTS LIKELY TO CHANGE UP TO 2060. ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY, N.º 4, 4-14.2012.

HELD, I.M; SODEN, B.J. ROBUST RESPONSES OF THE HYDROLOGICAL CYCLE TO GLOBAL WARMING. Journal of climate. American Meteorological Society, volume 19, pages 5686-5699, November 2006.

HUETE, A.R. **A SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI). REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT**, v.25, p.295-309, 1988. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/220040775_Huete_A_R_A_soil-adjusted_vegetation_index_SAVI_REMOTE_Sensing_of_Enviroment>. Acesso em 09 de Mai.2019.

HUETE, A; LIU, H; BATCHILY, K, VAN LEEUWEN, W. **A COMPARISON OF VEGETATION INDICES OVER A GLOBAL SET OF TM IMAGES FOR EOS-MODIS**. Remote Sensing of Environment, v.59, n.3, p.440-451, mar.1997.

HUETE, A; DIDAN, K; MIURA, T; RODRIGUEZ, E.P, GAO, X; FERREIRA, L.G. **OVERVIEW OF THE RADIOMETRIC AND BIOPHYSICAL PERFORMANCE OF THE MODIS VEGETATION INDICES**. Remote Sensing of Environment 83 (2002) 195 – 213.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA: DIRETRIZES GERAIS PARA A ORDENAÇÃO TERRITORIAL**. Salvador, 1997, 64p.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **CLIMATE CHANGE AND LAND**. AN IPCC SPECIAL REPORT ON CLIMATE CHANGE, DESERTIFICATION, LAND DEGRADATION, SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT, FOOD SECURITY, AND GREENHOUSE GAS FLUXES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS. 2019.

JEPPESEN, E. KROVANG,B. MEERHOFF,M. SONDERGAARD, M., HANSEN,K.M., ANDERSEN,H.E. & OLESEN,J.E. **CLIMATE CHANGE EFFECTS ON RUNOFF, CATCHMENT PHOSPHORUS LOADING AND LAKE ECOLOGICAL STATE, AND POTENTIAL ADAPTATIONS**. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY, 38(5), 1930-41, 2009.

JULIEN, Y.; SOBRINO, J. A.; VERHOEF, W. **CHANGES IN LAND SURFACE TEMPERATURES AND NDVI VALUES OVER EUROPE BETWEEN 1982 AND 1999**. REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, V.103, P.43-55, 2006.

JUSTICE, C; VERMOTE, E; TOWNSHEND.J.R.G; DEFRIES,R; ROY,P.D; HALL,D.K; SOLOMONSON, V; PRIVETTE, J.L; RIGGS,G; STRAHLER, A; LUCHT, W; MYNENI, B. KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W.S; NEMANI, R.R, WAN, Z.; HUETE, A.R.; LEEUWENM W.V.; WOLFE, R.E; GIGLIO, L.; MULLER, J.P LEWIS, P; BARNESLEY, M. **THE MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER (MODIS): LAND REMOTE SENSING FOR GLOBAL CHANGE RESEARCH**. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing, v.36, n.4, p.1228-1247, jul.1998.

JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. (2002). **AN OVERVIEW OF**

MODIS LAND DATA PROCESSING AND PRODUCT STATUS. *Remote Sens. Environ.* 83: 3 –15.

KARL,T.R; KUKLA, G; RAZUVAYEV, V.N; CHANGERY, M.J;QUAYLE, R.G, HEIM, R; EASTERLING, D; FU,C.B. **GLOBAL WARMING: EVIDENCE FOR ASYMMETRIC DIURNAL TEMPERATURE CHANGE.** *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL.18, NO.12, PAGES 2253-2256, DECEMBER 1991.

KUCHENBECKER M, PEDROSA-SOARES AC. BABINSKI M, FANNING M. **Detrital zircon age patterns and provenance assessment for pre-glacial to post-glacial successions of the Neoproterozoic Macaúbas Group, Araçuaí orogen, Brazil.** *Precambrian Research* 266: 12-26. 201 <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.04.016>. 2015.

KUCHENBECKER, M. **EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI: UMA REVISÃO.** *Revista Espinhaço*, 2018, 7 (1): 53-64.

LATORRE, M.L; ANDERSON, L.O; SHIMABUKURO, Y.E; JÚNIOR, O. A. C. **SENSOR MODIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÕES.** *Espaço & Geografia*, Vol.6, No 1 (2003), 91:121 ISSN: 1516-9375.

