

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

LEONARDO HENRIQUE LEMES BEZERRA

**Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical  
úmido e subúmido**

São Paulo

2023

LEONARDO HENRIQUE LEMES BEZERRA

**Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical  
úmido e subúmido**

**Versão original**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia Física da Universidade de  
São Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Geografia  
Física

Orientador: Fernando Nadal  
Junqueira Villela

Coorientadora: Sheila Aparecida  
Correia Furquim

São Paulo  
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

B574e Bezerra, Leonardo Henrique Lemes  
Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical úmido e subúmido / Leonardo Henrique Lemes Bezerra; orientador Fernando Nadal Junqueira Villela; coorientadora Sheila Aparecida Correia Furquim - São Paulo, 2023.  
125 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Erosão Eólica. 2. Nuvem de poeira. 3. Geografia. I. Villela, Fernando Nadal Junqueira, orient. II. Título.

Nome: BEZERRA, Leonardo Henrique Lemes

Título: Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical úmido e subúmido.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Intituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Profa. Dra. \_\_\_\_\_

Intituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Intituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

***À Leon Henrique de Souza Bezerra, meu amado filho, que antes mesmo de nascer, se fez minha maior inspiração para finalização deste trabalho.***

## **AGRADECIMENTOS**

À Santíssima Trindade, que através de Sua infinita misericórdia deu sentido a vida.

À Virgem mãe de Deus, Maria Santíssima, que com seu manto sagrado tem nos livrado do mal.

À Nathália Araújo de Souza Bezerra, meu grande amor, que não me deixou esmorecer.

À Mauro Gomes Bezerra e Vidalvina Lemes Espinonza Bezerra, meus amados pais, que sempre me incentivaram aos estudos.

À Janete Rodrigues de Araújo Souza, minha amada sogra, que ao demonstrar seu orgulho em meus esforços, muito contribuiu para que eu não caísse em desânimo.

Ao Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela, meu orientador, quem em todo o processo de escrita deste trabalho (desde o ano de 2019), nem por um milésimo de segundo, deixou de efetuar suas profundas análises e considerações.

À Dra. Sheila Aparecida Correia Furquim, minha coorientadora, que não permitiu qualquer desvio ou queda na qualidade desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

BEZERRA, L. H. L. **Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical úmido e subúmido**. 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São paulo, 2023)

O termo erosão pode ser definido como um processo de transporte dos materiais inconsolidados de uma área para outra, sendo o mais comum das áreas mais altas para as mais baixas. Quando o vento atua transportando material, dá-se a este fenômeno o nome de “erosão eólica”, que é sinônimo de deflação. A ação eólica é pouco associada a ambientes que não sejam aqueles chamados ‘ambientes eólicos’ (áridos, desérticos e costeiros) e isto ocorre porque tradicionalmente as pesquisas que tratam da ação plúvio-fluvial são designadas principalmente ao mundo tropical, segregando-as daquelas que tratam da deflação. A premissa deste trabalho partiu de Field, Breshears e Whicker (2009) que publicaram um artigo apontando que a erosão de solos não é um evento exclusivo do vento ou da água, mas que se trata de uma ação conjunta e interativa. A hipótese desta pesquisa foi que a maioria dos estudos sobre a erosão eólica permanece arraigada às ideias dos pesquisadores pioneiros, estudando o tema preferencialmente em ambientes com pouca atuação da água (desertos, regiões áridas e semiáridas) ou em regiões costeiras onde a areia e os outros materiais estão ao sabor do vento. O objetivo deste trabalho foi avaliar o papel do vento como agente erosivo em meio tropical úmido e subúmido, por meio de levantamento bibliométrico e bibliográfico, exemplificando esta atuação a partir do fenômeno de nuvens de poeira que ocorreram em Franca-SP no dia 26 de setembro de 2021. Para análise do fenômeno de nuvem de poeira foram utilizados dados fornecidos pelas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e aplicadas técnicas de geoprocessamento. Para análise da tendência e perspectiva das pesquisas no século XXI efetuou-se um levantamento bibliométrico e foi efetuada uma análise qualitativa e quantitativa. Os resultados demonstraram que o objetivo deste trabalho foi alcançado pois, houve a avaliação da atuação do vento enquanto agente erosivo em meios não tradicionais para este tipo de pesquisa. A Hipótese foi confirmada, pois, averiguou-se que a maior quantidade das pesquisas eólicas permanece arraigada as ideias de seus iniciadores, efetuando os estudos acerca da erosão eólica preferencialmente em ambientes tradicionais: áridos, desérticos e costeiros.

**Palavras-chave:** Erosão Eólica. Nuvem de Poeira. Geografia Física.

## ABSTRACT

BEZERRA, L. H. L. **Estudo teórico do papel do vento como agente erosivo em meio tropical úmido e subúmido.** 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São paulo, 2023)

The term erosion can be defined as a process of transporting unconsolidated materials from one area to another, most commonly from higher to lower areas. When the wind acts transporting material, this phenomenon is called "wind erosion", which is synonymous with deflation. Wind action is little associated with environments other than those called 'wind environments' (arid, desert and coastal) and this occurs because traditionally research dealing with pluvio-fluvial action is mainly assigned to the tropical world, segregating them from those that deal with deal with deflation. The premise of this work came from Field, Breshears and Whicker (2009) who published an article pointing out that soil erosion is not an event exclusive to wind or water, but that it is a joint and interactive action. The hypothesis of this research was that most studies on wind erosion remain rooted in the ideas of pioneering researchers, studying the topic preferably in environments with little water activity (deserts, arid and semi-arid regions) or in coastal regions where sand and other materials are at the mercy of the wind. The objective of this work was to evaluate the role of wind as an erosive agent in humid and subhumid tropical environments, through a bibliometric and bibliographical survey, exemplifying this action based on the phenomenon of dust clouds that occurred in Franca-SP on September 26 de 2021. For the analysis of the dust cloud phenomenon, data provided by automatic meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET) were used and geoprocessing techniques were applied. To analyze the trend and perspective of research in the 21st century, a bibliometric survey was carried out and a qualitative and quantitative analysis was carried out. The results showed that the objective of this work was achieved, since there was an evaluation of the performance of the wind as an erosive agent in non-traditional means for this type of research. The Hypothesis was confirmed, as it was found that the largest amount of wind research remains rooted in the ideas of its initiators, carrying out studies on wind erosion preferably in traditional environments: arid, desert and coastal.

**Keywords:** Wind Erosion. Dust Cloud. Physical Geography.

## SUMÁRIO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1.      | INTRODUÇÃO .....   | 13 |
| 2.      | OBJETIVO E HIPÓTESE .....                                      | 16 |
| 3.      | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....            | 16 |
| 3.1     | A origem do vento .....  | 17 |
| 3.2     | O vento enquanto um fluido .....                               | 20 |
| 3.3     | Os grãos em movimento: a deflação .....                        | 20 |
| 3.4     | Formas e paisagens características da deflação .....           | 25 |
| 4.      | METODOLOGIA .....  | 27 |
| 4.1     | Produção cartográfica e sobreposições dos dados horários ..... | 30 |
| 4.2     | Do sensoriamento remoto .....                                  | 32 |
| 4.2.2   | Satélite utilizado .....                                       | 33 |
| 4.2.3   | Interpolações .....  | 35 |
| 4.2.4   | Índices normalizados para vegetação e umidade .....            | 36 |
| 4.3     | O Método para a Análise Bibliométrica .....                    | 38 |
| 5       | RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO .....                          | 39 |
| 5.1.1   | Análise quantitativa .....                                     | 39 |
| 5.1.2   | Análise qualitativa .....                                      | 46 |
| 5.1.2.1 | Geomorphology – 2000 a 2005 .....                              | 46 |
| 5.1.2.2 | Geomorphology – 2006 a 2010 .....                              | 48 |
| 5.1.2.3 | Geomorphology – 2011 a 2015 .....                              | 49 |
| 5.1.2.4 | Geomorphology – 2016 a 2023 .....                              | 51 |
| 5.1.2.5 | Aeolian Research – 2009 a 2015 .....                           | 52 |
| 5.1.2.6 | Aeolian Research – 2016 a 2023 .....                           | 54 |
| 5.1.2.7 | Earth Surface Processes and Landforms – 2000 a 2005 .....      | 56 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.2.8 Earth Surface Processes and Landforms – 2006 a 2010 .....      | 57  |
| 5.1.2.9 Earth Surface Processes and Landforms – 2011 a 2015 .....      | 59  |
| 5.1.2.10 Earth Surface Processes and Landforms – 2016 a 2023 .....     | 59  |
| 5.1.3 Síntese da análise qualitativa .....                             | 61  |
| 5.2 Estudo de Caso de Franca-SP .....                                  | 63  |
| 5.2.1 Área em Estudo.....  | 64  |
| 5.2.1.1 Geologia .....   | 65  |
| 5.2.1.2 Geomorfologia.....   | 68  |
| 5.2.1.3 Pedologia.....   | 73  |
| 5.2.1.4 Clima .....  | 76  |
| 5.2.1.5 Vegetação e uso do solo .....                                  | 80  |
| 5.2.2 Análise dos Dados Climatológicos .....                           | 83  |
| 5.2.2.1 Resultados mensais .....                                       | 83  |
| 5.2.2.2 Condições climáticas no momento do evento .....                | 92  |
| 5.2.2.3 Temperatura e pressão atmosférica .....                        | 92  |
| 5.2.2.4 Umidade do ar e pluviometria.....                              | 96  |
| 5.2.2.5 Velocidade e direção do vento .....                            | 98  |
| 5.2.2.6 Índices Normalizados das cenas próximas a data do evento ..... | 103 |
| 5.2.3 Discussão dos resultados do estudo de caso .....                 | 108 |
| 6. CONCLUSÕES.....   | 111 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 112 |
| REFERÊNCIAS .....  | 114 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Gráfico hipotético de tendências de transporte de sedimentos por tipos de clima.....                                     | 17 |
| Figura 2 - Circulação atmosférica idealizada em escala global compatível com as áreas de alta pressão (A) e baixa pressão (B) ..... | 18 |
| Figura 3 - Circulação geral da atmosfera de 30 em 30° .....   | 19 |
| Figura 4 - A estrutura da camada limite turbulenta.....   | 21 |
| Figura 5 - Tipos de movimentação dos grãos durante a deflação.....  | 23 |
| Figura 6 - Fotografia de alta velocidade para detecção de reptation.....  | 24 |
| Figura 7 - Exemplo de um Yardang.....   | 25 |
| Figura 8 - Estações meteorológicas utilizadas para produção dos resultados. 28  |    |
| Figura 9 - Mapa do número de publicações por país no tema "Aeolian Erosion" entre os anos 2000 e 2023.....                          | 43 |
| Figura 10 - Localização da área em estudo .....   | 64 |
| Figura 11 - Geologia da área em estudo .....  | 66 |
| Figura 12 - Morfoesculturas e Tipos de Relevo da área em estudo. ....   | 71 |
| Figura 13 - Hipsometria da área em estudo .....   | 72 |
| Figura 14 - Solos presentes na área em estudo.....  | 74 |
| Figura 15 - Classificação dos climas do Estado de São Paulo com a utilização de dados agrometeorológicos de 427 localidades. ....   | 76 |
| Figura 16 - Unidades climáticas da área de estudo .....   | 77 |
| Figura 17 - Distribuição das médias mensais da temperatura (°C) e precipitação (mm) do município de Franca no ano de 1990.....      | 79 |
| Figura 18 - Uso da terra na área de estudo.....   | 82 |
| Figura 19 - Pressão atmosférica média mensal na área em estudo. ....  | 84 |
| Figura 20 - Temperatura média mensal na área em estudo. ....  | 86 |
| Figura 21- Precipitação média mensal na área em estudo. ....  | 87 |
| Figura 22 - Velocidade do vento média mensal na área em estudo.....   | 89 |
| Figura 23 - Velocidade máxima média do vento média mensal na área em estudo. ....   | 90 |
| Figura 24 - Temperatura e pressão no momento do evento. Elaborado pelo autor. ....  | 95 |
| Figura 25 - Umidade relativa do ar e pluviometria no momento do evento.   |    |

|   |     |
|---|-----|
| Elaborado pelo autor. ....  | 97  |
| Figura 26. Velocidade e direção do vento no momento do evento. Elaborado pelo autor. .... | 100 |
| Figura 27- Rajada máxima do vento no momento do evento. ....                              | 103 |
| Figura 28 - NDVI das cenas próximas ao evento. ....                                       | 106 |
| Figura 29 - NDWI das cenas próximas ao evento. ....                                       | 108 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 - Estações meteorológica selecionadas para análise.....  | 29  |
| Quadro 2 - Bandas espectrais e especificidades do sensor OLI.....   | 34  |
| Quadro 3 - Bandas espectrais e especificidades do sensor TIRS.....  | 34  |
| Quadro 4 - Número de publicações e porcentagem por campos de pesquisa para o tema "Aeolian Erosion" entre os anos 2000 e 2023 no repositório Web of Science. .... | 40  |
| Quadro 5 - Número de publicações no tema "Aeolian Erosion" por país entre os anos 2000 e 2023.....  | 42  |
| Quadro 6 - Número de publicações por periódico no repositório Web of Science. ....  | 45  |
| Quadro 7 - Valores absolutos de pressão atmosférica média mensal na área em estudo. ....  | 84  |
| Quadro 8 - Valores absolutos de pressão temperatura média mensal na área em estudo. ....  | 86  |
| Quadro 9 - Valores absolutos de precipitação média mensal na área em estudo. ....   | 87  |
| Quadro 10 - Valores absolutos de velocidade do vento média mensal na área em estudo. ....   | 89  |
| Quadro 11 - Valores absolutos de velocidade máxima média do vento média mensal na área em estudo.....   | 90  |
| Quadro 12 - Direção predominante do vento no mês de Setembro entre os anos de 1991 a 2021. ....   | 91  |
| Quadro 13 - Temperatura e Pressão Atmosférica horária. <b>Erro! Indicador não definido.</b>   |     |
| Quadro 14 - Valores de umidade e precipitação coletados pelas EMAs em análise.....  | 98  |
| Quadro 15 - Valores de velocidade e direção do vento coletados pelas EMAs em análise.....   | 101 |
| Quadro 16 - Valores absolutos de rajada máxima do vento coletados pelas EMAs em análise.....  | 103 |

## 1. INTRODUÇÃO

O termo erosão pode ser definido como um processo de transporte dos materiais inconsolidados de uma área para outra, sendo o mais comum das áreas mais altas para as mais baixas. Tais superfícies mais altas e mais baixas constituem o modelado do relevo terrestre e estão ininterruptamente em trabalho de destruição pelo trabalho do intemperismo (BIGARELLA *et al.*, 2003). Os agentes erosivos exógenos, ou seja, aqueles que atuam na superfície da terra – como as chuvas, os escoamentos fluviais e o vento - não atuam de forma isolada na escultura do relevo, mas sim de forma integrada (FIELD; BRESHEARS; WHICKER, 2009). Quando o vento atua transportando material, dá-se a este fenômeno o nome de “erosão eólica”, que é sinônimo de deflação (FAIRBRIDGE, 1968).

O tema “erosão eólica” tem crescido enormemente em número de publicações desde as primeiras três publicações sobre o tema em 1646, pois saltou-se do século XVII com estas três publicações pioneiras para uma média de três publicações por dia no século XXI, segundo Stout *et al.* (2009). O autor ainda elucida que o número de publicações em determinados períodos é reflexo de fenômenos naturais que despertam o interesse da comunidade científica, como, por exemplo, a quantidade significativa de publicações nos anos seguintes às nuvens de poeira que atravessaram o deserto do Saara em 1901-1903, e também após a tempestade de areia ocorrida em 1930 nos Estados Unidos da América, denominada “Dust Bowl”. Atualmente, autores chineses têm documentado diversas ocorrências de tempestades de areia no Planalto do Tibete, e, coincidência ou não, Stout *et al.* (2009) ainda documenta que a China é, nos dias atuais, o país que mais tem publicado trabalhos a respeito do tema. Contudo, a revisão bibliográfica efetuada por estes autores somente descreve os primeiros anos do século XXI, deste modo, há uma iminente demanda pela atualização do estado da arte do tema para o tempo presente.

A ação eólica é pouco associada a ambientes que não sejam aqueles chamados ‘ambientes eólicos’ (áridos, desérticos e costeiros) e isto ocorre porque tradicionalmente as pesquisas que tratam da ação plúvio-fluvial são designadas principalmente ao mundo tropical, segregando-as daquelas que tratam da deflação (GOUDIE *et al.* 1999). Os ambientes eólicos tradicionais são aqueles em que o vento é o agente mais atuante na remobilização dos materiais,

neles destacam-se a semi ou total aridez e é pela falta de chuvas que o vento se torna o agente erosivo protagonista no processo de esculturação da paisagem (READING, 1996; BIGARELLA *et al.* 2003). Todavia, isso não significa que não haverá ação da deflação em ambientes não eólicos. O principal motivo para a diferenciar o vento da ação erosiva da água se dá na argumentação de que em áreas úmidas a alta pluviometria geraria maior fitodensidade e promoveria uma densa rede radicular, que além de contribuir com a manutenção de umidade no solo, ajudaria na estruturação dos particulados, deixando-os mais pesados. Essas condições dificultariam a ação do vento, e haveria, portanto, o aplainamento das microtopografias como resultado do escoamento superficial. Desta forma, regiões úmidas comumente são associadas à densidade vegetal, que pelas argumentações acima, dificultariam a ação da deflação.

As características ambientais do Sudeste brasileiro são favoráveis para muitos tipos de erosão. Franca, no Estado de São Paulo, por exemplo, tem como bioma predominante o Cerrado cujo tipo de vegetação não é densa (exceto em áreas marginais de cursos d'água), e possui um período seco bem definido. A região ainda tem grande parte do solo com uso atribuído à agropecuária, atividade que causa desagregação física do solo por conta do pisoteio do gado.

Pela grande quantidade de chuvas, as ações do tipo pluvial ou fluvial deverão ser o tipo de erosão que mais remobilizam materiais no sudeste brasileiro. Durante o inverno somam-se seis meses de déficit hídrico e deste modo a água tem pouca ou nula atuação no processo de remobilização de materiais. Ainda, a pouca disponibilidade hídrica leva à perda de umidade dos solos predominantes (Latosolos e Argissolos), configuração ambiental essa que levará a microagregados ressecados. Assim, por seis meses, há uma “janela” para que a deflação atue remobilizando os particulados inconsolidados destes solos (MOREIRA e VASCONCELOS, 2007). Dito isto, paradoxalmente, pelos mais diversos motivos, sejam por interesses econômicos ou por limitações técnicas na própria produção científica, as pesquisas a respeito do tema erosão eólica, principalmente nos trópicos úmidos, continuam a não conceber a ideia do vento como agente erosivo juntamente com a ação da água. Esta conjectura que leva pesquisadores a ainda estudarem a água “ou” o vento, sendo o último em ambientes que em nada se assemelham ao mundo tropical, faz com que os princípios físicos da deflação sejam duvidosamente aplicáveis ao meio tropical

úmido, ou a qualquer ambiente que não seja predominantemente eólico.

Nota-se que a realidade acima descrita é incabível ao atual nível de urbanização e intervenção humana. O Brasil é um dos países atuantes (*players*) no agronegócio, e segundo o levantamento da EMBRAPA (2019), 7,8% do território na união nacional (66.321.886 hectares) são ocupados pelos mais diversos cultivos, com áreas de pastagens nativa e plantada ocupando 22,2% do território brasileiro (180.259.485 hectares). Especificando essas relações para a área de estudo desta pesquisa, no Estado de São Paulo, nota-se que segundo o calendário agrícola sugerido pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) no sudeste brasileiro, o período de entressafra para a maioria das culturas é justamente nos meses com menores quantitativos pluviométricos, o inverno. Deste modo, a depender do manejo (convencional ou direto), os solos podem ficar desnudos no período de menor umidade do ano e expostos a maiores temperaturas, entre junho e outubro.