LATORRE, ML.; SHIMABUKO, YE.; ANDERSON, LO. **PRODUTOS PARA ECOSSISTEMAS TERRESTRES - MODLAND.** In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil.** São José dos Campos, SP: A. Silva.Vieira Ed., 2007.

LEITE, M.R. **SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À ANÁLISE TEMPORAL DA RELAÇÃO USO DA TERRA/TEMPERATURA E ALBEDO DE SUPERFÍCIE NA BACIA DO RIO VIEIRA NO PORTO NO NORTE DE MINAS GERAIS.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2011.

LIU, W.T.H. **APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO.** 1ed. Campo Grande. Uniderp, 2007.

LOPES-SILVA L, KNAUER LG. **Posicionamento Estratigráfico da Formação Bandeirinha na Região de Diamantina, Minas Gerais: Grupo Costa Sena ou Supergrupo Espinhaço?.** *Geonomos* 19 (2): 131-151. [online] URL: <http://general.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/20112/Lopes-Silva-e-Knauer.pdf>. 2011.

LPDAAC. **LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER.** Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m - MOD13Q1. 2005. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/documents/103/MOD13_User_Guide_V6.pdf. Acessado em 13 de Março de 2020.

MARENGO, J. A. **ÁGUA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS.** ESTUDOS AVANÇADOS, V.63, P.83-96, 2008.

MARTINS MS, KARFUNKEL J, NOCE CM, BABINSKI M, PEDROSA-SOARES AC, SIAL AN, LIU D. **A SEQUÊNCIA PRÉ-GLACIAL DO GRUPO MACAÚBAS NA ÁREA-TIPO E O REGISTRO DA ABERTURA DO RIFTE ARAÇUAÍ.** *Rev. Bras. Geociências.* 38: 761–772. 2008.

MENDONÇA, R. R. **DINÂMICA DA VEGETAÇÃO ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO MUNICÍPIO DE INGÁ – PB.** Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2019.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **CLIMATOLOGIA: NOÇÕES BÁSICAS E CLIMAS DO BRASIL.** São Paulo: Oficina de texto, 2007. 208p.

MOREIRA, A.A. **ANÁLISE DA SECA/ESTIAGEM NO NORTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS A PARTIR DE DADOS MODIS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 2016.

MOSS, B., KOSTEN, S., MEERHOF, M. BATTARBEE, R., JEPPESEN, E., MAZZEO, N, PAERL, H. **ALLIED ATTACK: CLIMATE CHANGE AND EUTROPHICATION.** *INLAND WATERS*, 1(2), 101 – 105, 2011.

NEVES, S.C; ABREU, P.A; FRAGA, L.M.S. **CAPÍTULO 2, FISIOGRAFIA** In: **SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL: PAISAGENS E AMBIENTES.** Alexandre Chsrístofaro, Léa Cristina Vilela Sá Fortes Pedreira, Pedro Ângelo Almeida Abreu (ed). – Belo Horizonte: O Lutador, 2005. 272p.

NOCE, C.M, PEDROSA- SOARES, A.C; SILVA, L.C; ALKMIM, F.F. **O EMBASAMENTO ARQUEANO E PALEOPROTEROZÓICO DO ORÓGENO ARAÇUAÍ.** *REVISTA GEONOMOS* 15(1): 17 - 23, 2007.

NOVO, E L.M. **SENSORIAMENTO REMOTO: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES.** 3ª Edição. São Paulo: Blucher, 2008.

OLIVER-SMITH, A. **DEBATING ENVIRONMENTAL MIGRATION: SOCIETY, NATURE AND POPULATION DISPLACEMENT IN CLIMATE CHANGE.** *JOURNAL OF INTERNATIONAL DEVELOPMENT*, VOL. 24, N.º 8, 1058- 1070. 2012.

PADOVANNI, N. G. **ANÁLISE ESPACIAL DA TEMPERATURA E ALBEDO DE SUPERFÍCIE EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Campus de Sorocaba), 2017.

PAULA, S.C de; VEDOVATO, L.B.; SILVA, G.B.S, d; VICENTE, L.E. **COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES ESPECTRAIS EVI e EVI2 PARA DISCRIMINAÇÃO DE PASTAGENS PLANTADAS E NATURAIS.** In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2013. Campinas.

PEREIRA, C.C; MARIANO, Z.F; WACHHOLZ, F; CABRAL, J.B.P. **ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA BARRA DOS COQUEIROS (GOIÁS)**. Revista Geonorte, edição especial 2, v.2, n.5, p.1243 – 1255, 2012.