Alguns autores já têm especulado a possibilidade do vento atuar enquanto agente erosivo em outras regiões do Brasil, tal como Jesus & Zeilhofer (2013) e Takata (2016), porém, estes trabalhos não tem a deflação como objetivo. Bezerra (2019), por outro lado, apontou exclusivamente a possibilidade de a erosão eólica ter um efeito considerável no Estado do Mato Grosso, e, identificou condições favoráveis para o transporte de materiais pelo vento. Este autor correlacionou dados de direção e velocidade dos ventos com o tamanho das partículas dos solos da região próxima à estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados mostraram que os ventos teriam velocidades que chegam a até 3,6 m/s de nordeste. Tais velocidades, segundo Cordani e Sígolo (1997), podem transportar partículas de quartzo com até 0,25mm.

Partindo destas reflexões, testamos nossa hipótese de que a maioria dos estudos sobre a erosão eólica permanecem arraigados às ideias de seus iniciadores, estudando o tema preferencialmente em ambientes eólicos tradicionais, estes com pouca atuação da água (desertos, regiões áridas e semiáridas) ou em regiões costeiras, onde a areia e os outros materiais estão ao sabor do vento. Ainda, para exemplificar a atuação do vento associado ao uso do solo em regiões tropicais úmidas e sub úmidas, usou-se como exemplo um estudo de caso no município de Franca-SP, região onde ocorreu no ano de 2021

o fenômeno atípico de nuvens de poeira. Portanto, acerca dos tipos de erosão em área tropical, o estudo aqui apresentado efetuou uma pesquisa que abrange as perspectivas plúvio-fluvial e eólica, compreendendo melhor, no conjunto, como a paisagem nas latitudes intertropicais seriam trabalhadas pelos agentes erosivos.

## **2. OBJETIVO E HIPÓTESE**

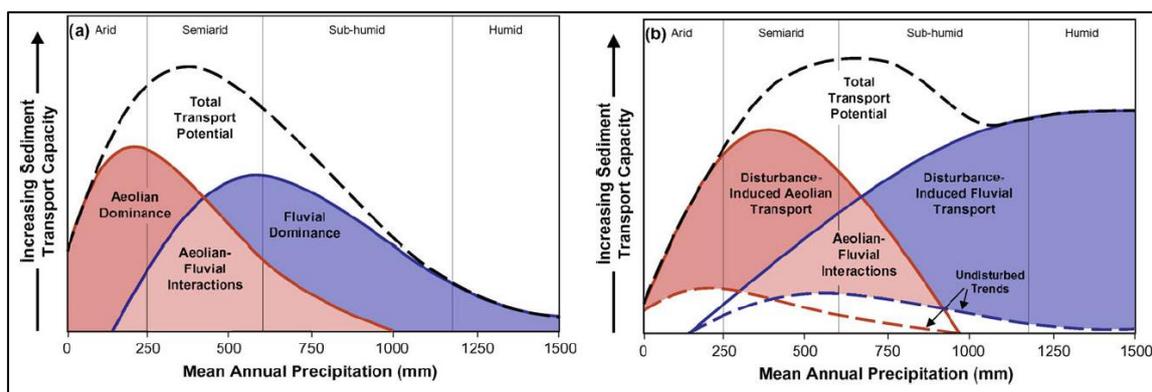
O objetivo deste trabalho foi avaliar se a tendência das pesquisas eólicas permanece arraigada as ideias de seus iniciadores por meio de um levantamento bibliométrico e bibliográfico, e, exemplificar a atuação do vento em meio sub-úmido através do fenômeno de nuvens de poeira que ocorreram em Franca-SP no dia 26 de setembro de 2021.

Hipotetizou-se que a maioria dos estudos sobre a erosão eólica permanece arraigada às ideias dos pesquisadores pioneiros, estudando o tema preferencialmente em ambientes com pouca atuação da água (desertos, regiões áridas e semiáridas) ou em regiões costeiras onde a areia e os outros materiais estão ao sabor do vento. Acredita-se que a atuação da erosão eólica em regiões tropicais úmidas e sub úmidas é importante.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A premissa deste trabalho partiu de Field, Breshears e Whicker (2009) que publicaram no principal periódico acerca de pesquisas eólicas (*Aeolian Research Journal*) um artigo apontando que a erosão de solos não é um evento exclusivo do vento ou da água, mas que se trata de uma ação conjunta e interativa. Estes autores acusam que as pesquisas sobre erosão ocorrem separadamente, estudando ou a erosão fluvi-pluvial, ou, a erosão eólica, impossibilitando, portanto, o reconhecimento efetivo dos sistemas erosivos. Estes autores assumem um pressuposto que, em ambientes não perturbados, o transporte total de sedimentos é o resultado da adição do total transportado por via eólica ao total transportado pela água. A partir deste princípio, os autores sugerem que regiões de clima semiárido deveriam ter maior participação de ambos os tipos de erosão que regiões de climas mais úmidos ou áridos, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Gráfico hipotético de tendências de transporte de sedimentos por tipos de clima.



Fonte: Field, Breshears e Whicker (2009).

Conforme demonstrado na Figura 1(a), é evidente a interpretação dos autores de que ao considerar ambientes com pouca ou sem perturbação antrópica, a maior participação da erosão eólica estaria entre aqueles ambientes considerados áridos com média de precipitação anual entre 0 e 250 mm. A maior interação entre erosão eólica e fluvial dar-se-ia nas regiões com 250 a aproximadamente 600 mm, enquanto que regiões com médias pluviométrias anuais maiores que 600 mm teriam dominância fluvial. Contudo, os ambientes afetados por perturbações antrópicas (figura 1b) teriam a quantidade de sedimentos transportados pela água maximizada e isso se daria pelo motivo de que perturbações tendem a diminuir a fitodensidade, o que produz maior impacto na erosão fluvial do que na erosão eólica. É importante destacar que esta interpretação parte da aceção de importantes trabalhos anteriores, como: Schumm (1965), Marshall (1973) e Kirkby (1978).

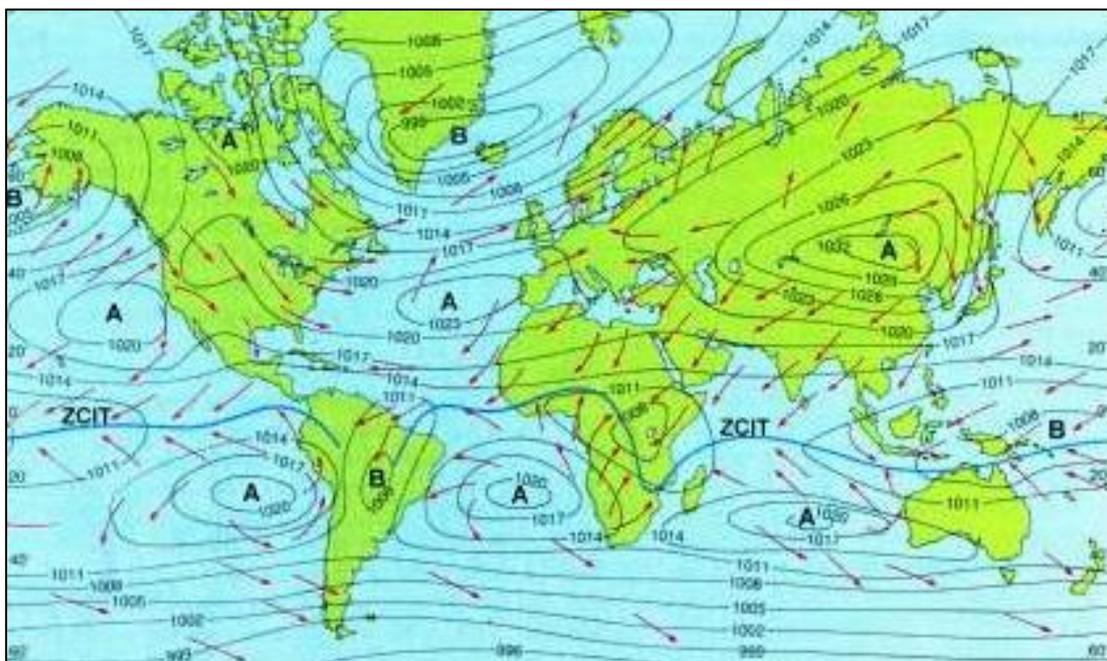
Outras pesquisas têm esclarecido que durante o processo de erosão, a água e o vento têm seus papéis atuando de forma conjunta, tais como Visser *et al.* (2004), Chappell *et al.* (2005), Sun (2002), Muhs *et al.* (2008) e Liang *et al.* (2020).

### 3.1 A origem do vento

As principais variáveis que regem a capacidade erosiva do vento são:

velocidade, densidade do ar e dos materiais. Para remobilizar partículas, a movimentação das massas de ar origina-se em um padrão global que é reproduzido em todas as escalas, da global (macro) a local (micro). Tal padrão corresponde a diferença de pressão atmosférica na Troposfera, fazendo com que as massas de ar se movam das áreas de alta pressão para as áreas de baixa pressão. A velocidade do vento corresponderá à diferença de pressão entre essas massas, de modo que quão maior a diferença entre as pressões<sup>1</sup>, maior será a velocidade do vento (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007; NICHOLS, 2015; FRANCISCO & OLIVEIRA, 2017). Em âmbito global, mapear os núcleos de alta e baixa pressão seria suficiente para explicar a direção predominante dos ventos, como demonstrado na Figura 2. Todavia, ao aumentar a escala de detalhe em direção à baixa Troposfera, outras variáveis são necessárias para compreender a orientação e velocidade dos ventos, como por exemplo, a camada turbulenta, *fetch*, rugosidade da superfície e umidade. Essas outras variáveis serão discutidas mais a frente.

Figura 2 - Circulação atmosférica idealizada em escala global compatível com as áreas de alta pressão (A) e baixa pressão (B)

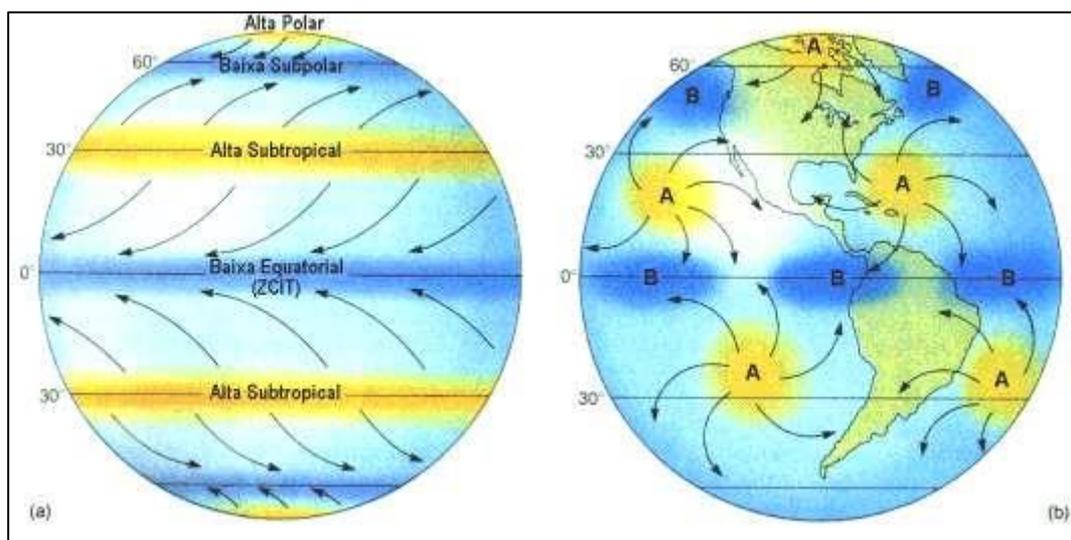


Fonte: Departamento de física da Universidade Federal do Paraná (2021).

<sup>1</sup> Que culminará na diferença de temperatura.

A localização destas zonas de alta e baixa pressão na superfície do planeta não é de simples explicação, pois correspondem não somente à inclinação da terra em relação ao sol, mas também, à interação entre a superfície da terra e a atmosfera, relação de alto grau de complexidade. Um exemplo da interação entre a superfície da terra com a atmosfera é a maior quantidade de núcleos de alta e baixa pressão no Hemisfério Norte, ocasionado pela maior quantidade de terras, enquanto que no Hemisfério Sul, a menor quantidade de terras não submersas e maior quantidade de águas oceânicas gera fluxos menos turbulentos e mais homogêneos. Acaso a superfície da terra não fosse dotada de rugosidade e diferentes tipos de paisagens (vegetada, não vegetada, núcleos urbanos e morfologias diferentes) a circulação atmosférica seria menos complexa como o modelo apresentado abaixo na Figura 3.

Figura 3 - Circulação geral da atmosfera de 30 em 30°



Fonte: UFPR (2021).

Na Figura 3 pode-se notar uma expressão significativa entre as interações entre temperatura e pressão no sistema atmosférico denominado Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é um dos maiores sistemas atmosféricos do planeta Terra. Este sistema promove uma densa formação de nuvens próximas à linha do Equador, zona esta que ocorre pela junção entre umidade e calor, formando uma zona de baixa pressão, onde o ar tem fluxo

ascendente favorecendo a formação de nuvens. A depender da estação do ano, a inclinação da Terra em relação ao Sol terá significativa alteração, fazendo com que a região com maior incidência direta de luz solar se desloque para norte ou para sul, de tal forma que a ZCIT se moverá de acordo com essa dinâmica (TAYLOR e VARDAVAS, 2007; STEINKE, 2012).

### 3.2 O vento enquanto um fluido

O estudo da dinâmica dos ventos tem sua raiz na física, mais especificamente na mecânica de fluidos (ou dos fluidos), pois sabe-se que o ar é um fluido e que se comporta como um. O estudo dos fluidos é complexo, inclusive creditado como um paradigma da física clássica, já que fenômenos complexos como a turbulência ainda não são passíveis de uma modelagem perfeita e previsões universais.

Assumindo que o ar atmosférico se comporta como um fluido, a dinâmica e mecânica de fluidos é o ramo da ciência (física) que melhor explica e modela o comportamento do ar em superfície. Pela óptica da dinâmica de fluidos, alguns princípios regem a ciência aplicada: o número de Reynolds (Re) - que também é utilizado em geomorfologia fluvial - permite dizer a extensão em que um fluido é laminar ou turbulento, características essas que também são encontradas no comportamento do vento. A equação de viscosidade de Newton<sup>2</sup> permite a compreensão de propriedades fluidais como a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ), o gradiente de velocidade ( $\mu$ ) e a viscosidade dinâmica ou absoluta ( $\frac{dV}{dY}$ ). Fluidos que em teoria teriam seus gradientes de velocidade diretamente proporcionais ao grau de cisalhamento são chamados de “fluidos newtonianos”, porém, empiricamente não se encontra um fluido que seja de fato newtoniano, pois, designa-se um fluido como newtoniano com a finalidade de melhor operacionalizar cálculos e equações para modelagens computacionais (ALLEN, 1985; FOX *et al.*, 2004; NICHOLS, 2015).

### 3.3 Os grãos em movimento: a deflação

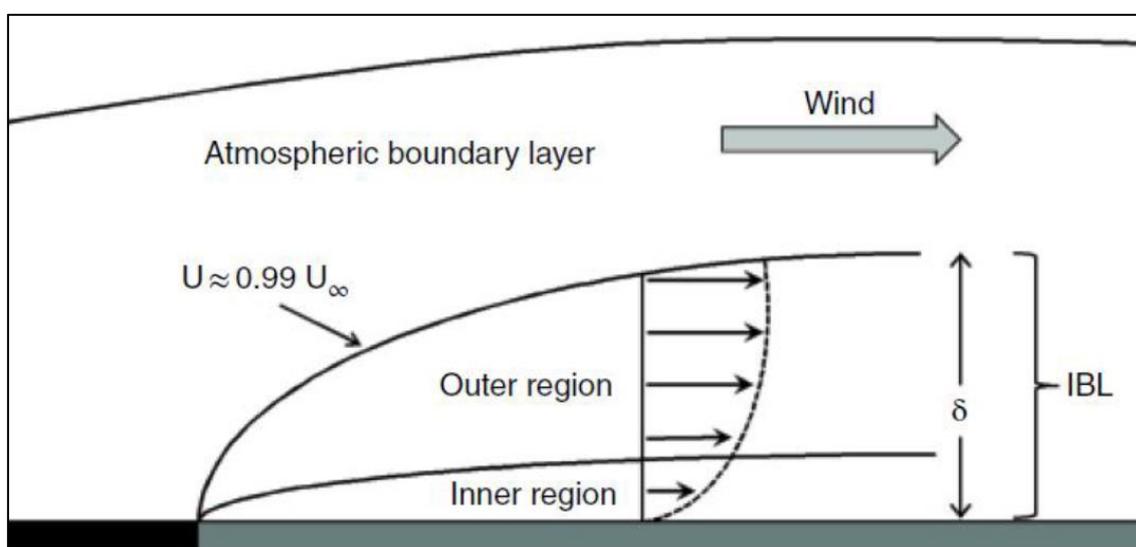
Como já discutido, a movimentação das massas de ar origina os ventos,

---

<sup>2</sup>  $\tau = \alpha \frac{dV}{dY}$

todavia, a movimentação dos grãos é algo que necessita de maior explanação. Os grãos se movem em uma camada atmosférica que fica em contato com o solo, onde, por conta das variações de rugosidade, temperatura e pressão geram a chamada “camada turbulenta”, conforme demonstrado na Figura 4. Essa camada turbulenta tem fluxo aleatório (lateral, ascendente e descendente) e quando entra em contato com grãos, suscita a possibilidade de o grão deixar o momento de repouso e entrar em movimento (LIVINGSTONE, I & WARREN, A. 2019).

Figura 4 - A estrutura da camada limite turbulenta



Fonte: Livingstone & Warren (2019).

Na Figura 4 pode-se observar a estrutura da camada limite turbulenta: uma camada limite interna (IBL), com altura  $\delta$ , e que cresce dentro da camada limite atmosférica a favor do vento, comportamento este que também é denominado como “*fetch*” na literatura específica. A IBL mostra o perfil logarítmico da velocidade do vento. Dentro da camada limite ainda se pode observar uma subdivisão, a região interna ou inferior que normalmente ocupa 10% de toda camada turbulenta e a externa. Os 10% inferiores da IBL são também conhecidos como camada de tensão constante e que tem diferentes formas de se a calcular.

Mesmo tendo sua modelagem improvável, quando se trata da remobilização dos materiais, a erosão eólica é comumente dividida em três fases

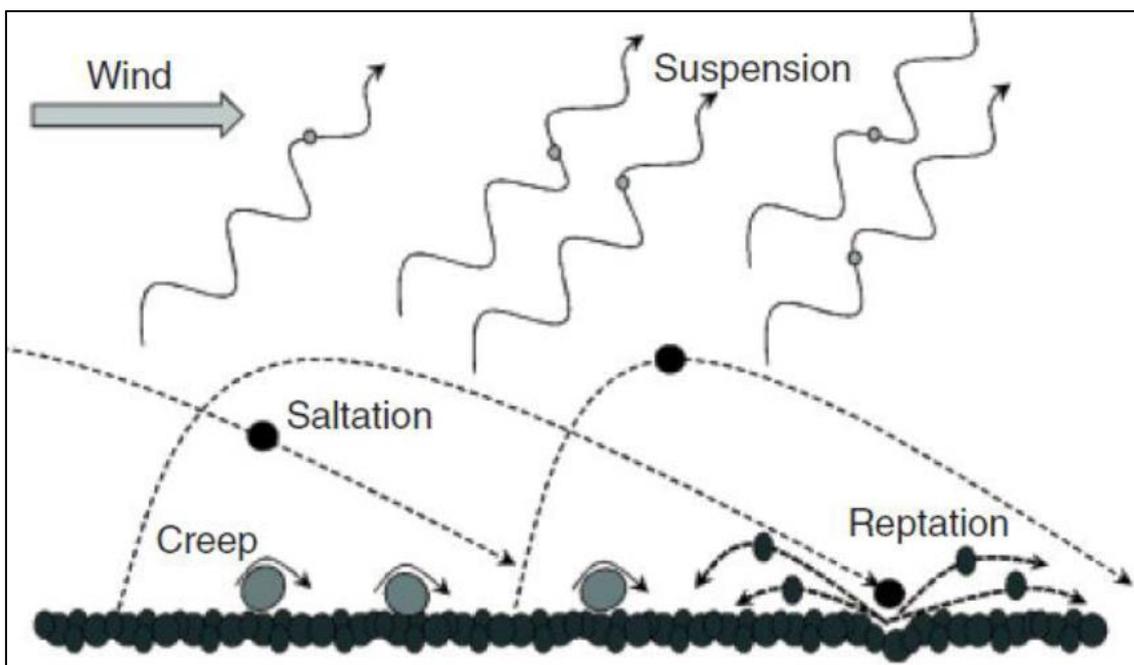
ou momentos: intemperismo (desagregação), transporte e deposição (GUERRA,1993). A fase da desagregação não é necessariamente realizada pelo vento, pois pode ter origem térmica ou química, a depender do ambiente e é nela que o material se torna inconsolidado e disponível para transporte. Mesmo que o intemperismo não seja efetuado diretamente pelo vento, há uma correlação com o fenômeno da deflação, pois é a partir do *detachment* que o ambiente propicia material para que o vento o possa transportar.

É na segunda fase, durante o transporte, que se dá o nome de deflação. Esta ocorre a partir da disponibilidade de materiais gerados na primeira fase e em correlação direta com a velocidade dos ventos no ambiente. A terceira fase ocorre quando a velocidade dos ventos não tem mais capacidade para transportar os sedimentos, fazendo assim, com que os materiais se depositem em uma área específica, retornando ou não ao estado de repouso, formando paisagens singulares e específicas.

Alguns mecanismos do processo de erosão eólica já foram qualificados na literatura e foi após o pioneiro trabalho de Bagnold, em 1941, que os estudos quantitativos ganharam maior estrutura e robustez. O autor introduziu os termos “suspensão”, “arraste” e “salpicamento”. Estes termos referem-se ao comportamento físico dos materiais particulados durante o processo de deflação, regidos pela combinação entre peso específico e densidade das partículas com a velocidade dos ventos, partindo do pressuposto que os particulados a serem trabalhados estariam disponíveis. Desse modo, a suspensão envolveria o transporte das porções mais finas (silte e argila) dos particulados inconsolidados, de forma que o salpicamento afetaria partículas de tamanho médio, predominantemente a areia fina. Enquanto isso, o arraste trabalharia partículas mais grossas (AGUIAR, 2013).

É importante reconhecer o trabalho efetuado por Bagnold, todavia, é conveniente lembrar também que em seu tempo, o autor não poderia reconhecer materiais de nível microscópico em campo por limitações técnicas. Atualmente, não somente os três tipos de movimentação de particulados são reconhecidos: arraste, saltação ou salpicamento e suspensão. Mas também um “novo” movimento entre os grãos já é detectado por novas técnicas de laboratório: o *reptation* (Figura 5).

Figura 5 - Tipos de movimentção dos grãos durante a deflação



Fonte: Livingstone & Warren (2019).

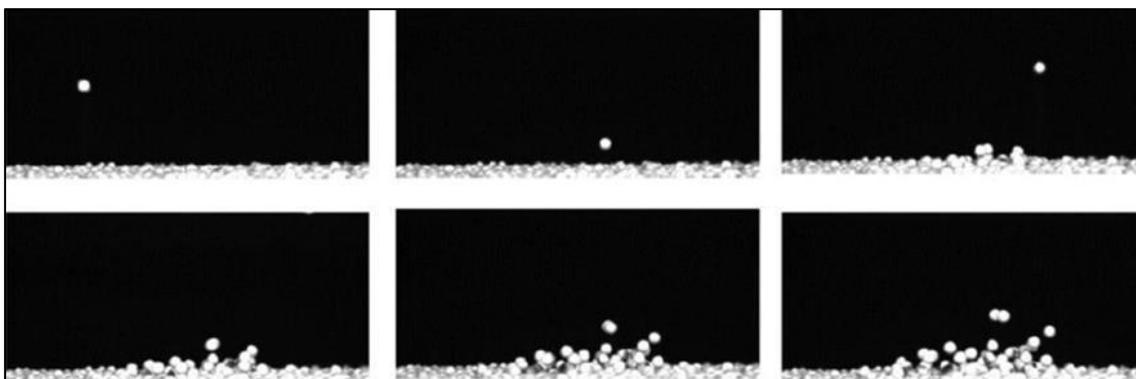
A saltação tem sua trajetória denominada por muitos autores como “balística” e é a principal responsável por fazer com que os outros movimentos se iniciem. Pela geometria do movimento, a trajetória do grão em saltação pode ser descrita também como uma “parábola”, como se pode ver na Figura 5. Este movimento específico faz também com que os grãos se enterrem, justamente pela energia retida no movimento do grão. É seguro dizer que o salpicamento é o principal movimento e o mais bem descrito na pesquisa eólica.

O arraste por sua vez, muitas vezes descrito como “*creep*”, é o movimento de deslizamento do grão sobre a superfície, de modo em que o contato entre o grão e a superfície é quase contínuo. Esse tipo de movimento seleciona grãos mais grossos que não podem ser inteiramente suspensos pelo seu peso. É entendido atualmente que a maioria dos grãos que se movem via arraste tiveram seu movimento iniciado através do impacto de grãos em saltação. Ainda não é bem entendido qual a porcentagem dos grãos transportados por *creep*. Bagnold (1941) sugeriu que 25% dos grãos de areia eram transportados por este movimento, enquanto que Nickling e McKenna Neuman (2009) citados por Livingstone & Warren (2019) sugeriram somente 5%.

O movimento de suspensão é o principal responsável por transportar os coloides e materiais minerais finos - normalmente a areia fina é o maior particulado transportado em suspensão. Estes materiais ficam suspensos por conta do movimento turbulento ascendente e enquanto as forças turbulentas ascendentes excederem a força gravitacional de queda destes grãos (força normal). Para que este movimento se inicie, principalmente nas partículas que contém carga, estas precisam ser “liberadas” de sua força “Inter Partículas” (coesão), o que muitas vezes ocorre pelo impacto de grãos em saltação.

O último movimento, o “*reptation*”, somente foi reconhecido após o advento das fotografias de alta velocidade (como na Figura 6) e compreensão das forças de ondulações. Trata-se de uma espécie de salpicamento e perturbação dos grãos e curta distância, na ordem de fração de milímetros. É uma abordagem tão diminuta que é melhor representada por distribuições de probabilidade ou funções matemáticas (*splash function*).

Figura 6 - Fotografia de alta velocidade para detecção de reptation



Fonte: Livingstone & Warren (2019).

Segundo Fairbridge (1968), dois fenômenos podem ser característicos da ação eólica: (1) a deflação, que é em si a remobilização de partículas - remoção das partículas inconsolidadas, e (2) a abrasão, que se trata do polimento e limpeza de superfícies das rochas através do transporte dos grãos pelos impactos de diferentes partículas em movimento, devendo lembrar que o efeito da abrasão é a originação de uma específica morfologia nos grãos que sofreram o processo de deflação. Ainda pode ser citado o termo corrasão como fenômeno

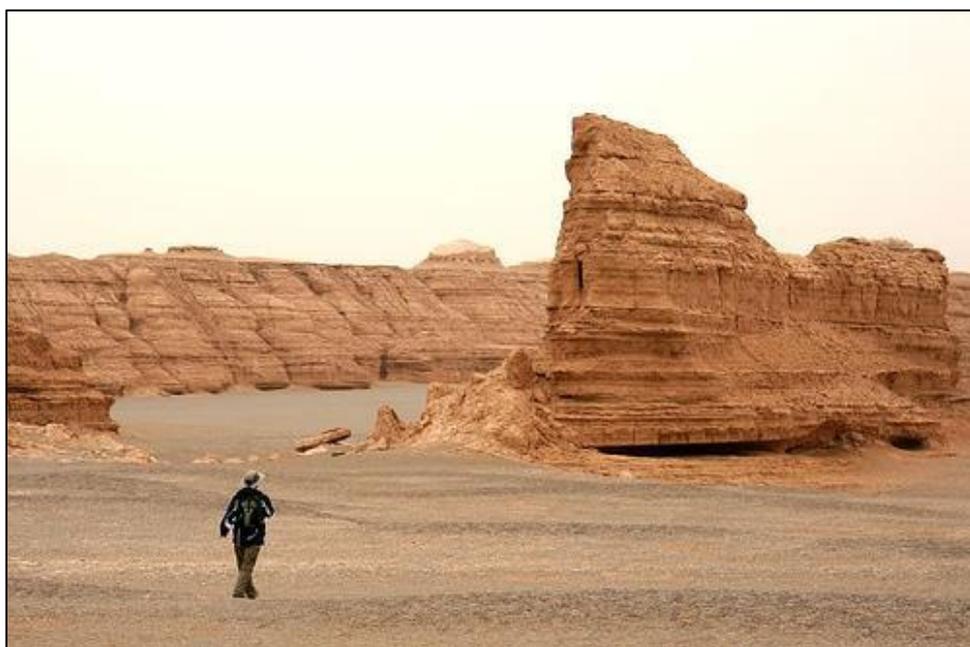
proporcionado pelo vento, todavia, o termo traz consigo certa imprecisão, pois pode ser atribuído a outros outros agentes erosivos (a água por exemplo), como indicado por Thornbury (1945).

### 3.4 Formas e paisagens características da deflação

Nos ambientes eólicos, as paisagens tomam formas típicas decorrentes da alta seletividade natural da deflação. Tal seletividade ocorre pelo fato de que os materiais transportados pelos ventos serão somente aqueles em que a velocidade dos ventos foi capaz de transportar, de forma que a densidade e peso dos grãos depositados em um ambiente irão denunciar as velocidades dos ventos que os transportaram (GARDEN, 2019).

Entres as paisagens oriundas da deflação, pode-se categorizar duas: as que denunciam a retirada de sedimentos (área fonte, área de denudação ou até mesmo área deflacionária), e as áreas de deposição (agradação). Nas áreas fonte é comum encontrar formas com marcas abrasivas que denunciam a ação do vento, como os “*inselbergs*” e “*yardangs*” como o exemplo da Figura 7 abaixo (GUERRA, 1993 e SUGUIO, 2003).

Figura 7 - Exemplo de um Yardang



Fonte: Socratic (2013)<sup>3</sup>.

Para as áreas fonte ainda se pode citar as áreas relativamente mais altas (planaltos) fornecedoras de sedimentos para as áreas mais baixas. Isso ocorre principalmente quando se trata de áreas de contato entre duas estruturas litológicas diferentes. Um exemplo deste tipo de formação fica no Parque Estadual do Jalapão (Tocantins). No Parque do Jalapão, têm-se a formação de dunas, com origem de processos eólicos que denunciam o acúmulo de materiais deflacionados. Os sedimentos são retirados da Serra do Espírito Santo e depositados em área mais baixa a oeste da Serra (CRISTO *et al.*, 2013).

As dunas, como formas deposicionais, podem ser subdivididas em parabólicas, transversas, campos de dunas e mesmo paleodunas. Todos esses tipos são encontrados nos litorais brasileiros e mesmo intracontinentalmente (SUERTEGARAY *et al.*, 1995; SUERTEGARAY *et al.*, 2012; GIANNINI, 2007; AGUIAR, 2013; ARAUJO, 2015). As dunas não são somente formas quaternárias, pois podem ser produtos de deposições pretéritas como por exemplo as dunas fossilizadas, indicadas pelas estruturas sedimentares em estratificações cruzadas que são documentadas em estudos estratigráficos e sedimentológicos. Na estratigrafia, a estratificação cruzada é a principal estrutura denunciadora da ação do vento como agente escultor dominante em determinada época ou períodos geológicos passados.

Também, tem-se nos “Loess” um depósito sedimentar eólico considerado importante arquivo para compreensão de mudanças climáticas quaternárias. Tais depósitos são muito úteis para recuperar mudanças climáticas quaternárias, pois os mesmos são compostos por sedimentos depositados diretamente da atmosfera (MUHS, 2007). Os Loess são definidos como sedimentos que foram retirados, transportados e depositados pelo vento e são predominantemente compostos por partículas de silte (entre 60 e 90%). Alguns autores consideram como Loess depósitos eólicos não somente com consideráveis quantidades de partículas na fração silte, mas também com fraca agregação (característica destes depósitos), processo este denominado “*loessification*” (PYE, 1995). Todavia, a maioria dos autores europeus considera como Loess todo tipo de

---

<sup>3</sup> Disponível em < <https://socratic.org/questions/what-is-a-yardang-and-how-are-they-produced>>. Acessado em 23/08/2023.

depósito eólico com predominância de silte, sem necessariamente considerar a cimentação ou outra característica estrutural. Por sua extensão no globo - cerca de 10% de todo o planeta Terra - e por sua mineralogia, tais depósitos são muito importantes também na agricultura (PYE, 1987).

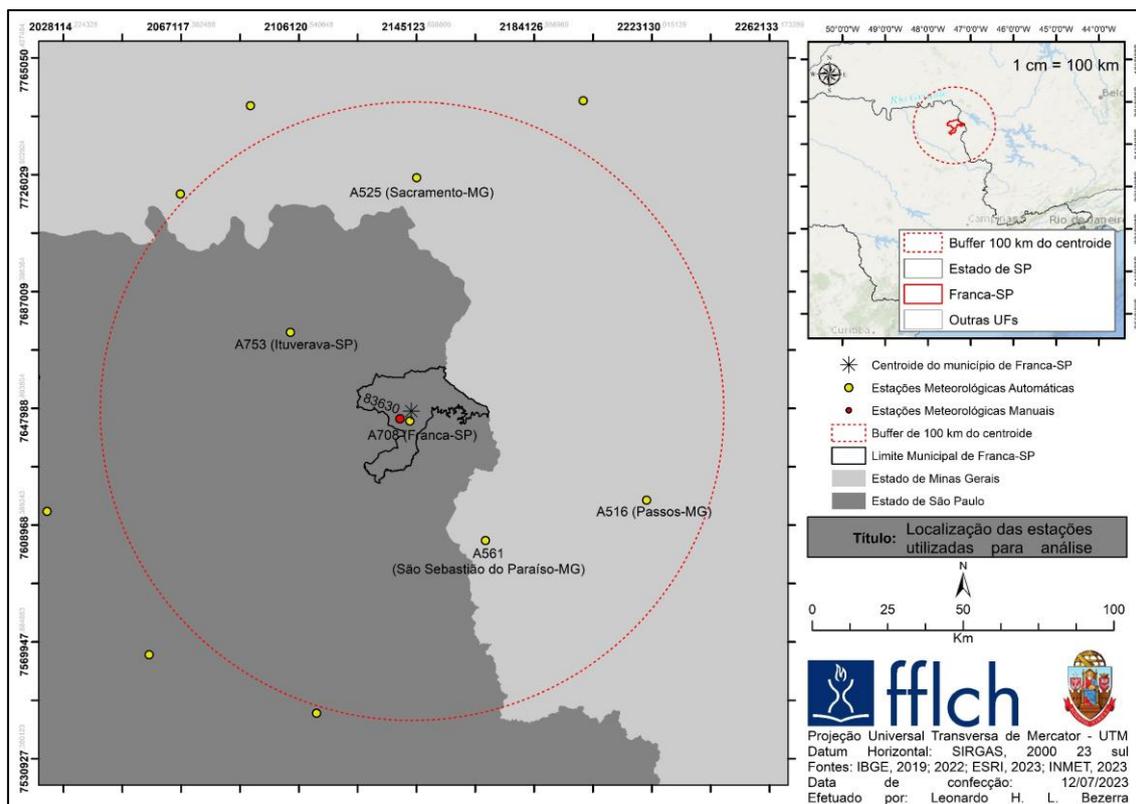
Ao se tratar diretamente de sedimentologia, assume-se que as leis da física são imutáveis, portanto, ocorrem em ambientes atuais e pretéritos. Através dos sistemas de deposição, pode-se interpretar paleoambientes inferindo informações reconhecidas no tempo presente, tal como ocorre também no sentido inverso de análise (SUGUIO, 2003; NICHOLS, 2015). É a partir deste princípio que a ciência sedimentológica embasa sua forma de análise, que tem papel importante no processo da compreensão de depósitos eólicos, principalmente quando se trata da identificação de processos holocênicos.

#### **4. METODOLOGIA**

Para análise do fenômeno, em ordem meteorológica, foram utilizados dados fornecidos pelas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Foram aplicadas as seguintes técnicas de geoprocessamento para a seleção das estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas: após a espacialização das estações, calculou-se um ponto no centro geométrico (centróide) do município de Franca - SP (localizado nas seguintes coordenadas, X: -47,3811122674; Y - -20,5552236436), e a partir deste ponto foi gerado um polígono com buffer de 100 quilômetros. A distância de 100 km foi escolhida por abranger satisfatoriamente a escala de análise desta pesquisa (1:150.000), bem como, abranger os compartimentos geomorfológicos presentes na área em estudo: os Planaltos em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto e os Planaltos Residuais de Batatais-Franca. Com o círculo perfeito (buffer) que tem área de 314.02,20 Km<sup>2</sup>, foram selecionadas para análise as estações meteorológicas automáticas que o intersectaram. Este mapeamento pode ser averiguado na Figura 8.

Figura 8 - Estações meteorológicas utilizadas para produção dos resultados



Fonte: INMET (2023). Elaborado pelo autor.

Com o referido método, foram selecionadas, portanto, as 5 EMAs que intersectaram o buffer, estas que se situam nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Como é possível averiguar no Quadro 1, entre as estações selecionadas, todas são automáticas e encontram-se operantes. Todavia, as estações meteorológicas automáticas iniciaram seu funcionamento no ano 2000, portanto, para caracterização de uma mínima climática (30 anos), somente a estação meteorológica convencional de Franca-SP (83630) funciona num período suficiente.

Quadro 1 - Estações meteorológica selecionadas para análise

| Estações Automáticas (INMET) |        |          |              |                                 |                   |
|------------------------------|--------|----------|--------------|---------------------------------|-------------------|
| Nome                         | Estado | Situação | Altitude (m) | Data de início de funcionamento | Código da Estação |
| São Sebastião do Paraíso     | MG     | Operante | 845,00       | 16/08/2015                      | A561              |
| Passos                       | MG     | Operante | 781,70       | 15/07/2006                      | A516              |
| Franca                       | SP     | Operante | 1002,74      | 11/12/2002                      | A708              |
| Ituverava                    | SP     | Operante | 610,58       | 16/07/2008                      | A753              |
| Sacramento                   | MG     | Operante | 913,12       | 18/08/2006                      | A525              |

Fonte: INMET.

A única variável analisada oriunda de uma Estação Meteorológica Manual (EMM), foi a “direção predominante do mês mensal”, pois esta variável não é fornecida pelas estações meteorológicas automáticas. Ainda, nota-se na Figura 8 que somente a EMM de Franca (83630) foi intersectada pelo buffer de 100 km do centróide do município o que inviabilizou uma possível interpolação, e, por este motivo esta variável é descrita com base no quadro demonstrado na seção de resultados.

Na análise do fenômeno, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento que permitiram a espacialização das seguintes variáveis climáticas: umidade relativa do ar (%), temperatura (°C), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s), rajada máxima (m/s), pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (mB) e direção predominante do vento (graus angulares). Estas variáveis foram espacializadas através da interpolação dos valores de cada estação utilizando ora o método de Krigagem, ora o Inverso da Distância da Potência (IDW)<sup>4</sup>.

A produção dos resultados para análise se deu em duas escalas temporais:

- Escala mensal: as médias mensais dos dados por um período de 30 anos (mínima climática) da estação de Franca - SP que serviu de base para comparação e não foram interpolados.
- Escala horária: averiguou-se os dados horários entre duas horas

<sup>4</sup> *Inverse distance weighting.*

anteriores e duas horas posteriores ao evento, o evento ocorreu por volta as 17:00 da tarde (conforme as informações coletadas por moradores locais segundo veículos de comunicação), ou seja, entre as 15:00 e as 19:00 horas. Os dados desta escala também foram interpolados.