PIRES. E. G. **ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO ESTADO DO TOCANTINS A PARTIR DO USO DE GEOTECNOLOGIAS**. Revista interface, edição nº 10, dezembro de 2015; p. 133-144.

PIRES. E. G. **AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS, DERIVADOS DE DADOS SATELITÁRIOS, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES – TO**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Goiás, programa de pós graduação em geografia, 2017.

ROGERSON, P.A. **MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A GEOGRAFIA: UM GUIA PARA O ESTUDANTE**. Tradução técnica: Paulo Fernando Braga Carvalho, José Irineu Rangel Rigotti. 3ª edição – Porto Alegre: Bookman, 2012, 348p.

ROSENDO, J.S. **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO ARAGUARI -MG- UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2005, 130p.

ROSENDO, J.S; ROSA, R. **A UTILIZAÇÃO DE SENSORES COM RESOLUÇÃO MODERADA (MODIS) NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO ARAGUARI – MG**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 17 (33): 91 -104, dez 2005.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHEEL, J.A, DEERING, D.W, HARLAN, J.C. **MONITORING THE VERNAL ADVANCEMENT OF RETROGRADATION (GREENWAVE EFFECT) OF NATURAL VEGETATION**. NASA/GSFC, TYPE III, FINAL REPORT, GREENBELT, MD, 1974, 374p.

RUNNING, S.W.; JUSTICE, C.W.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y.; STRAHLER, R.; MULLER, J.P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z.M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, D. **TERRESTRIAL REMOTE SENSING SCIENCE AND ALGORITHMS PLANNED FOR EOS/MODIS**. International Journal of Remote Sensing, Special Issue on creating global datasets: Experience with AVHRR, 1994.

SANTOS, D.P. **MONITORAMENTO E MODELAGEM DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS COMO BASE PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÃO SEMIÁRIDA**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2018.

SCHAAF, C. **MODIS BRDF/ALBEDO PRODUCT (MOD43B) USER'S GUIDE**. CALIFORNIA, 2005. DISPONIVEL EM :<[HTTP://GEOGRAPHY.BU.EDU/](http://GEOGRAPHY.BU.EDU/)> ACESSO EM: 08 MAIO. 2019.

SCHOBENHAUS, C; BRITO NEVES, B.B. **A GEOLOGIA DO BRASIL NO CONTEXTO DA PLATAFORMA SUL-AMERICANA.** In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, 2003.

SINDHU, N; PEBESMA, E; CÂMARA, G. **USING GOOGLE EARTH ENGINE TO DETECT LAND COVER CHANGE: SINGAPORE AS A USE CASE.** European journal of remote sensing, 2018 vol. 51, no. 1, 486-500
<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1451782>.

SOARES, J.V; BATISTA, G.T; SHIMABUKURO, Y.E. **HISTÓRICO E DESCRIÇÃO.** CAPÍTULO 1, In: RUDORFF, B.F.T; SHIMABUKURO; CEBALLOS, J.C. **SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL.** São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, ed., 2007.

SOBRINO, J.A; JULIEN, Y. **TREND ANALYSIS OF GLOBAL MODIS – TERRA VEGETATION INDICES AND LAND SURFACE TEMPERATURE BETWEEN 2000 – 2011.** IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATION AND REMOTE SENSING, VOL.6 NO.5, OCTOBER, 2013.

SOUZA, D. C., OYAMA, M. D. **CLIMATIC CONSEQUENCES OF GRADUAL DESERTIFICATION IN THE SEMIARID. ÁREA OF NORTH EAST BRAZIL.** In: Theoretical and Applied Climatology, v. 103, p. 345-357, 2011.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. **ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM ÁREAS URBANAS EM PROCESSO DE CONSOLIDAÇÃO: REFLEXÕES E EXPERIMENTO EM PLANALTA-DF.** Revista Brasileira de Climatologia, ano 6, p. 37-56, 2010.

SUN, D. KAFATOS, M. **NOTE ON THE NDVI-LST RELATIONSHIP AND THE USE OF TEMPERATURE-RELATED DROUGHT INDICES OVER NORTH AMERICA.** GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L24406, doi:10.1029/2007GL031485, 2007

WAN, Z.; DOZIER, J. **A GENERALIZED SPLIT – WINDOW ALGORITHM FOR RETRIEVING LAND – SURFACE TEMPERATURE FROM SPACE.** IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, v. 34, n.4, p. 892 - 904, July 1996.