A averiguação nestas duas escalas permitiu efetuar análise comparativa entre ambas, bem como, assegura a compreensão de que se se trata ou não de um evento ocorrido em ano de flutuação climática. Os dados em maior escala de detalhe foram comparados com os dados de menor escala, deste modo os dados horários sempre foram analisados em comparação com as tendências observadas nas escalas mensais. Os dados horários foram analisados em comparação com os dados da normal climatológica.

#### **4.1 Produção cartográfica e sobreposições dos dados horários**

Durante a produção cartográfica dos dados horários, optou-se por realizar a sobreposição entre variáveis que, por sua natureza são relacionadas (ex: temperatura e pressão). Estas sobreposições além de contribuir para uma análise mais prática, permitiu também averiguar correlações entre as variáveis sobrepostas, cooperando com o processo indutivo da análise.

É relevante indicar que algumas falhas de dados foram encontradas durante a construção das interpolações. Contudo, nenhuma falha foi preenchida por qualquer resultado estatístico (ex: moda, mediana ou média), pois estas falhas foram desconsideradas. Nesse sentido, na produção dos dados diários, a estação de São Sebastião (A561) foi desconsiderada pela ausência de dados. Isto posto, são descritas abaixo quais as sobreposições efetuadas e suas particularidades técnicas.

- Temperatura: para esta interpolação, a estação A561 foi desconsiderada pela ausência de dados. A estação A525 não forneceu dados para as 15 e 16 horas. Para interpolação dos dados desta variável foi utilizado o método de Krigagem.
- Pressão atmosférica: pela ausência de dados, na construção da

interpolação desta variável não se utilizou os dados da estação A561 em nenhum dos horários, e não os dados da estação A525 não foram utilizados para os horários de 15 e 16 horas. O método utilizado para a interpolação desta variável foi o de IDW.

- Umidade: pela ausência de dados, na construção da interpolação desta variável os dados da estação A561 não foram utilizados em nenhum dos horários, e, os dados da estação A525 não foram utilizados para os horários de 15, 16 e 17 horas. O método utilizado para a interpolação desta variável foi o de IDW.
- Precipitação: para a interpolação dos dados desta variável somente foram considerados os dois horários em que alguma das estações apresentou um valor acima de zero. Todos os dados da estação A651 e os dados de 15 e 16 horas da estação A525 não foram considerados pois não houveram registro (falhas). Também foram desconsiderados os dados da estação A753 pela ausência de dados em todos os horários. Dito isto, somente foram efetuadas interpolações para os dados de 17 e 18 horas. O método de interpolação para esta variável foi o de Krigagem.
- Velocidade do vento: por se tratarem de falhas a estação A651 foi desconsiderada pela inexistência de dados e a estação A525 foi desconsiderada para os horários de 15 e 16 horas. O método de interpolação para esta variável foi o de Krigagem.
- Direção do vento: esta variável contém uma particularidade em relação aos demais, pois, o INMET fornece os dados que demonstram a direção de onde o vento vem, portanto, para uma fiel representação cartográfica, foi necessário efetuar uma conversão angular para demonstrar a direção resultante do vento, ou seja, o ângulo oposto. Também por se tratarem de falhas, foram desconsiderados todos os dados da estação A651 e a estação A525 foi desconsiderada para os horários de 15 e 16 horas. Para interpolação foi utilizado o método de IDW.

- Rajada máxima: a interpolação dos dados desta variável foi efetuada por meio do método de Krigagem. Pela ausência de dados (falhas) foram desconsiderados os dados da estação de São Sebastião do Paraíso (A651) em todos os horários e de Sacramento (A525) para as 15 e 16 horas.

Ressalta-se que as EMAs não fornecem os dados de temperatura média horária, mas sim, os dados de temperatura máxima e mínima. Por este motivo, para abranger ambas as medidas, calculou-se a mediana entre as temperaturas máximas e mínimas através da Equação 1.

Equação 1:

$$\frac{(A - B)}{2} + B$$

Onde “A” é a temperatura máxima e “B” é a temperatura mínima. Deste modo, os dados apresentados como “Temperatura Horária” são produtos desta equação.

Por fim, ressalta-se que pelo motivo de que as EMAs brasileiras tem serventia internacional e contribuem para diferentes estratégias internacionais (Planos de voos, relatórios climáticos globais do IPCC, previsão de desastres naturais e etc), os dados fornecidos por elas em escala horária se dão em UTC-0 (“*Coordinated Universal Time*”), horário também denominado como “tempo certo” por se dar no meridiano de Greenwich. Este horário (UTC-0) fica três horas a frente do horário de Brasília (UTC-3), portanto, foi necessário efetuar a conversão os horários fornecidos pelas EMAs para análise correta das condições meteorológicas no horário do evento aqui estudado.

#### **4.2 Do sensoriamento remoto**

A seguir, são descritas as técnicas de geoprocessamento utilizadas para análise, sendo estas voltadas ao Sensoriamento Remoto, particularidades dos satélites e sensores utilizados, bem como, as especificades das interpolações efetuadas.

#### 4.2.2 Satélite utilizado

Para efetuar o mapeamento do índice de vegetação de diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) e do Índice de Água de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index* – NDWI), foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 (*Land Remote Sensing Satellite*). Esta constelação de satélites é a oitava da missão iniciada pela Agência Espacial Americana<sup>5</sup> na década de 60. Esta missão tem como objetivo observar e monitorar os recursos naturais do planeta terra e foi denominada *“Earth Resources Technology Satellite”* (ERTS) até 1975, quando passou a se chamar “Landsat. Até os dias atuais foram lançados oito satélites e nesta pesquisa foi utilizado o mais recente, pela qualidade satisfatória das imagens e livre acesso (sem custos).

O Landsat 8 foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 e opera com dois instrumentos: OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI contém bandas espectrais que captam faixas de ondas eletromagnéticas do espectro visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Este sensor contém também uma banda pancromática que permite aumentar a resolução espacial das composições, visto que as bandas multiespectrais têm resolução de 30 metros e a pancromática tem resolução de 15 metros. O Quadro 2 abaixo demonstra as bandas espectrais, resolução espacial e espectral do sensor OLI.

---

Quadro 2 - Bandas espectrais e especificidades do sensor OLI.

| Sensor                        | Bandas Espectrais          | Resolução Espectral         | Resolução Espacial |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| OLI (Operational Land Imager) | (B1) COSTAL                | 0.433 - 0.453 $\mu\text{m}$ | 30 m               |
|                               | (B2) AZUL                  | 0.450 - 0.515 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B3) VERDE                 | 0.525 - 0.600 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B4) VERMELHO              | 0.630 - 0.680 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.845 - 0.885 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B6) INFRAVERMELHO MÉDIO   | 1.560 - 1.660 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO   | 2.100 - 2.300 $\mu\text{m}$ |                    |
|                               | (B8) PANCROMÁTICO          | 0.500 - 0.680 $\mu\text{m}$ | 15 m               |
|                               | (B9) Cirrus                | 1.360 - 1.390 $\mu\text{m}$ | 30 m               |

Fonte: EMBRAPA, 2023.

Conforme descrito no Quadro acima, o sensor OLI contém nove bandas, sendo estas: B1 Costal (0.433 – 0.453 $\mu\text{m}$ ); B2 Azul (0.450 – 0.515  $\mu\text{m}$ ); B3 Verde (0.525 – 0.600  $\mu\text{m}$ ); B4 Vermelho (0.630 – 0.680  $\mu\text{m}$ ); B5 Infravermelho Próximo (0.845 – 0.885  $\mu\text{m}$ ); B6 Infravermelho Médio (1.160 – 1.660  $\mu\text{m}$ ); B7 Infravermelho Médio (2.100 – 2.300  $\mu\text{m}$ ); B8 Pancromático (500 – 6.800  $\mu\text{m}$ ); B9 Cirrus (1.360 – 1.390  $\mu\text{m}$ ). Por fim, o sensor OLI tem resolução espacial de 15 metros na banda 8 (pancromática) e todas as outras tem menor resolução (30 metros). O sensor OLI tem área imageada de 185 km.

Por outro lado, o sensor TIRS contém duas bandas que se subdividem na faixa espectral eletromagnética do Infravermelho Termal (10.30 a 12.50  $\mu\text{m}$ ), como demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Bandas espectrais e especificidades do sensor TIRS.

| Sensor                                  | Bandas Espectrais | Resolução Espectral            | Resolução Espacial |
|---|-------------------|--------------------------------|--------------------|
| TIRS<br>(Thermal<br>Infrared<br>Sensor) | (B10) LWIR - 1    | 10.30 - 11.30<br>$\mu\text{m}$ | 100 m              |
|   | (B11) LWIR - 2    | 11.50 - 12.50<br>$\mu\text{m}$ |                    |

Fonte: EMBRAPA, 2023.

Conforme demonstrado no Quadro 3, o sensor TIRS possui duas bandas: B10 LWIR – 1 (10.30 – 11.30  $\mu\text{m}$ ) e B11 LWIR – 2 (11.50 – 12.50  $\mu\text{m}$ ). A resolução espacial deste sensor é relativamente pequena (100 metros) e a mesma área imageada que o sensor OLI (185 km).

Certamente seria ideal a utilização de uma cena imageada na data do evento de nuvens de poeira, contudo, a resolução temporal do satélite é de 16 dias e, portanto, Landsat 8 leva o intervalo de 16 dias para imagear novamente um mesmo ponto. Dito isso, foram utilizadas cenas mais próximas (antes e depois) da data do evento das nuvens de poeira que ocorreu em 26/09/2021. A cena anterior à data do evento é de 14/04/2021 e foi efetuada as 13:10:01 horas, sendo 13 dias antes do evento estudado. A segunda cena foi imageada em 30/09/2021 as 13:10:05 horas, 4 dias após o evento. Ambas as cenas tem a mesma órbita e ponto (220 e 074, respectivamente).

#### 4.2.3 Interpolações

Interpolação é uma técnica matemática para aproximar valores de conjuntos discretos. Deste modo, com as interpolações é possível construir um conjunto de dados partindo de um conjunto pontual de dados discretos já conhecidos. Disto isto, e aplicando no cenário deste estudo, as técnicas de interpolações permitem que, partindo de um conjunto de dados previamente reconhecidos (variáveis climáticas das estações meteorológicas utilizadas), seja possível extrapolar para a área mapeada novos valores estatisticamente compatíveis. Contudo, nesta pesquisa, conforme mencionado anteriormente, foram utilizados dois métodos para a interpolação dos dados climáticos: a “krigagem” e “*Inverse Distance Weighting*” (tradução livre: Peso do Inverso da Distância (tradução livre)).

A Krigagem pode ser chamada também de “Krigeagem” e é um método interpolativo geoestatístico de regressão. Esta técnica tem o nome em homenagem ao seu desenvolvedor, o estatístico e engenheiro sul-africano Daniel G. Krige. Contudo, a aprimoração da técnica passou pela contribuição do matemático francês Georges Matheron na década de sessenta. Matematicamente, a Krigagem é reconhecida como uma “predição linear”, pois parte do princípio que pontos próximos tendem a ter valores menos divergentes que pontos mais distantes no espaço. Considerando este princípio em um cenário de variáveis climáticas, se, em um planalto hipotético, na localização de

uma EMA “A” a temperatura for X, é muito provável que quão mais próximo da EMA for medida a temperatura por um termógrafo, mais provável seria que a temperatura fosse próxima de X. Contudo, ao se afastar da EMA A em direção a uma outra EMA “B”, a probabilidade de a temperatura ser próxima à temperatura medida na EMA B aumentaria.

Diferente do método interpolativo descrito acima, o método de IDW é determinístico e, na matemática, descrito como uma interpolação “multivariada”. Para chegar a valores de pontos desconhecidos através de valores de pontos conhecidos, no método de IDW calcula-se uma média ponderada dos valores conhecidos. O nome desta técnica é oriundo da própria média ponderada aplicada, pois, o “Peso do Inverso da Distância” de cada ponto conhecido é utilizado para estimar os pesos dos pontos não conhecidos. O conceito desta técnica foi iniciado por Howard Fisher, no laboratório de computação gráfica e análise espacial da universidade de Harvard em 1965. O conceito foi trabalhado por seguidores e culminou, inclusive, em um importante artigo de Donald Shepart em 1968 intitulado “Uma função de interpolação bidimensional para dados espaçados irregularmente”.

#### 4.2.4 Índices normalizados para vegetação e umidade

- Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é um indicador gráfico relativamente simples e é amplamente utilizado em estudos ambientais para identificação de existência ou não vegetação verde/saudável. A equação é simples e elegante, como demonstrada na Equação 2.

Equação 2.

$$NDVI = \frac{NIR^6 - Vermelho}{NIR + Vermelho}$$

Ou seja, para o cálculo do NDVI utiliza-se das seguintes faixas do espectro de ondas eletromagnéticas: 0.64 a 0.67  $\mu$ m (luz vermelha) e 0.85 – 0.88

---

<sup>6</sup> Infravermelho próximo.

µm (infravermelho próximo).

Como resultado da técnica, ter-se-á valores para cada pixel que variam de -1 a 1. É comum interpretar os valores de -1 a 0 como áreas não vegetadas ou indivíduos arbustivos não vivos. Entre 0.1 e 0.33 observam-se plantas vivas, porém não saudáveis (ex: indivíduos com estresse hídrico). Entre os valores de 0.34, e 0.66 é comum observar vegetação moderadamente saudável ou em regeneração. Valores acima de 0.66 representam vegetação saudável.

Dentre os muitos usos, esta técnica permite discriminar com certa facilidade e precisão, parcelas vegetais com estresse hídrico e outras coberturas do solo que não são vegetais (áreas de uso alternativo do solo). Exemplificando a ampla utilização da técnica, é possível citar o trabalho de Izumi *et al.* (2019), que na oportunidade em questão analisou as variações interanuais de NDVI e sua correlação com duas variáveis climáticas (temperatura e precipitação) em uma ilha no sul da China durante todas as estações do ano. Os resultados deste trabalho demonstraram a alta correlação entre pluviometria e temperatura com o NDVI. No mesmo sentido, Guo *et al.* (2008) indicou que mudanças no NDVI são significativamente correlacionadas com temperatura e precipitação no norte da China.

No Brasil, Becker & Ugeda (2019) analisaram o comportamento do NDVI em um assentamento no interior do Estado de Mato Grosso após a urbanização e alteração do uso do solo entre os anos de 2000, 2010 e 2017. Neste trabalho os autores conseguiram averiguar a diminuição do NDVI com o avanço do uso alternativo do solo e demonstrando que o avanço do uso antrópico pode desencadear diferenças significativas do NDVI.

- Índice de Água de diferença Normalizada (NDWI).

O NDWI também é um indicador gráfico. Este é amplamente utilizado para destacar o teor de umidade em parcelas do solo ou superfície terrestre. Este índice é obtido através da Equação 3.

Equação 3:

$$NDWI = \frac{Verde-NIR}{Verde+NIR}$$

Deste modo, para o cálculo do NDWI utiliza-se das seguintes faixas do espectro de ondas eletromagnéticas: 0.53 a 0.59  $\mu\text{m}$  (luz verde) e 0.85 – 0.88  $\mu\text{m}$  (infravermelho próximo). Os resultados, tal como no NDVI, gerarão pixels com valores de -1 a 1. Quão menores os valores, menor a umidade da superfície. Quando não associados a vegetação, é comum classificar pixels com valores  $\leq 0$  como “não água”, e pixels com valores  $> 0$  com algum teor de umidade. Quão mais próximo de “1”, maior o conteúdo de água na superfície do solo com este valor.

### **4.3 O Método para a Análise Bibliométrica**

Conforme mencionado anteriormente, Stout *et al.* (2009) realizaram uma análise histórica de cunho epistemológico refletindo a tendência das publicações com tema “erosão eólica” até o fim do século XX. Estes autores esclareceram que após 1646 - data das três primeiras publicações científicas acerca do tema -, o tema vem crescendo em número de publicações, e, tendo “picos” quantitativos em anos de eventos catastróficos relativos a nuvens de poeira. Com o mesmo tema em perspectiva, todavia, em um apanhado mais qualitativo do que quantitativo, Field, Breshears e Whicker (2009) descreveram que há certa tendência da pesquisa eólica em se direcionar para ambientes com pouca disponibilidade hídrica, ambientes estes que Goudie, A., Livingstone, I., e Stephen, S., (2000) chamaram de “Ambientes Eólicos”. Este último autor advoga que em certos ambientes, como no mundo tropical, as paisagens deveriam ser esculpidas por uma participação hídrica e eólica. Neste sentido, para entender a tendência das pesquisas eólicas no século XXI e dar continuidade às pesquisas destes autores, nesta análise se reflete o estado da arte do tema em questão através de um levantamento quantitativo e qualitativo sobre o as pesquisas eólicas no presente século.

Para efetuar a análise bibliométrica em termos quantitativos, se fez a consulta ao repositório “*Web of Science*” utilizando livremente as palavras-chave “*Aeolian Erosion*” foram encontradas 1.930 publicações entre os anos de 2000 a 2023, sendo importante destacar que nesta primeira busca não houve filtros e, portanto, 37 campos de pesquisa foram encontrados. Muitos destes campos de pesquisa não se enquadraram no escopo desta pesquisa (ex. antropologia,

filosofia política, alergia e etc.) e por isso foram retirados. Ao refinar a pesquisa para resultados somente de campos de pesquisa que se enquadram no escopo deste trabalho (áreas ambientais em geral, física, matemática, sensoriamento remoto e etc) e com om este refino, ficaram as áreas: dinâmica oceânica, arqueologia, ciências espaciais, geociências, pedologia, ciências ambientais, engenharia florestal, ciências atmosféricas e climatologia, sensoriamento remoto, engenharias, biológicas, recursos hídricos, física, astronomia e astrofísica, modelagem e simulação, arqueometria, ecologia e zoologia, mudanças climáticas, entomologia e agricultura. O número de publicações encontradas se reduziu para 1.847. Os metadados do repositório foram compilados e organizados para efetuar a análise quantitativa a fim de demonstrar os principais países originadores de pesquisa em quantidade absoluta, quais os principais campos de pesquisa relacionados a pesquisa eólica para o período, qual a tendência no número de publicações (crescente ou decrescente) e quais os periódicos que mais se destacam em número de publicações.

Para entender o estado da arte e tendências no tema (de modo qualitativo), as pesquisas foram analisadas separadamente em 4 intervalos temporais: entre os anos 2000 a 2005; 2006 a 2010; 2011 a 2015; e 2016 a 2023. Nesta perspectiva, foram selecionados os 5 artigos mais relevantes (segundo os critérios do repositório Web of Science) dos três principais periódicos citados acima para cada intervalo. Contudo, o periódico "*Aeolian Research*" foi inaugurado em 2009, e, portanto, para este periódico, a análise foi dividida em dois intervalos (de 2009 a 2015 e de 2016 a 2023). Deste modo, foram analisados ao final, 20 artigos da revista mais relevante (*Geomorphology*), 10 artigos da segunda revista mais relevante (*Aeolian Research*) e 20 artigos da terceira revista mais relevante para o tema (*Catena*), totalizando 50 artigos analisados. Nesta análise buscou-se entender qual o objetivo da pesquisa, método utilizado, ferramentas utilizadas e qual o ambiente da pesquisa.