WAN, Z.; LI, Z-L. **A PHYSICS-BASED ALGORITHM FOR RETRIEVING LAND-SURFACE EMISSIVITY AND TEMPERATURE FROM EOS/MODIS DATA.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Newark, v. 35, n. 4, p. 980-996, 1997.

WARNER, K., HAMZA, M., OLIVER-SMITH A., RENAUD F., JULCA A. **CLIMATE CHANGE, ENVIRONMENTAL DEGRADATION AND MIGRATION.** NAT HAZARDS, 55 (3), 689-715. 2008.

WARREN, M.S; PERES, L. RODRIGUES, L.N; CAMPANA.N.A. **PROCEDIMENTO PARA ALTERAÇÃO DA EMISSIVIDADE DO PRODUTO DE TEMPERATURA DO MODIS – MOD11.** Revista Brasileira de Cartografia (2012) N0 64/4: 465-474

Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.
ISSN: 1808-0936.

XAVIER, M.B. ROLIM; S.B.A, DEGRAZIA, G.A; FILHO; W.P. ANÁLISE DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE UMA LAGOA COSTEIRA INTEGRADA COM DADOS ORBITAIS E MICROMETEOROLÓGICOS NA PASSAGEM DE SISTEMAS FRONTAIS. Ciência e natura, v.37 n.2, 2015, mai.- ago. .P.321 – 330.

APÊNDICE A – CÓDIGO NO GOOGLE EARTH ENGINE NDVI E EVI

```
// ===== IMAGENS - NDVI =====
var coleção_NDVI = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13A2')
    .filterDate('2000-01-01','2000-12-31');

var median = coleção_NDVI.median();
var ndvi = coleção_NDVI.select('NDVI');

var ndviVis = {
  min: 0.0,
  max: 10000.0,
  palette: [
    'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901',
    '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01',
    '012E01', '011D01', '011301'
  ],
};

// ===== IMAGENS - EVI =====
var coleção_EVI = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13A2')
    .filterDate('2018-01-01','2018-12-31');

var mediana = coleção_EVI.median();
var evi = coleção_EVI.select('EVI');

var eviVis = {
  min: 0.0,
  max: 10000.0,
  palette: [
    'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901',
    '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01',
    '012E01', '011D01', '011301'
  ],
};

// ===== PRODUTOS EXIBIDOS =====
Map.setCenter(-42.833058, -16.448752, 7);
Map.addLayer(ndvi.median(), ndviVis, 'NDVI');
Map.addLayer(evi.median(), eviVis, 'EVI');
Map.addLayer(JQ1, {}, 'BACIA_JQ1', true)

// ===== GRÁFICOS =====
//NDVI_CHART
var TS1 = ui.Chart.image.seriesByRegion({
```

```

imageCollection: ndvi,
regions: JQ1,
reducer: ee.Reducer.median(),
band: 'NDVI',
scale: 1000,
xProperty: 'system:time_start',
seriesProperty: 'label'
});
TS1.setOptions({
title: 'NDVI_JQ1_2000',
vAxis: {
title: 'Valores'
}
})
print(TS1)
//EVI_CHART
var TS2 = ui.Chart.image.seriesByRegion({
imageCollection: evi,
regions: JQ1,
reducer: ee.Reducer.median(),
band: 'EVI',
scale: 1000,
xProperty: 'system:time_start',
seriesProperty: 'label'
});
TS2.setOptions({
title: 'EVI_JQ1_2000',
vAxis: {
title: 'Valores'
}
})
print(TS2)
//EXPORTAR IMAGEM NDVI
//Export.image.toDrive({
//image: ndvi.median(),
//description: 'NDVI_FINAL_18',
//region: JQ1,
//scale: 250,

```



```
regions: JQ1,  
reducer: ee.Reducer.median(),  
band: 'SAVI',  
scale: 1000,  
xProperty: 'system:time_start',  
seriesProperty: 'label'  
});
```

```
TS1.setOptions({  
  title: 'SAVI 2018',  
  vAxis: {  
    title: 'Valores'  
  }  
})
```

```
print(TS1);
```

```
//EXPORTAR IMAGEM SAVI  
//Export.image.toDrive({  
  //image: MOD.median(),  
  //description: 'SAVI_2018_025',  
  //region: JQ1,  
  //scale: 1000,  
  //crs: 'EPSG:32723',  
  //folder: 'SAVI_1000m_JQ1',  
  //maxPixels: 1000000000000});
```