## **5 RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO**

### **5.1.1 Análise quantitativa**

Dois campos de pesquisa dominam as publicações em termos

quantitativos: "Geosciences Multidisciplinary" (com 847 publicações) e a "Geography Physical" (com 606 publicações). O tema "Environmental Sciences" obteve 368 resultados, sendo, portanto, um campo relevante no tema. A Pedologia obteve, para o período, 167 publicações e o tema Recursos Hídricos 153 publicações. O último campo com mais de 100 publicações no século XXI é a "Meteorology Atmospheric Sciences", que teve 108 publicações. Deste modo, é evidente que estes seis principais campos de pesquisa (que são correlatos) ajustam-se como os principais campos ao se tratar da pesquisa eólica, destacando-se em termos de protagonismo, as Geociências (46% do total de publicações) e a Geografia Física (33,5% do total de publicações). O Quadro 4 demonstra o número de publicações total por campos de pesquisa com porcentagem maior que 1%:

Quadro 4 - Número de publicações e porcentagem por campos de pesquisa para o tema "Aeolian Erosion" entre os anos 2000 e 2023 no repositório Web of Science.

| <b>Campos de Pesquisa</b>        | <b>Nº Publicações</b> | <b>%</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------|
| Geosciences Multidisciplinary    | 847                   | 45.858   |
| Geography Physical               | 606                   | 32.810   |
| Environmental Sciences           | 368                   | 19.924   |
| Soil Science                     | 167                   | 9.042    |
| Water Resources                  | 153                   | 8.284    |
| Meteorology Atmospheric Sciences | 108                   | 5.847    |
| Geochemistry Geophysics          | 103                   | 5.577    |
| Geology                          | 99                    | 5.360    |
| Astronomy Astrophysics           | 80                    | 4.331    |
| Ecology                          | 75                    | 4.061    |
| Oceanography                     | 64                    | 3.465    |
| Multidisciplinary Sciences       | 55                    | 2.978    |
| Paleontology                     | 35                    | 1.895    |
| Remote Sensing                   | 32                    | 1.733    |

|  |    |       |
|--|----|-------|
| Imaging Science Photographic<br>Technology | 25 | 1.354 |
| Engineering Civil                          | 24 | 1.299 |
| Engineering Environmental                  | 21 | 1.137 |
| Engineering Ocean                          | 21 | 1.137 |
| Geography                                  | 19 | 1.029 |
| Marine Freshwater Biology                  | 19 | 1.029 |

Fonte: Web of Science.

Em relação aos países originadores de publicações sob o tema da erosão eólica - o que não significa a localização de onde a pesquisa foi efetuada, visto que muitas pesquisas oriundas de um grupo de pesquisa de um determinado país podem ter seu objeto de estudo em outros locais – existem também dois países que disputam o protagonismo no número de publicações: os Estados Unidos da América (com 536 publicações) e a China (com 412 publicações). Três países europeus têm considerável relevância no número de publicações: Inglaterra (207 publicações), França (165 publicações) e a Alemanha (163 publicações). Por fim, outros dois países têm mais que 100 publicações no século, a Austrália (119 publicações) e o Canadá (102 publicações).

Deste modo, ao somar as publicações do continente europeu com mais de 100 publicações, ter-se-á o total de 535 publicações (tendo mais publicações europeias do que chinesas). Nesta perspectiva, não se tem um arcabouço teórico para afirmar a existência de uma escola epistemológica europeia para o tema eólico, contudo, a soma das publicações originárias deste continente certamente tem papel relevante para o tema. Por fim, pode-se compreender três continentes predominantes no número de publicações sobre o tema: América do Norte (638 publicações), a Europa (535 publicações)<sup>7</sup> e o continente asiático com publicações exclusivas da China (412 publicações). A Quadro 5 sintetiza e demonstra os países com mais de 100 publicações e porcentagem relativa ao total de publicações para o tema no período estudado:

<sup>7</sup> Este quantitativo não considera outros países europeus com menor participação como os Países Baixos (95 publicações), Itália (78 publicações) e Espanha 74 publicações).

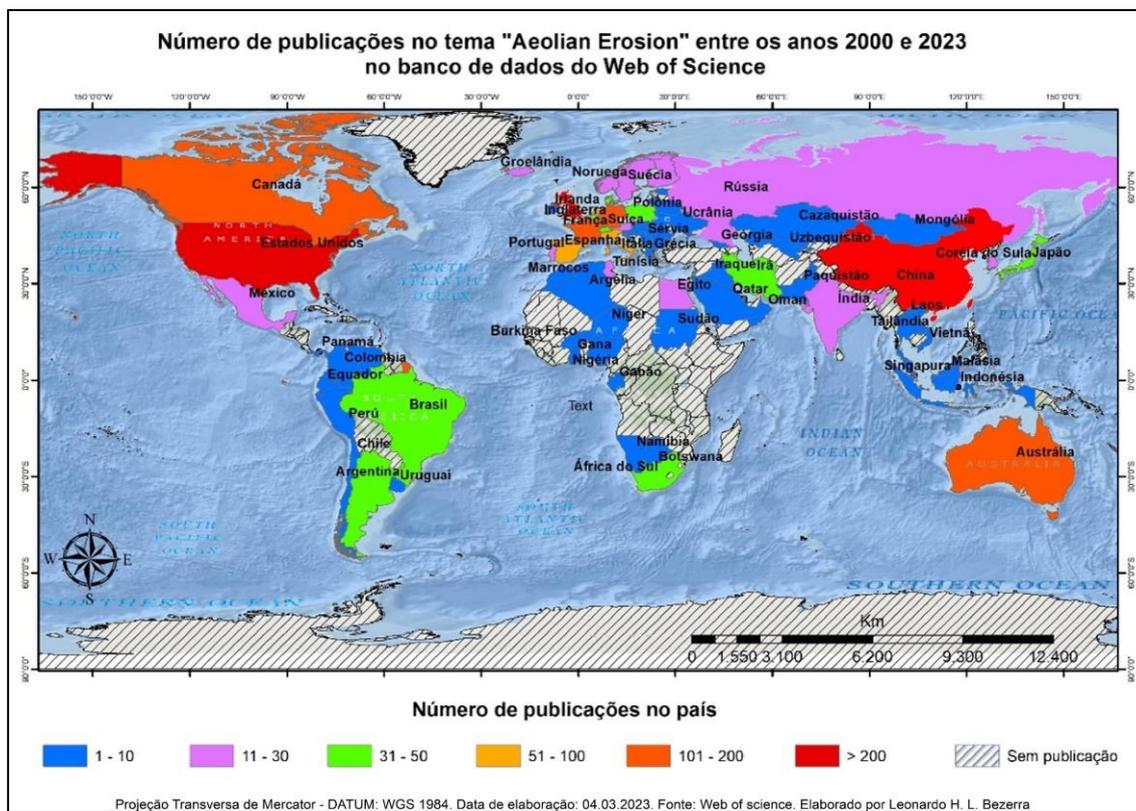
Quadro 5 - Número de publicações no tema "Aeolian Erosion" por país entre os anos 2000 e 2023.

| <b>Países</b>             | <b>Nº de publicações</b> | <b>%</b> |
|---------------------------|--------------------------|----------|
| Estados Unidos da América | 536                      | 29.020   |
| China                     | 412                      | 22.306   |
| Inglaterra                | 207                      | 11.207   |
| França                    | 165                      | 8.933    |
| Alemanha                  | 163                      | 8.825    |
| Austrália                 | 119                      | 6.443    |
| Canadá                    | 102                      | 5.222    |

Fonte: Web of Science.

Apesar do Quadro 5 não demonstrar a posição do Brasil em relação aos países em questão, destaca-se que o Brasil tem, de acordo com os parâmetros utilizados, 40 publicações para o tema no século XXI (representando 2,08% do total) empatando com a vizinha Argentina e tendo duas publicações a mais que a Suíça que publicou 38 vezes sobre o assunto. Na Figura 9, é possível entender essa dinâmica em ordem global de forma espacializada:

Figura 9 - Mapa do número de publicações por país no tema "Aeolian Erosion" entre os anos 2000 e 2023



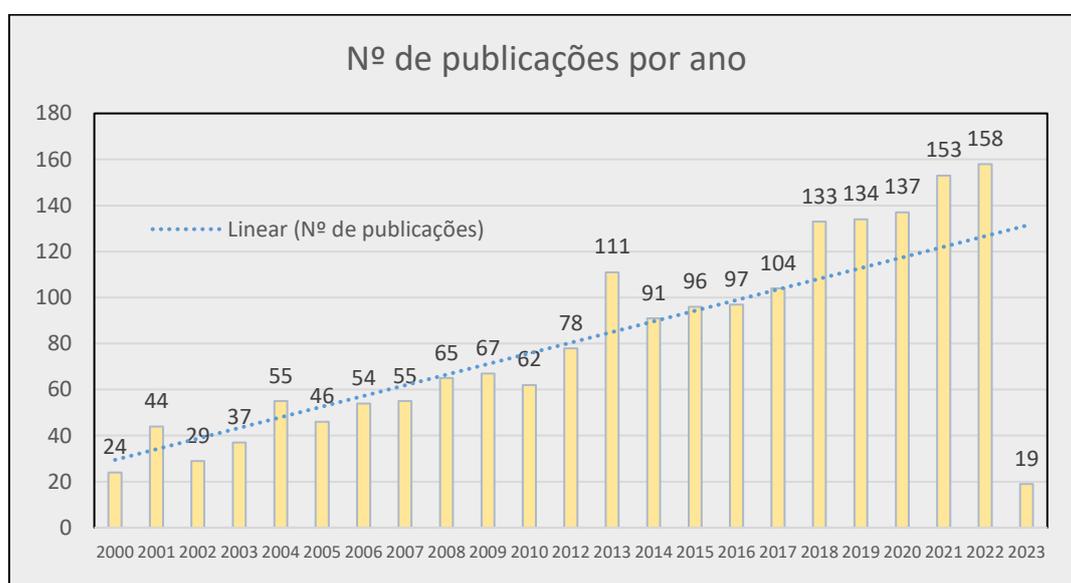
Fonte: Web of Science (2023).

Em relação à temporalidade destas publicações ao longo do presente século, o Gráfico 1 demonstra que em termos quantitativos, as publicações vêm crescendo linearmente, saltando de 24 publicações no ano de 2000 para 158 em 2022, ou seja, um aumento de 658,33% em 22 anos (um aumento médio de 25,37% ao ano). Nesta progressão, espera-se que até o final de 2023 se tenha 198 publicações no tema da erosão eólica.

Ainda acerca do Gráfico 1, nota-se que no ano de 2013 houve certa discrepância em relação aos anos anteriores e posteriores (78 em 2012, 111 em 2013 e 91 em 2014). Ao analisar somente as publicações relativas ao ano em questão observou-se que no referido ano houve um evento significativo que fez com que a motivação em estudar o tema fosse ampliado: “*International Symposium on Erosion and Landscape Evolution*” (ISLE - Simpósio Internacional sobre Erosão e Evolução da Paisagem) que ocorreu entre os dias 14 e 18 de setembro do ano em questão em Anchorage (Alaska, EUA). Dentre todas as apresentações deste evento, 23 foram a respeito do tema eólico, seus impactos,

modelos de predições e processos (PELT, R. & GILL, T. 2013). Por fim, o impacto fica evidente ao considerar que no último dia do ISLE o cientista do solo Ted Zobeck realizou uma chamada pública para que fosse criada uma edição especial do periódico "Aeolian Research" acerca das apresentações presentes no ISLE.

Gráfico 1 - Números absolutos de publicações por ano durante o século XXI no tema "Aeolian Erosion" na base *Web of Science*. Fonte: *Web of Science* (2023).



Fonte: Web of Science.

Em relação ao número de publicações por periódicos, há a maior variabilidade entre todas as perspectivas analisadas até aqui. O periódico com maior concentração entre as publicações, "Geomorphology", tem 140 publicações, mas não chega a possuir 10% (7.57%) da concentração total das publicações. Tendo 125 publicações, o "Aeolian Research" fica em segundo lugar com uma porcentagem estreita (6.67%), como é possível averiguar no Quadro 6.

Quadro 6 - Número de publicações por periódico no repositório Web of Science.

| <b>Periódicos</b>   | <b>Nº de publicações</b> | <b>%</b> |
|---|--------------------------|----------|
| Geomorphology   | 140                      | 7.572    |
| Aeolian Research  | 125                      | 6.760    |
| Earth Surface Processes and Landforms   | 97                       | 5.246    |
| Catena  | 64                       | 3.461    |
| Journal Of Geophysical Research Planets                                       | 57                       | 3.083    |
| Journal Of Coastal Research   | 50                       | 2.704    |
| Icarus  | 49                       | 2.650    |
| Journal Of Geophysical Research Earth Surface                                 | 39                       | 2.109    |
| Quaternary International  | 35                       | 1.893    |
| Quaternary Science Reviews  | 33                       | 1.785    |
| Sedimentology   | 33                       | 1.785    |
| Journal Of Arid Environments  | 32                       | 1.731    |
| Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology                               | 25                       | 1.352    |
| Journal Of Geophysical Research Atmospheres                                   | 24                       | 1.298    |
| Land Degradation Development  | 21                       | 1.136    |
| Geoderma  | 18                       | 0.973    |
| Sedimentary Geology   | 18                       | 0.973    |
| Earth Science Reviews   | 17                       | 0.919    |
| Journal Of Arid Land  | 17                       | 0.919    |
| Journal Of Marine Science and Engineering                                     | 17                       | 0.919    |
| Remote Sensing  | 17                       | 0.919    |
| Environmental Earth Sciences  | 16                       | 0.865    |
| Geophysical Research Letters  | 15                       | 0.811    |
| Earth And Planetary Science Letters   | 14                       | 0.757    |
| Holocene  | 14                       | 0.757    |
| Marine Geology  | 14                       | 0.757    |
| Planetary And Space Science   | 14                       | 0.757    |
| Scientific Reports  | 12                       | 0.649    |
| Atmospheric Environment   | 11                       | 0.595    |
| Science Oo the Total Environment  | 11                       | 0.595    |
| Soil Tillage Research   | 11                       | 0.595    |
| Applied Sciences Basel  | 10                       | 0.541    |
| Water   | 10                       | 0.541    |
| <b>*Houveram outros 430 periódicos com menos de 10 publicações no período</b> |                          |          |

Fonte: Web of Science.

Neste aspecto, existem 33 periódicos com dez ou mais publicações no período perscrutado e outros 430 periódicos com menos de dez publicações. Dentre estes, após os mencionados “*Geomorphology*” e “*Aeolian Research*”, seguem sequencialmente em número de publicações o “*Earth Surface Process and Landforms*”, com 97 publicações (5.24% do total), “*Catena*” com 64 publicações (3.46% do total) e o “*Journal of Geophysical Research Planets*”, com 57 publicações (3.08% do total), encerrando os cinco periódicos mais ativos em termos numéricos.

## 5.1.2 Análise qualitativa

### 5.1.2.1 Geomorphology – 2000 a 2005

Neste periódico, no ano 2000, somente uma pesquisa foi efetuada se tratando do tema em perspectiva. Bullard, JE e Wiggs, GFS (2000) publicaram um estudo experimental acerca da variabilidade direcional do vento nas proximidades de um vale modelado. Este trabalho foi efetuado em túneis de vento que permitiram visualizar a superfície próxima<sup>8</sup> dos fluxos de ar sobre vales modelados em ângulos variados. Os resultados indicaram que a presença de um vale não interfere significativamente na direção do fluxo de vento, principalmente em cenários em que a direção do vento é perpendicular à do vale. Contudo, um resultado importante foi a constatação que fluxos de ventos que se aproximaram de ângulos menor que 90 tiveram suas direções alteradas (deflexão) para um ângulo paralelo ao do vale. Estes autores concluíram que importantes analogias podem ser feitas destes resultados para paisagens em campo, exemplificando que estes resultados poderiam ser imputados para as relações de perturbações eólicas em colinas e em vales.

Entre os anos de 2001 e 2005, as cinco publicações mais relevantes segundo o Web of Science foram a respeito de dunas, dunas costeiras, loess, modelagem em túneis de vento e o deserto do Líbano. Liu *et al.* (2005) publicaram um artigo descrevendo a influência da direção, velocidade e frequência dos ventos no transporte de areia no planalto de “Ordos”, na China. Esta pesquisa foi efetuada em campo através de monitoramento no deserto arenoso de Qubqi e no deserto denominado “Mu Us Sandy Land” e se observou

---

<sup>8</sup> Tradução livre de “*near-surface*”.

um importante incremento de areia transportada na razão entre a quantidade de areia inconsolidada (de mais fácil transporte) e aumento da velocidade do vento próxima ao leito. Os resultados de campo foram interpolados e calibraram modelos meteorológicos de alta resolução com o objetivo de extrapolar os resultados de campo. O resultado final foi a quantificação da areia transportada em várias velocidades e direções do vento, com características gerais para diferentes tipos de superfície.

Huang, CC *et al.* (2002) estudaram um Planalto chinês de *Loess* de idade holocênica denominado “Xi’an” com o ambicioso objetivo de entender as relações da erosão eólica do solo e as mudanças climáticas de monções. Esta pesquisa partiu de dados *proxy* de uma sequência paleossolos locais que indicariam uma mudança climática no Sudeste do Planalto. Os resultados desta pesquisa levaram os autores à conclusão de que um período de severas erosões ocorreu quando a região estava passando por uma dita “*climatic amelioration*” durante o Holoceno. Estas evidências, na interpretação dos autores, indicam uma resposta regional às mudanças climáticas monçônicas.

Ruz, MH & Meur-Ferec, C (2004) efetuaram um monitoramento topográfico ao longo de 1 ano em um sistema de “macromaré” de praias e dunas que passavam por um recuo costeiro relativamente rápido. Estes monitoramentos levaram em conta: medições de areia transportada, velocidade e direção dos ventos. Os resultados demonstraram extrema variabilidade espacial e temporal no transporte de areia. Contudo, o mais relevante é a evidência de que a depender da combinação entre a velocidade dos ventos, pluviometria e escoamento superficial, o transporte de areia pode ocorrer ao longo do ano todo, embora as condições mais enérgicas para a erosão ocorram no inverno e primavera.

Li *et al.* (2002) destacam o uso inapropriado dos solos chineses que ocasionam os problemáticos processos – muitas vezes irreversíveis - de desertificação. Estes autores denunciaram a falta de dados concisos e compilados acerca da quantificação do processo de desertificação. Com isto em perspectiva, os autores investigaram a erodibilidade de solos sob perturbações antrópicas através de simulações em túneis de vento. As condições da simulação eram de um ambiente de solos arenosos fixados por uma vegetação protetiva em dunas móveis. Os resultados indicaram que a perturbação antrópica

maximizava a erodibilidade dos solos. Também indicaram que a vegetação natural e microbiota mantêm a erodibilidade natural, e, os tamanhos dos grãos transportados são em maioria maiores que 1.0 mm.

Brookes (2001) apresentou os resultados alguns estudos com foco em *Landforms* específicas de desertos e esculturas em rochas. Estes ocorreram em um deserto no Sul do Líbano e no Centro-Sul do Egito. Entre os muitos resultados e considerações destas pesquisas, destacam-se: a correspondência entre afloramentos rochosos e a erosão eólica; os efeitos da litologia na orientação da erosão eólica e os efeitos da erosão eólica nos vales.

### 5.1.2.2 Geomorphology – 2006 a 2010

Neste intervalo, mais especificamente no ano de 2009, foi publicado o artigo de Stout *et al.* (2009). Este artigo é base para premissa da pesquisa. Nele, os autores efetuaram uma análise bibliográfica acerca das tendências de informações geradas nas pesquisas eólicas. Os resultados demonstraram o aumento relevante no número de pesquisas nas últimas décadas e que os padrões históricos de ação do vento demonstram certa influência de aspectos humanos.

Em 2010, Ravi *et al.* estudaram a degradação ambiental em regiões áridas tentando entender as interações hidrológicas, eólicas e da vegetação. Os autores argumentam que, como consequência das mudanças climáticas, a conversão de ambientes sensíveis pode catalisar inúmeros novos casos de desertificação, colocando em risco a segurança alimentar de comunidades menos favorecidas. Estes autores realizaram um estudo teórico revisitando publicações importantes acerca deste tema para investigar, como por exemplo se há um padrão ou aumento nas taxas de degradação, propondo um método mais holístico para tratar o tema.

Sankey *et al.* (2010) efetuou um promissor estudo denominado "*relationships of aeolian erosion and deposition with LiDAR-derived landscape surface roughness following wildfire*". Sob o argumento de que o aumento de incêndios florestais pode aumentar a erodibilidade eólica de solos originalmente estáveis. Os autores examinaram, através de um sensor LiDAR, se a rugosidade da superfície explicaria a variabilidade da perda de solos na região desértica de Idaho (EUA). Os resultados da análise de regressão linear indicaram que

mudanças na superfície estão relacionadas proporcionalmente às mudanças nas taxas de erosão eólica.

O segundo mais relevante artigo publicado entre os anos de 2006 e 2010 é de Breshears, D.D. *et al.* (2009). Este artigo teve como título: “*a conceptual framework for dryland aeolian sediment transport along the grassland-forest continuum: Effects of woody plant canopy cover and disturbance*”. Ao efetuar uma revisão sobre estudos acerca de erosão eólica em ambientes desérticos, áridos e semiáridos, os autores concluíram que em ambientes de vegetação rasteira pouco perturbados ocorrerão maiores taxas de erosão eólica naturalmente, justamente pelos amplos espaços entre os arbustos. Em ambientes mais perturbados (com plantio madeireiro), as taxas de erosão eólica diminuirão drasticamente por conta da presença das copas das árvores.

Por fim, o artigo mais relevante neste período é de Vilmundardottir *et al.* (2010) que estudaram a erosão e deposição costeira em um reservatório hidrelétrico na Islândia. Pela importância da erosão eólica neste empreendimento, as taxas de erosão vêm sendo monitoradas desde 1997. Nesta publicação os autores utilizaram dados de campo e análises de SIG<sup>9</sup> para descrever e determinar os processos eólicos.

### 5.1.2.3 Geomorphology – 2011 a 2015

A quinta publicação mais relevante neste intervalo é do ano de 2011 e foi publicada por Bishop. Na publicação em questão intitulada “*Aeolian scours as putative signatures of wind erosion and sediment transport direction on Mars*”, o autor refere a marcas (ou em suas palavras: obstáculos) de origem eólica como “*scours*” na superfície do planeta Marte que seriam de lapidação eólica. O trabalho em questão sugere que essas feições relativamente numerosas podem servir como proxy para a compreensão do transporte de sedimentos em ambiente marciano e serem extrapoladas para ambientes com dunas barcanas ou barcanoides. Os resultados demonstraram que os *scours* são influenciados por um regime de ventos bimodais.

Entre o intervalo de anos de 2011 a 2015, a quarta publicação mais relevante na revista *Geomorphology* é de Sankey *et al.* (2011) que fizeram uma

---

<sup>9</sup> Sistema de Informação Geográfica.

pesquisa quantitativa relacionando queimadas, rugosidade de terrenos e emissões potenciais de poeira. Este estudo utilizou uma técnica de altimetria a laser para quantificação de superfícies de solos em escala subcentimétrica. Os autores se basearam em “teorias eólicas” para hipotetizar que as relações já observadas entre queimadas e disponibilidade de particulados para deflação poderiam diferir de estudos prévios. Os monitoramentos foram efetuados em ambiente semiárido no sudeste dos Estados Unidos e os resultados indicaram que os solos atingidos por eventos de incêndios se mostraram mais rugosos que aqueles não atingidos, cuja emissão de particulados de fato aumentou nestes solos.

A terceira publicação mais relevante é mais recente, efetuada por Kuster *et al.* (2014). Nesta publicação acerca de “areias eólicas” e “solos queimados”, os autores tentaram uma reconstrução da dinâmica eólico-arenosa durante o Holoceno através de um aspecto pedo-geomorfológico. A pesquisa em questão partiu de interpretações estratigráficas, sedimentológicas e morfogenéticas para compreender a gênese de dunas presentes no território alemão. Os resultados indicaram uma aceleração nos processos eólicos durante os séculos XIII, XV e XVI. Isto se daria, conforme indicado pelos autores, como uma resposta da intensificação de estruturas urbanas.

Em 2012, Arnalds *et al.* publicaram um artigo denominado “Denominação de taxas do transporte eólico de solos vulcânicos da Islândia”. Os autores elucidam que a Islândia possui uma área desértica arenosa de material vulcânico maior que 20.000 km<sup>2</sup>. Deste modo, a erosão eólica tem forte participação na esculturação dessas feições, e chegam a causar poluição em outros ecossistemas vegetados. Os autores desenvolveram a pesquisa através do monitoramento de duas áreas distintas, uma no sítio de “*Holsfjöll*”, região alta, de solos ândicos e árida (menos de 400mm de precipitação anual) e outra no sítio de “*Geitasandur*”, região de solos arenosos e terras baixas úmidas (precipitação anual maior que 1200 mm). Na quantificação efetuada pelos autores (através de monitoramento de campo e sensores automatizados), ambas as áreas demonstraram valores parecidos de 670 kilogramas por metro por ano<sup>10</sup>. Ainda, como parte dos resultados, os autores explanaram a correlação

---

<sup>10</sup> O autor expressa a media através a de seguinte notação: 120->670 kg m(-1) yr(-1).

com tempestades de areia, fluxo e direção preferencial de transporte, bem como, fontes e período de recarga arenosa.

Ao final, o artigo de maior impacto para este período ocorreu através de técnicas de sensoriamento remoto para ambientes de encostas fluviais do rio Colorado - Estados Unidos. O trabalho foi publicado novamente por Sankey *et al.* em 2014, três anos após sua última publicação na revista. Nesta publicação, os autores argumentam que ravinamentos efêmeros tem alta relevância para esculturação de ambientes áridos no mundo todo. Neste trabalho, um estudo de caso foi efetuado em uma ravina que de 95 km de comprimento ao longo do rio Colorado. Após as mensurações, os resultados indicaram que a sedimentação tem tendência a finalizar em uma atividade eólica arenosa.

#### **5.1.2.4 Geomorphology – 2016 a 2023**

A quinta pesquisa mais relevante neste período e neste periódico é de Ventra *et al.* (2017). Este trabalho foi intitulado como “sedimentologia e preservação de sedimentos eólicos em terrenos íngremes: rampas de areia incipientes na costa do Atacama (norte do Chile)”. Como sugerido pelo título, o trabalho descreveu a morfologia e sedimentologia de depósitos eólicos complexos no Deserto do Atacama. Ao pesquisar as assianturas estratigráficas e organização espacial de escoamentos neste ambiente, os autores propõem que estes ambientes sensíveis necessitam de diferentes metodologias para preservação, e concluiu que a morfologia bem como os processos deste ambiente precisam ser prescrutados e entendidos para promover ou inibir sua degradação.

A quarta pesquisa mais relevante para o período é de Jolivet *et al.* (2021) que estudaram a erosão em larga escala topográfica em sedimentações semiáridas, em uma perspectiva muito parecida com a pesquisa citada anteriormente de Ravi *et al.* (2010). Nesta ocasião, Jolivet e colaboradores estudaram os efeitos de afloramentos não erosíveis em uma região atingida por deflação, o que levaria a uma complexidade nos sistemas de drenagem e nos padrões de fluxo de vento. Enquanto método, os autores utilizaram análises geomorfológicas e análises quantitativas de Be-10 e Al-26 para propor um modelo de evolução morfológica. Como parte dos resultados, os autores demonstraram que o embasamento rochoso em questão, induz a localização de

zonas preferenciais de deflação que geram entalhamentos eólicos e fluviais de grande escala.

Swet & Katra *et al.* (2016) publicaram o terceiro artigo mais relevante da revista neste período. Nesta publicação os autores discutem a relação entre particulados agregados e emissão de poeira associada aos agregados em eventos eólicos. Apesar de partir de uma proposta de metodologia empírico-experimental (através da análise de distribuição de agregados em campo), o trabalho ocorreu em campos de *Loess* e solos semiáridos, ou seja, dentro de ambientes tradicionais para pesquisas eólicas. É importante ressaltar que este trabalho, nos resultados, efetua reflexões que partem de pressupostos oriundos de testes de túneis de vento que correlacionaram a quantidade de particulados agregados e taxas de saltação de material inconsolidado. Como parte dos resultados, os autores determinaram que o incremento de atividades antropogênicas promove o aumento nas taxas de saltação em curto prazo.

Em seguida, enquanto segunda publicação mais relevante para o período, Kasprak *et al.* (2019) usaram dados topográficos coletados via um *Laser Terrestre de Varredura e Fotogrametria de Estrutura de Movimento* para efetuar a quantificação dos efeitos destas técnicas para detecção de mudanças geomórficas. Esta técnica seria uma alternativa aos dados coletados por nuvens de pontos e convertidos em conjuntos numéricos dispostos em uma matriz (*raster*). Os resultados demonstraram que ambas as técnicas constituem estimativas parecidas.

Finalmente, a pesquisa mais relevante para o período, neste periódico, é de cunho planetário e publicada por Rozner *et al.* (2020), que mais cedo, foi citado pelo estudo da erosão eólica em anéis de anãs brancas. Nesta oportunidade (e na mesma perspectiva de que a erosão eólica é determinante na erosão de pequenos corpos planetários), os autores demonstraram que a erosão eólica em *cobbles*, *boulders* e planetesimais pode ser uma barreira importante no estágio inicial de formação de novos planetas.

#### **5.1.2.5 Aeolian Research – 2009 a 2015**

Para o período, o quinto artigo mais relevante é de Poortinga *et al.* (2012) que descreveu os efeitos positivos da erosão eólica, seus conceitos, medições e modelagens. Este artigo, que se tratou de uma revisão teórica acerca dos

estudos sobre erosão eólica, demonstrou que as pesquisas eólicas por um longo período de tempo focaram em questão as relativas perdas de solos vs deposição eólica. Os autores demonstraram que por um longo período de tempo os estudos partiram de experimentações pontuais que embasaram extrapolações para escalas locais. Ainda, entre as conclusões, apontou-se que as modelagens objetivam compreender partes complexas do fenômeno eólico, entretanto, dependem do amadurecimento dos princípios físicos que regem a deflação. Neste sentido, também é apontado que há ainda uma grande lacuna no entendimento físico entre processos em pequena escala (ou “reducionista” nas palavras dos autores) e aqueles de grande escala (ditos “holísticos” conforme os autores). Por fim, os autores concluem expressando uma posição que é adotada por nossa pesquisa, em que diz que

Com um apanhado holístico, nós podemos visualizar sistemas dinâmicos maiores e observar a erosão eólica enquanto uma parte integrante aos sistemas naturais. A erosão eólica tem desafios e oportunidades, onde um não exclui o outro. (PORTINGA *et al.* 2021., p. 85, tradução nossa)

Zhang *et al.* (2014) publicaram o quarto artigo mais relevante do periódico no período. Nesta oportunidade, os pesquisadores efetuaram uma simulação em túneis de vento para compreensão do processo de erosão eólica em leitos de cascalho (cenário comum na China). Os resultados demonstraram que a erosão e deposição é influenciada pela disponibilidade de cascalhos e pela velocidade do vento. A deposição destes cascalhos foi mais comum em ventos com velocidade entre 8 e 12 m/s.

Warren (2010) publicou um artigo denominado “*Sustainability in Aeolian Systems*” (Sustentabilidade em Ambientes Eólicos). Neste artigo o autor considera quatro restrições à sustentabilidade: 1) correção técnica, 2) complexidade, 3) incerteza e 4) mudança ambiental. Para exemplificar estes termos na prática, o autor utiliza de quatro ambientes diferentes com atividade eólica. Trata-se de um importante artigo para manutenção e manejo de ambientes eólicos explorados por atividades humanas.

Em outra linha de trabalho, Diaz-Nigenda *et al.* (2010) efetuaram uma

modelagem acerca de erosão eólica sob a cidade do México. Este artigo em questão leva em consideração a qualidade do ar da cidade em estudo, e parte do pressuposto de que o melhor entendimento sobre o fenômeno da erosão eólica contribuirá no processo de melhoria da qualidade de vida através da melhoria da qualidade do ar.

Por fim, a pesquisa mais relevante neste período é de Field, Breshears e Whicker (2009) e este artigo publicado já foi discutido anteriormente neste trabalho pois é parte importante da construção teórica da hipótese e justificativa desta pesquisa. No trabalho em questão, os autores chamam atenção para a ideia de que as interações entre processos eólicos e fluviais são maiores do que se pensa, e que um novo paradigma sobre os processos erosivos deveria ser implementado, levando em consideração a interação destes processos e não mais a segregação entre eles. É importante destacar que este trabalho descreve três principais objetivos: 1) salientar as dependências ambientais e de escala do transporte eólico em relação ao transporte fluvial; 2) avaliar os investimentos em pesquisas sobre o controle de erosão financiadas pelo governo dos Estados Unidos; 3) propor um prospecto para estudos futuros de transporte eólico. Dito isto, é nítido que em nossa pesquisa o primeiro e terceiro objetivos são os mais relevantes e discutidos. Um ponto importante mencionado pelos autores é que as análises em perspectiva geomorfológica inferem alguma importância na interatividade entre a ação eólica e a pluvial, mas não efetuam quantificações simultâneas e co-localizadas das taxas de erosão

#### **5.1.2.6 Aeolian Research – 2016 a 2023**

Neste período mais recente, o quinto artigo mais relevante é de Poppema *et al.* (2022). Na oportunidade os autores utilizaram modelos celulares de automatização para simular o comportamento do processo de erosão e deposição eólica em leitos arenosos. Os primeiros resultados mostraram uma boa aproximação entre os dados oriundos da simulação com dados coletados em campo.

Goossens, D. *et al* (2018) publicaram os resultados de testes comparativos efetuados em campo com cinco dispositivos de medição. Cada um destes dispositivos atua com princípios próprios de medição. Os autores fizeram os testes na costa oeste dos Países Baixos, uma região propensa a erosão

eólica. Os resultados mostraram que pode se comparar a eficiência dos instrumentos, contudo, cada um apresenta seus resultados de acordo com seus princípios de certeza e incerteza. Deste modo, como principal resultado, os autores sugeriram algumas melhorias para cada amostrador e, em quais ambientes cada um deveria ser utilizado para melhor performance técnica.

Martin *et al.* (2018) publicaram um artigo que propôs a medição de fluxos de saltação eólica de alta frequência. Nesta oportunidade, os autores elucidam que muitos dos estudos voltados à erosão eólica levam em consideração somente os materiais particulados em suspensão, e não levam em consideração os materiais transportados por saltação. Segundo os autores, este seria um motivo determinante para a diferença entre modelagens e medições em campo.

Dubey *et al.* (2021) efetuaram uma pesquisa voltada à biocimentação como uma possibilidade para mitigação a erosão eólica em determinados ambientes. Diferenciando-se das outras pesquisas de tema parecido (biocimentação) que propuseram a bactéria *Sporosarcina pasteurii* como agente cimentante, estes autores propõem o isolamento e caracterização de novas bactérias para os mesmos efeitos. Os resultados em escala laboratorial mostraram grande aumento em níveis de cimentação de solos coletados no deserto de Thar, na Índia.

Por fim, a publicação de maior relevância deste primeiro período em análise é de Webb *et al.* (2016) denominada “*the national wind erosion research network: building a standardized long-term data resource for aeolian research, modeling and land management*”. Como se pode notar, não se trata de uma publicação de resultados, mas sim, a publicação de um tratado/convenção que teve como principais objetivos: 1) providenciar dados para suportar o entendimento básico do processo de erosão eólica em tipos de usos do solo, tipos de cobertura do solo e tipos de manejo de solo; 2) dar suporte ao desenvolvimento e aplicação de modelos que descrevam a erosão eólica e emissão de poeira, visando os impactos na qualidade de vida humana e sistemas ambientais; 3) encorajar a colaboração entre a comunidade de pesquisas eólicas e gerentes de recursos para incremento de novas tecnologias voltadas ao tema.

Como resultado direto desta última publicação, houve a alocação de treze unidades de monitoramento denominadas “*network sites*” que ficam alocadas em diferentes ambientes. Informações acerca destas unidades são encontradas no

site: <http://winderosionnetwork.org>.

#### 5.1.2.7 Earth Surface Processes and Landforms – 2000 a 2005

Zobeck *et al.* (2003) publicaram um estudo efetuado com o objetivo de mensurar e analisar métodos de campo de pesquisas eólicas para validação de modelos. Os autores mencionam que no momento da publicação do artigo, a acurácia (e por consequência a confiança) de modelos voltados a transporte eólico precisavam de ajustes e calibrações. Na discussão, os autores utilizam muitos aspectos importantes, tais como: características ambientais para modelagens, métodos de amostragem e a utilização de estações meteorológicas. Como parte dos resultados, os autores chamam a atenção para que é necessário entender a variação temporal das condições de superfície para melhor entender o processo eólico.

Van Der Wall (2000) produziu uma modelagem de transporte eólico e desenvolvimento morfológico em áreas praianas. Na oportunidade o autor conciliou dois modelos já conhecidos (SAFE utilizado para modelagens de transporte de sedimentos, e, HILL utilizado para mudanças morfológicas de superfície), gerando um modelo denominado “SAFE-HILL”. Apesar dos resultados promoverem fidedignos padrões de erosão, deposição e desenvolvimento morfológico, as taxas de transporte de areia pela deflação foram superestimadas.

Enquanto terceira publicação mais relevante para o período no periódico, Zobeck *et al.* (2003) publicaram um arquivo editorial denominado “Reunião conjunta da 5<sup>o</sup> reunião conferência sobre a pesquisa eólica, a mudança global de ecossistemas e erosão de solos”<sup>11</sup>. Trata-se de um documento de uma única página acerca do evento que ocorreu em Lubbock, (Texas - USA) no ano de 2002 que teve a participação de 130 estudiosos de 18 países. A convocação para o evento foi feita por importantes pesquisadores: Ted M. Zobeck, John E. Stout, Jeffrey A. Lee e Tomas E. Gill. Dois tópicos motivaram a convocação: 1) delinear programas de experimentação e monitoramento para prover um entendimento preditivo dos impactos da mudança climática e uso do da terra na erosão do solo; 2) refinar e adaptar os modelos recentes de erosão de escalas

---

<sup>11</sup> *International Conference on Aeolian Research 5 (ICAR 5) and the Global Change and Terrestrial Ecosystems, Soil Erosion Network (GCTE-SEN).*

locais em vias de atender uma extrapolação de escala global.

Goossens, que teve participação em uma publicação relevante na Aeolian Research mais recentemente (em 2018), publicou no ano de 2001 neste periódico um artigo denominado “The aeolian dust accumulation curve” (Goossens, 2001). O autor descreve aquilo que em suas palavras seria “um simples conceito físico de acumulação de poeira eólica baseado no comportamento de subprocessos de erosão e deposição de poeira (p. 1214)”. O autor testou o conceito em túneis de vento e determinou dois limiares de velocidades de vento: “limiar de deflação” e “limite de acumulação”. Neste sentido, em ventos com velocidades abaixo do limiar de deflação, a acumulação eólica cresce de forma linear e, em ventos com velocidades entre o limiar de deflação e o limite de acumulação, haverá um balanço de sedimentação acima da acumulação, conceitos representados em produtos cartesianos e equações.

O artigo mais relevante publicado neste período no periódico em questão foi de Chappell, A. *et al.* (2003). Neste artigo os autores utilizaram técnicas geoestatísticas para elucidar uma mudança temporal na variação espacial do transporte eólico. O método utilizado para este artigo contou com uma estratégia de amostragem multiescalar (com 40 amostradores de sedimentos). Os resultados foram extrapolados utilizando métodos de krigagem e “*Simulated Annealing*”<sup>12</sup>. A análise dos resultados sugeriu a existência de alta dinâmica em sistemas de erosão eólica que correspondeu a uma variação cíclica que poderia ser explicada pela variação de materiais e energia do vento.

#### **5.1.2.8 Earth Surface Processes and Landforms – 2006 a 2010**

Fouds & Warburton (2007) efetuaram um estudo que muito se aproxima das ideias que seriam posteriormente propostas Field, Breshears e Whicker (2009). Na ocasião, Fouds & Warburton perscrutaram a erosão eólica em uma região de turfas no norte do Reino Unido que, na premissa dos autores, passaria por um período de dissecação. Os autores mencionam que apesar de ventos fortes serem característicos na região, os estudos sobre erosão eólica local são escassos e, tendo isto em vista os mesmos fizeram medições em campo durante duas semanas. Os resultados mostraram que nos momentos de chuva, os fluxos

---

<sup>12</sup> Muitas vezes traduzido para “recozimento simulado que se trata de uma busca local probabilística fundamentada em leis da termodinâmica.

de poeira diminuía em duas ordens de magnitude quando comparados aos momentos sem chuva, contudo, não deixavam de existir.

Turpin *et al.* (2010) publicaram o quarto artigo mais relevante do período. Os autores efetuaram uma modelagem numérica acerca da erosão eólica em ambientes geomorfologicamente rugosos. Os autores presumiram que estas rugosidades consideradas “não erosíveis” absorvem considerável parte da tensão de cisalhamento dos ventos ( $\tau$ ), protegendo as superfícies erosíveis. Deste modo, o artigo objetivou examinar a distribuição da  $\tau$  ao longo das superfícies rugosas por meio de uma simulação. Os resultados confirmaram que a erosão eólica é fortemente atenuada pela presença de elementos rugosos e que a geometria dessas rugosidades interferirá no quão atenuante a presença destes elementos é.

Thomas & Wiggs (2008) publicaram um artigo voltado à resposta de sistemas eólicos às mudanças globais. Nesta publicação, os autores comentam temas relevantes nas pesquisas, como: os desafios da escala de análise e a integração entre processos e temporalidade. O artigo tem como justificativa a reativação no século XXI de ambientes até então estáveis, que se dariam em razão das mudanças climáticas. Para entender de modo integrado quatro tipos de cenários comumente modelados nas pesquisas eólicas modernas, os autores efetuaram uma análise dos avanços metodológicos e das contribuições multiescalares de diferentes artigos.

Riksen *et al.* (2008) efetuaram uma predição da resposta eólica às práticas de manejo de solos nos Países Baixos. Quatro tipos de técnicas de modelagem foram experimentados paralelamente a uma área, que durante o período de 8 meses, teve a deflação mensurada no fluxo horizontal de areias transportadas. Resultados parecidos foram averiguados tanto na modelagem quanto nas medições em campo para estes ambientes.

Leys *et al.* (2008) publicaram a ideia denominada “Dust Watch” que sconsiste em uma ligação comunitária para monitoramento da erosão eólica nas Austrália. Através de uma rede de monitoramento de diversos instrumentos que cobre todo o subcontinente, se tem leitura dos eventos eólicos em diversas escalas espaciais e temporais. Resultados promissores do Dust Watch vem sendo divulgadas e preenchendo diversas lacunas histórias do entendimento da presente e atuante erosão eólica no país.

### 5.1.2.9 Earth Surface Processes and Landforms – 2011 a 2015

Webb *et al.* (2013) efetuaram uma pesquisa com o objetivo de entender a magnitude e mecanismos do enriquecimento do teor de carbono orgânico do solo nas emissões de poeira. Ainda, como parte do escopo desta pesquisa, os autores objetivaram entender as implicações no ciclo do carbono. A pesquisa foi efetuada utilizando um instrumento denominado BSNE (*Bi Spring Number Eight*) e os resultados mostraram que solos arenosos e particularmente ricos em areia fina tem maiores emissões do que aqueles solos ricos em agregados argilosos.

Wiggs & Holmes (2011) estudaram o controle dinâmico de erosão eólica e emissões de poeiras de ambientes agrícolas no Centro-Oeste da África do Sul. Para as devidas quantificações os autores utilizaram anemômetros, algumas “armadilhas” para captura de material e sensores de captação denominados “Safires”. Os resultados demonstraram que durante os meses de setembro e outubro a quantidade de particulados aumentou significativamente. Neild & Wiggs (2011) demonstraram a aplicação de um scanner a laser para medição do fenômeno de saltação dos particulados transportados pelo vento. Os monitoramentos foram efetuados em ambientes praianos e os resultados demonstraram grande variabilidade dos padrões relacionados à variação de rugosidade e umidade da superfície. Por fim, os autores sugerem que o instrumento utilizado pode ser útil também em pesquisas efetuadas em ambientes desérticos.

A segunda publicação mais relevante neste período é de Houser & Ellis (2013) e não se trata de um artigo científico, mas sim de um tributo aos Dr. Robin Davidson-Arnott, um importante pesquisador de ambientes costeiros e da geomorfologia eólica. E, por fim, a publicação mais relevante neste período foi de Kerber & Head (2012), que quantificaram a progressão do endurecimento de cristas eólicas em “Medusae Fossae Formation”, um ambiente do planeta Marte. O autor argumenta que nesta região marciana existem as chamadas “*Transverse Aeolian Ridges*” (TARs). Nesta perspectiva, os autores propõem uma interpretação para os ciclos de ativação e retrabalhamento das TARs.

### 5.1.2.10 Earth Surface Processes and Landforms – 2016 a 2023

Li *et al.* (2022) efetuaram um modelo para predição da taxa de transporte

eólico em ambientes vegetados. Os autores argumentam que dentro das modelagens não é comum considerar ambientes vegetados e isto dificulta o entendimento do fenômeno eólico em ambientes vegetados. O resultado desta modelagem proporcionou uma equação que estima taxas de erosão eólica em ambientes vegetados. Esta equação que demonstrou que a quantidade de material transportado pela deflação cai exponencialmente conforme o aumento da vegetação.

Collins *et al.* (2016) efetuaram um levantamento multitemporal através de um sensor LiDAR, utilizaram dados climáticos locais e observações geomorfológicas com o objetivo de assimilar as tendências de mudanças na paisagem ao longo do rio Colorado. Segundo estes autores, a degradação dos sítios arqueológicos ao longo da margem do rio em questão é ocasionada por uma barragem nas áreas mais altas do rio. Como resultado, os autores demonstraram cenários de paisagem oriundas da deposição de bandos de areias. Contudo, o aspecto mais abordado no trabalho ainda são as deposições fluviais e aluviais.

Sunamura (2018) efetuaram uma pesquisa voltada diretamente à dinâmica dos fluidos, tendo com objetivo a formulação de uma equação que descrevesse a taxa de erosão em leitos rochosos por qualquer que seja o fluido. O autor denomina sua proposta como “Fórmula Unificadora”, levando como princípio os fundamentos de “limiar de cisalhamento”, “Erosividade dos fluidos” e “erodibilidade do leito rochoso”. A equação proposta é:  $d\Gamma/dt = C [(FA/FR) - 1]^{13}$ .

Hesp *et al.* (2022) efetuaram uma revisão com o objetivo de evidenciar a lençóis de areia eólica transgressivos que se iniciariam em campos de dunas. E por fim, o trabalho mais relevante no último período foi executado por Ravi *et al.* (2019), que testaram a aplicabilidade de um traçador metálico para estimar a redistribuição de sedimentos eólicos pós eventos de incêndio. Os resultados demonstraram uma distribuição espacialmente homogênea dos traçadores.

---

<sup>13</sup> onde  $\Gamma$  é a quantidade de erosão, ou seja, comprimento erodido (distância), volume, massa ou peso,  $t$  é o tempo,  $d\Gamma/dt$  é a taxa de erosão,  $FA (= A \times [\text{força do fluido}])$  é a força de ataque de fluxos de fluidos carregados de sedimentos usada como um índice da erosividade do fluxo,  $FR (= B \times [\text{resistência do leito rochoso}])$  é a força de resistência representando a erodibilidade do leito rochoso,  $C$  é um coeficiente com a mesma unidade que  $d\Gamma/dt$ , e  $A$  e  $B$  são coeficientes adimensionais.

### 5.1.3 Síntese da análise qualitativa

Conforme a descrição dos principais trabalhos publicados neste período na revista *Geomorphology*, fica evidente que existem três principais temas para pesquisa: pesquisas em ambientes dunares, modelagens e pesquisas planetárias. A grande maioria das pesquisas que efetuaram trabalho de campo foram executadas em ambientes eólicos tradicionais, e as exceções ocorreram em ambientes congelados como a Islândia, apesar de não se tratar exatamente de um ambiente antagônico aos ambientes tradicionais, visto que a pesquisa de Arnold *et al.* (2019) cita regiões áridas e com disponibilidade de material inconsolidado. Deste modo, não havendo pesquisas em ambientes tropicais ou subtropicais que praticassem a visão holística sugerida por Field, Breshears e Whicker (2009). As poucas pesquisas que efetuaram um apanhado integrativo entre a atuação fluvial e eólica (a exemplo de Ravi *et al.* 2010) também foram efetuadas em ambientes áridos.

Outro tema que aparenta ganhar notoriedade na revista e que pode ter similaridade a ambientes tropicais, é a correlação entre queimadas e disponibilidade de material particulado para deflação que parece ficar mais evidente. O aumento das queimadas ocorridas no Cerrado brasileiro e até mesmo na floresta amazônica pode despertar um gatilho nos estudos voltados à erosão eólica.

Ainda se tratando da revista *Geomorphology*, outro tópico que parece ganhar cada vez mais relevância é a modelagem em túneis de vento e modelagens por sensoriamento remoto. Estes métodos aparentam ser promissores pelo baixo custo e pela possibilidade de monitoramento em grande escala. Este tipo de pesquisa também permite a extrapolação de dados para ambientes análogos. Contudo, fica evidente que estas modelagens não são totalmente acuradas e precisam de comparativos e calibragem com dados de campo.

Além dos já mencionados subtópicos da pesquisa eólica, outro nicho que demonstrou interesse por parte dos pesquisadores são as pesquisas de ordem planetária, em que aparentemente encontram na erosão eólica muitas respostas a perguntas antigas e complexas, como por exemplo a formação de anéis de detritos em anãs brancas e a formação de novos corpos planetários.

Por fim, com o objetivo de controlar ambientes sensíveis e o avanço de dunas para áreas construídas ou outros ecossistemas, a precipitação de calcitas cimentantes de gênese biótica (biocrosta) aparenta ser um *hotspot*.

Acerca das publicações mais relevantes no periódico “*Aeolian Research*”, de fato, não é verificável uma tendência em pesquisas de visão holística conforme requerido por Field, Breshears e Whicker (2009). Contudo, este periódico aparenta ser mais disruptivo ao paradigma anterior e isto fica evidente na publicação de Poortinga *et al.* (2021) que se dispõe a falar sobre os efeitos positivos da erosão eólica, algo que não fora mencionado em nenhuma pesquisa do periódico anteriormente analisado. Pesquisas bibliográficas e análises epistemológicas aparentam encontrar um lugar mais cômodo neste periódico. Isto pode ocorrer por se tratar de um periódico exclusivo à erosão eólica e, portanto, tem por necessidade, rever epistemologicamente os caminhos traçados em suas pesquisas.

Contudo, outros pontos se assemelham ao periódico *Geomorphology*, como a forte presença de artigos voltados a modelagens e túneis de vento, e a atenção dada aos agentes biocimentantes em uma tentativa de controle de desastres ambientais. Por fim, não há dúvidas que este periódico se mostra o mais adepto as pesquisas efetuadas em campo, bem como, a pesquisas que comparem o desempenho e os resultados de diferentes técnicas de medições em campo. Neste sentido, a importante publicação de teor político de Webb *et al.* (2016) - a mais relevante do último período analisado - declara a importância de recursos financeiros para novas tecnologias de medições em campo.

Após a análise dos artigos mais relevantes da “*Earth Surface Processes and Landforms*” ficou evidente que há uma grande preferência no século XXI por artigos que visam ampliar as escalas ou até mesmo integrar escalas de modelagens eólicas. Outro aspecto que tem espaço relevante entre as publicações são as pesquisas voltadas à calibragem de modelos preditivos, portanto, é comum ver pesquisas efetuadas empiricamente em campo com objetivo real de comparação aos dados de túneis de vento. Outros dois subcampos de pesquisa comuns nos outros dois periódicos anteriormente tratados que foram pouco discutidos neste periódico, ou até mesmo não foram discutidos, são as “biocrosta” - que se ausentaram entre as pesquisas mais relevantes - e as pesquisas em outros planetas (onde somente uma foi

averiguada). Neste periódico, duas publicações chamam atenção por aplicar visão holística fomentada por Field, Breshears e Whicker, são elas as de Fouds & Warburton (2007) e Li (2022). O primeiro objetivou entender a atuação eólica em um ambiente de turfas (não tradicional para pesquisa eólicas) e o segundo efetuou uma modelagem para ambientes vegetados. Deste modo, a pesquisa de Li é a única, entre as demais pesquisas averiguadas, que considerou a variável vegetação no processo de modelagem.

Considerando que capturar eventos eólicos *in natura* empiricamente ainda é um desafio, estudos teóricos que visam compreender princípios físicos em túneis de vento se mostram como uma alternativa viável. Estes modelos tem demonstrado resultados promissores e que servem de base para áreas da engenharia, aviação, agricultura e planejamento ambiental. Contudo, nota-se que há, ainda, uma demanda por trabalhos em campo que quantifiquem e qualifiquem eventos eólicos em perspectiva da evolução da paisagem e não para calibração de modelos preditivos. Aparentemente, os estudos que mais tentam se aproximar de uma certa técnica empírica são os chineses (em seus planaltos e áreas recobertas por loess), isto certamente ocorre pela importância econômica e até mesmo cultural que estes ambientes tem para a população chinesa. E, considerando que possivelmente a dinâmica eólica é o tipo de erosão mais influente nestes planaltos, a comunidade científica chinesa se empenha em compreendê-la e, assim, conseguir usufruir de maneira a extrair recursos e os conservar, mitigando os efeitos da desertificação já notável em diversas partes de seus planaltos.

Por fim, um exemplo da pouca estima dada à erosão eólica em ambientes não tradicionais é a “*Annual Meeting of the Association of American Geographers*” (Encontro Anual da Associação de Geógrafos Americanos), que não dedicou em seu último evento até a data desta pesquisa (no ano de 2023), na sessão voltada a erosão eólica, nenhuma discussão em outros ambientes que não fossem aqueles tradicionais<sup>14</sup>.

## 5.2 Estudo de Caso de Franca-SP

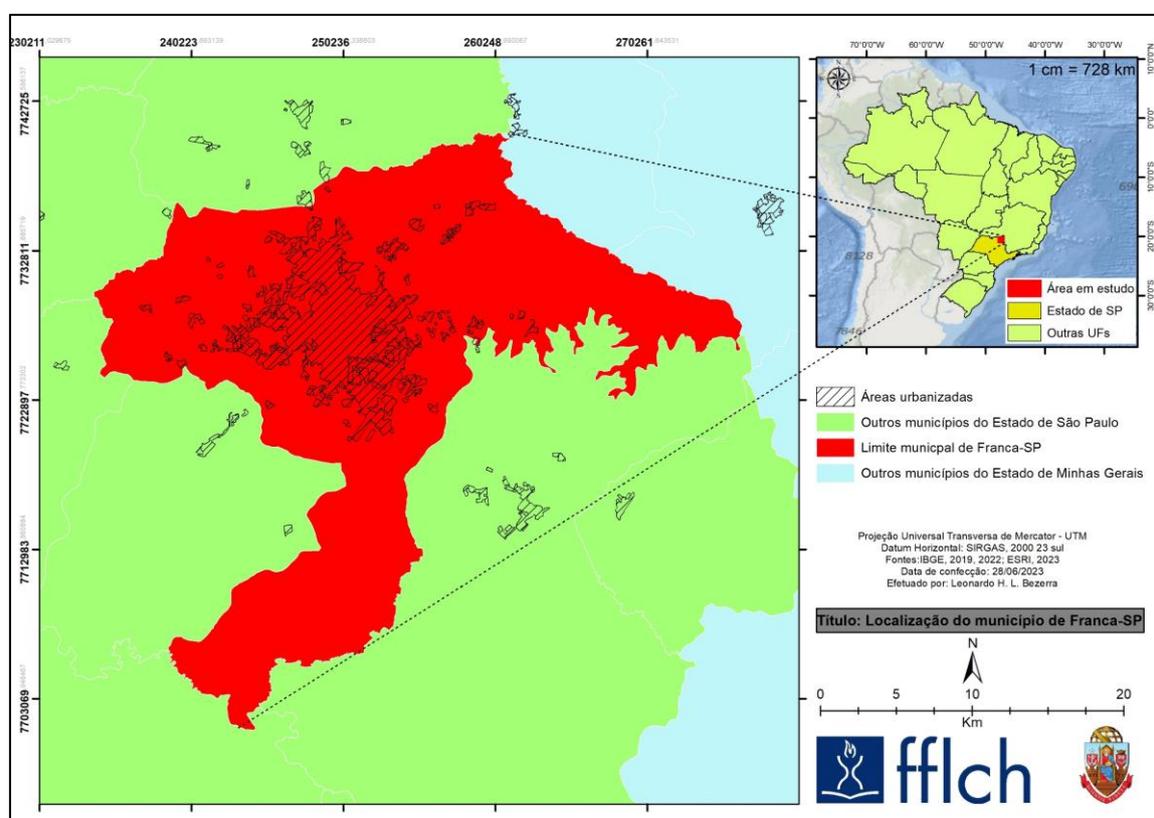
---

<sup>14</sup> Temas da reunião em 2023: *aeolian transport, coastal dunes, coastal systems, and beach-dune interaction*.

### 5.2.1 Área em Estudo

A área de estudo configura o município de Franca, situado na parte nordeste do Estado de São Paulo (SP), mais precisamente nas coordenadas geográficas de latitudes 20°25' a 24°41'S e longitudes 47°08' a 47°33'W. A área do município é de aproximadamente 606 Km<sup>2</sup>, com altitude média de 1.040 metros, sendo inserido na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí/Grande, entre as sub-bacias dos rios Canoas e Sapucaí-Mirim (IBGE, 2002). A Figura 10 demonstra a localização do município em relação ao Brasil.

Figura 10 - Localização da área em estudo



Fonte: IBGE (2019 & 2022).

Para descrição das características ambientais do município de Franca selecionamos os principais aspectos que compõem o ambiente físico da região, sendo: geologia, geomorfologia, pedlogia, a configuração climática com ênfase na pluviometria e temperatura. Por fim, também foram averiguados os usos da terra e a vegetação.

### 5.2.1.1 Geologia

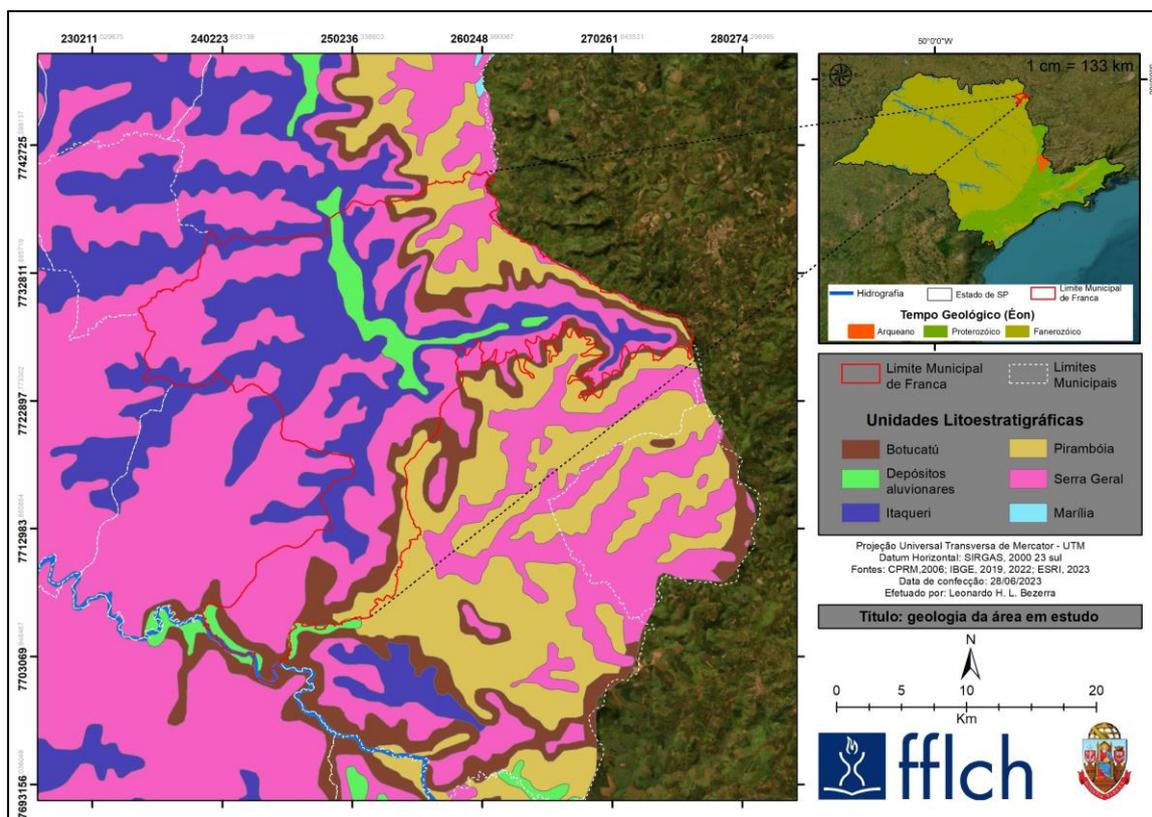
A região de Franca-SP contém as seguintes unidades litoestratigráficas: Botucatu, Itaqueri, Pirambóia, Serra Geral e Depósitos Aluvionares (SGB & CPRM, 2004<sup>15</sup>; Tanno, 1995). Estas podem ser averiguadas na Figura 11.

Dentre as unidades litoestratigráficas presentes no município, somente a Formação Itaqueri e os Depósitos Aluvionares não pertencem ao Grupo São Bento que contém rochas vulcânicas e sedimentares. Neste sentido, Endres *et al.* (2006) descreve que o Grupo São Bento é de idade Jurássico-Cretácea e divide-se em duas Formações distintas: as mais antigas, Botucatu e Pirambóia que são entendidas por gênese flúvio-eólica, e a mais recente, a Serra Geral, que é composta por basaltos toleíticos. Genericamente, o Grupo São Bento é caracterizado, como um todo, por faixas conglomeráticas areníticas originadas por depósitos continentais (de granulometria areno-argilosa), que costuma variar nas regiões mais próximas aos relevos de Cuestas Basálticas (Ivernizzi, 2001; Massoli, 2007a; Massoli, 2007b; Paula & Silva, 2003; Scherer, 2000).

---

<sup>15</sup> Serviço Geológico Brasileiro & Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

Figura 11 - Geologia da área em estudo



Fonte CPRM (2006). Elaborado pelo autor.

A Formação Pirambóia é composta por arenitos finos de coloração rosa e possui estratificações cruzadas acanaladas, de grande porte e com camadas alternadas de grãos e queda de grãos (características de dunas eólicas). Esta Formação se constitui de arenitos que em sua maioria, tem granulometria fina à média, com existência de fração argilosa nas partes inferior e superior da Formação, e, sua estratificação é plano-paralela destacando-se pela alternância de lâminas com presença de argila e silte, por vezes rica e por vezes escassa (BRISTRICHI, 1981 & Marashin *et al.* 2019). Em uma descrição faciológica, Chang & Wu (2006) afirmaram que esta se caracteriza por corpos de arenitos grossos e conglomeráticos, comumente intercalados e associam-se lateralmente a arenitos mais finos e/ou médios de origem eólica. Ainda é revelado por estes autores que a descrição de pacotes sedimentares desta formação demonstra uma interação flúvio-eólica, onde, tem-se predominantemente os depósitos fluviais que seriam retrabalhados pelo vento, gerando, portanto, um “complexo de retrabalhamento” que se intercala entre depósitos eólicos e fluviais. Estes

autores ainda descrevem que a gênese da Formação Pirambóia é intrinsecamente relacionada a um ambiente semiárido de sedimentação fluvial torrencial, característica do Período Triássico, pois a referida Formação tem sua idade descrita como do período Triássico, a aproximadamente 250 milhões de anos antes do tempo presente, ou seja, da Era Mesozóia (GSA, 2023).

Estratigraficamente os depósitos sedimentares da Formação Pirambóia ficam posicionados próximos à base da Formação Botucatu. Em relação à área em estudo, ocorre nas porções à nordeste e sudeste, em faixas não muito expressivas.

A Formação Botucatu é um pacote sedimentar que se constitui de arenitos geralmente quartzosos de coloração que varia de amarelada a avermelhada, com granulometria fina e sedimentos homogêneos. Sua morfologia é, em sua maioria, arredondada e apresenta estratificações cruzadas, encontrando-se em determinadas regiões, arenitos silificados. Ainda, a referida formação tem como característica baixa matriz argilosa, menor que 3% (Cardoso, r. & Balaban, r., 2015). A gênese desta Formação é bem entendida como de um clima desértico. Entre o Triássico (250 a 201 milhões de anos antes do presente), Jurássico (200 a 145 milhões de anos antes do presente) e o início do Cretáceo (145 a 100 milhões de anos antes do presente), a região onde hoje se localiza a Bacia Sedimentar do Paraná era regida por um clima desértico que originou o “deserto Botucatu”, que continha área superior a um milhão de km<sup>2</sup>. Este deserto tinha vastos campos de dunas de deposição e retrabalhamento eólico de sentido predominantemente para nordeste. Hoje, estes pacotes sedimentares abrigam o Aquífero Guaraní.

Tem-se como aspecto importante da Formação Botucatu seus marcadores de climas áridos pretéritos. A referida Formação tem sua idade amplamente reconhecida como do Cretáceo Inferior (Soares *et al.*, 1973; Tanno, 1995; Paula & Silva, 2003; Scherer, 2000). A Formação Botucatu situa-se a nordeste e leste da área em estudo, sempre tangente à Formação Pirambóia. Apresenta-se em faixas afuniladas e também não muito expressivas.

A Formação Serra Geral faz-se presente nas proximidades da área de estudo, sendo datada do Cretáceo Inferior a partir de técnicas de datações radiométricas efetuadas nas rochas vulcânicas constituintes da referida Formação (Brasil, 2018). Esta Formação é, deste modo, constituída por rochas

crystalinas que foram originadas pelos vulcanismos fissurais (derrames) e intrusões ocorridas na Bacia Sedimentar do Paraná. Guiampá e Souza (1982) descrevem a mineralogia da Formação Serra Geral contendo plagioclásios, piroxênios e ocorrências pontuais de olivinas, anfibólio e biotita. Tanno (1995) sugere relações entre os materiais primários e produtos argilosos que, por vezes, são encontrados, como a nontronita. Segundo Guimpá e Souza (1995), a área de afloramentos da Formação Serra Geral no Estado de São Paulo é de 32.115 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a 13% da área do Estado de São Paulo.

A sede do município de Franca localiza-se sobre a Formação sedimentar denominada “Itaqueri”. Esta formação se estende por toda a região central dos limites municipais e possui faixas que se direcionam para quase todas as direções, excetuando a região nordeste do município, conforme a Figura 11. A respeito desta Formação, Riccomini (1997) revela que alguns autores consideraram a idade desta Formação como Mesozóica (juntamente com o Grupo Bauru), e que, todavia, autores em trabalhos posteriores alocaram a referida formação como Cenozóica, sendo, portanto, mais jovem que o Grupo Bauru. A respeito do ambiente originário da Formação Itaqueti, estes foram interpretados como de origem fluvial, todavia, estudos posteriores evidenciaram que, na realidade, se tratam de depósitos de leques aluviais e canais anastomosados, canais estes que seriam associados a depósitos de corrida de lama e depósitos de detritos grossos que podem ser interpretados como de clima semiárido (Santos & Ladeira, 2006).

Por fim, é possível averiguar no centro do município os depósitos aluvionares do Rio Grande e no extremo sul do município do Rio Sapucaí. Estes são materiais quaternários e mal selecionados pela constante remobilização oriunda dos cursos d’água (Bolstelmann, 2006).

#### **5.2.1.2 Geomorfologia**

Ao perscrutar os estudos voltados a geomorfologia do Estado de São Paulo (SP), é possível afirmar que a publicação de maior impacto científico sobre este tema é de Ross & Moroz (1997). Estes autores apontam que na história dos estudos geomorfológicos do Estado de São Paulo, a primeira proposta de classificação do relevo paulista viera de Moraes & Rego (1932), que definiram algumas “grandes unidades fisográficas”, como: Planalto Ocidental, Escarpas

Basálticas, Relevo Suavemente Ondulado, Cuestas e Depressão Periférica. Após Moraes & Rego (1932), outros autores colaboraram desenvolvendo trabalhos sobre o tema, tais como Deffontaines (1935), Monbeig (1949), Ab'Saber (1956) e Almeida (1964).

A elaboração do mapeamento geomorfológico de Ross & Moroz (1997) surgiu pela ausência de produtos em escala menor que 1:100.000, visto que somente havia até então duas possibilidades de produtos que abrangiam o Estado todo, a “Carta Geomorfológica do Estado de São Paulo” elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no ano de 1981 na escala de 1:1.000.000 e a folha SF-23 (Rio de Janeiro) oriunda do projeto “Radambrasil”, também efetuada na escala de 1:1.000.000, mas que, porém, abrangia somente a parte norte do Estado. Havia, na época, a expectativa do lançamento da folha Paranapanema (SF-22) que abrangeria outras partes do Estado, contudo, não se tinha perspectiva de publicação desta folha.

Dito isto, Ross & Moroz (1997), com o auspício de gerar um novo produto em escala de 1:500.000 (mas baseado em fotointerpretação de imagens de satélites em escala de 1:250.000) findaram-se nos pressupostos de Penck (1953) e Mecerjacov (1968), particularmente nos conceitos de Morfoestrutura/Morfoescultura, e, no escopo metodológico produzido pelo próprio Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo publicado por Ross (1992).

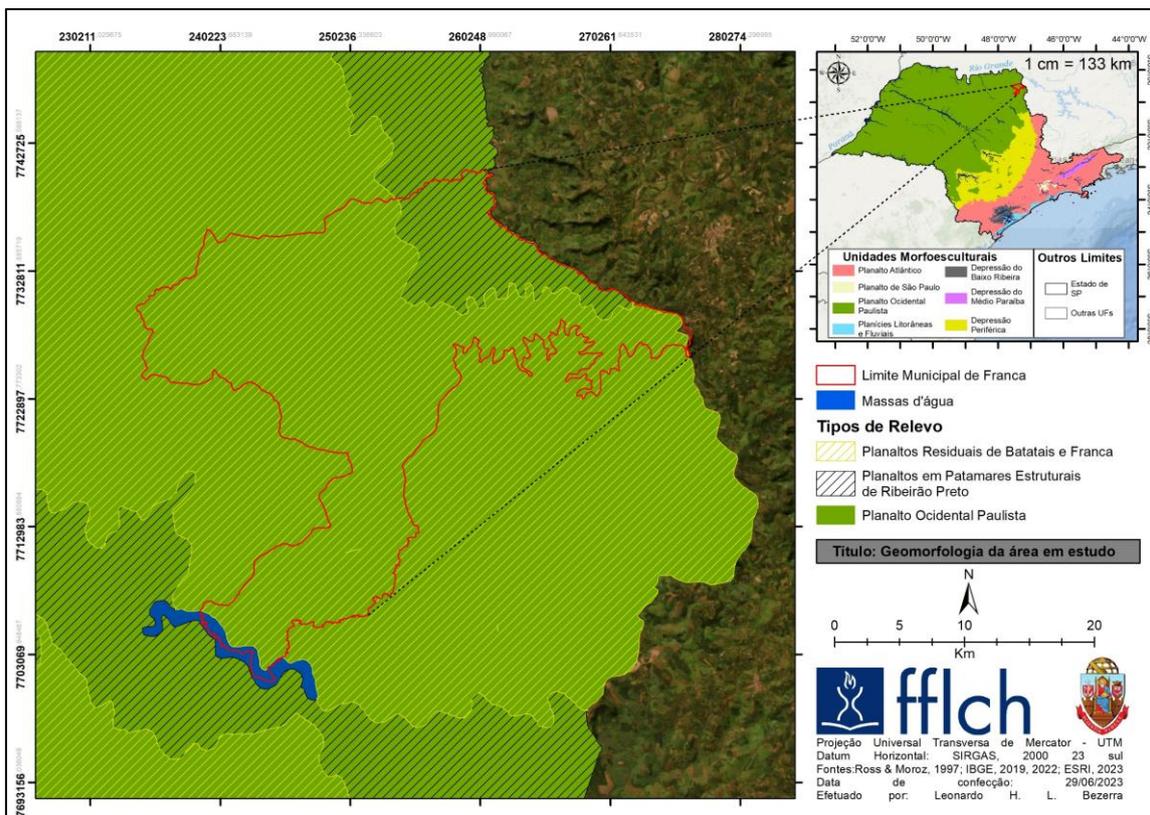
As Morfoestruturas são extensões de superfícies da terra oriundas de gênese e estruturas litológicas/tectônicas (a título de exemplo, pode-se citar as bacias sedimentares e plataformas de crátons). Por outro lado, o conceito de morfoescultura é associado aos “produtos morfológicos de influência climática atual e pretérita” (o mesmo que modelado). Deste modo, é possível que mais de uma morfoescultura se situe em uma morfoestrutura. Segundo os autores, uma morfoescultura é fortemente desenvolvida por atividades e flutuações climáticas e é marcada por padrões fisionômicos.

A metodologia de Ross (1992) dispõe, no total, de seis taxons. Estes taxons aumentam o seu nível de detalhe do primeiro (morfoestruturas) ao sexto (formas da paisagem). Contudo, dada a escala do trabalho de Ross & Moroz (1997), somente foi possível trabalhar e representar os três primeiros taxons: 1) morfoestruturas, 2) morfoesculturas e 3) tipos de relevo.

Ross & Moroz (1997) mapearam três Morfoestruturas no Estado de SP, a saber: a) Cinturão Orogênico do Atlântico; b) Bacia Sedimentar do Paraná; e c) Bacias Sedimentares Cenozóicas. A área em estudo situa sobre a Bacia Sedimentar do Paraná. Esta Bacia, que abrange cerca de 1.600.000 km<sup>2</sup>, teve em sua formação certa influência tectônica, movimentos epirogenéticos e processos erosivos que se diversificaram em períodos mais secos e outros mais úmidos. Esta alternância entre períodos secos e úmidos ocasionou, nos tempos atuais, níveis altimétricos diversos e em diferentes estágios de desgaste (Ab'Saber, 1972). Segundo os autores, a Bacia Sedimentar do Paraná representa uma fossa tectônica de geometria elipsoidal, e, com direção predominante de NNE-SSW. Seu arcabouço lito-estrutural é um escudo muito antigo (pré-cambriano).

Como mencionado acima, a área em estudo se situa sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, e, neste sentido, Ross (1985) descreve que as morfoesculturas presentes nesta morfoestrutura (sejam Planaltos ou Chapadas), enquadram-se em “terrenos sedimentares” de idades que podem ser do Devoniano ao Cretáceo. Os contatos dessa unidade morfoestrutural dar-se-ão em frentes de cuestas normalmente escarpadas, podendo ser únicas ou até mesmo desdobradas. Contudo, como se pode averiguar na Figura 12, a área de estudo localiza-se sobre a morfoescultura do Planalto Ocidental Paulista, mais especificamente entre os contatos dos tipos de relevo (3º taxon) Planaltos Residuais de Batatais-Franca e Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto.

Figura 12 - Morfoesculturas e Tipos de Relevo da área em estudo.

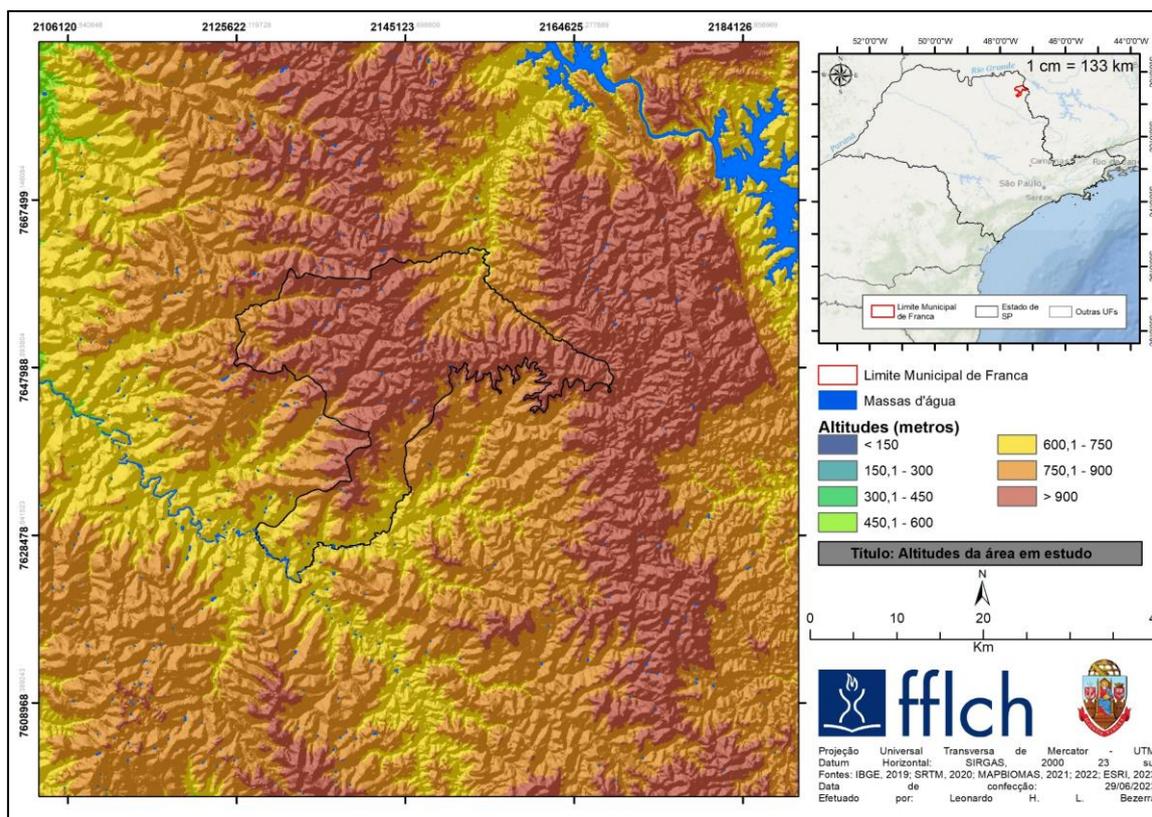


Fonte: Ross & Moroz (1997). Elaborado pelo autor.

O Planalto Ocidental Paulista, conforme o mapeamento efetuado por Ross & Moroz (1997), é a maior unidade morfoescultural do Estado de São Paulo ocupando aproximadamente 50% de toda a área do Estado. Situa-se sobre o Grupo Bauru (conforme a Figura 12 descrita anteriormente), portanto, as formações predominantes são as areníticas com ocorrências pontuais de cimentações por carbonatos de cálcio. Segundo os autores, as formas de relevo mais comuns nesta morfoescultura são as onduladas e com predomínio de colinas amplas e baixas de topos aplanados.

As diferenciações dos Tipos de relevo desta morfoescultura se dão pelas variações fisionômicas regionais, é o que ocorre justamente no mapeamento de 3º Taxon da área em estudo: os Planaltos Residuais de Batatais-Franca e Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto. É possível traçar um paralelo entre as delimitações entre os tipos de relevo e suas respectivas altitudes demonstradas na Figura 13 abaixo.

Figura 13 - Hipsometria da área em estudo



Fonte: Imagem SRTM. Elaborado pelo autor.

Os Planaltos Residuais de Batatais-Franca apresentam valores altmétricos que vão de 600 a maiores que 900 metros, conforme o modelo digital de elevação SRTM acima. Estas altitudes praticamente todo o município de Franca, sendo observadas nas faixas centrais, norte, nordeste e noroeste. Conforme a metodologia de Ross (1996) aplicada por Ross & Moroz (1997), nestes tipos de relevo podem ser encontradas colinas com topos aplainados. As declividades variam entre 10 e 20%. Conforme a matriz de índices de dissecação de relevo elaborada por Ross (1996), estas áreas contém grau de entalhamento de vales em Classe “1”, ou seja, muito fraco (menor que 20 metros), e, densidade de drenagem/dimensão fluvial que variam de muito baixa (>3.750 metros), baixa (750 a 1.750 metros) e média (250 a 750 metros).

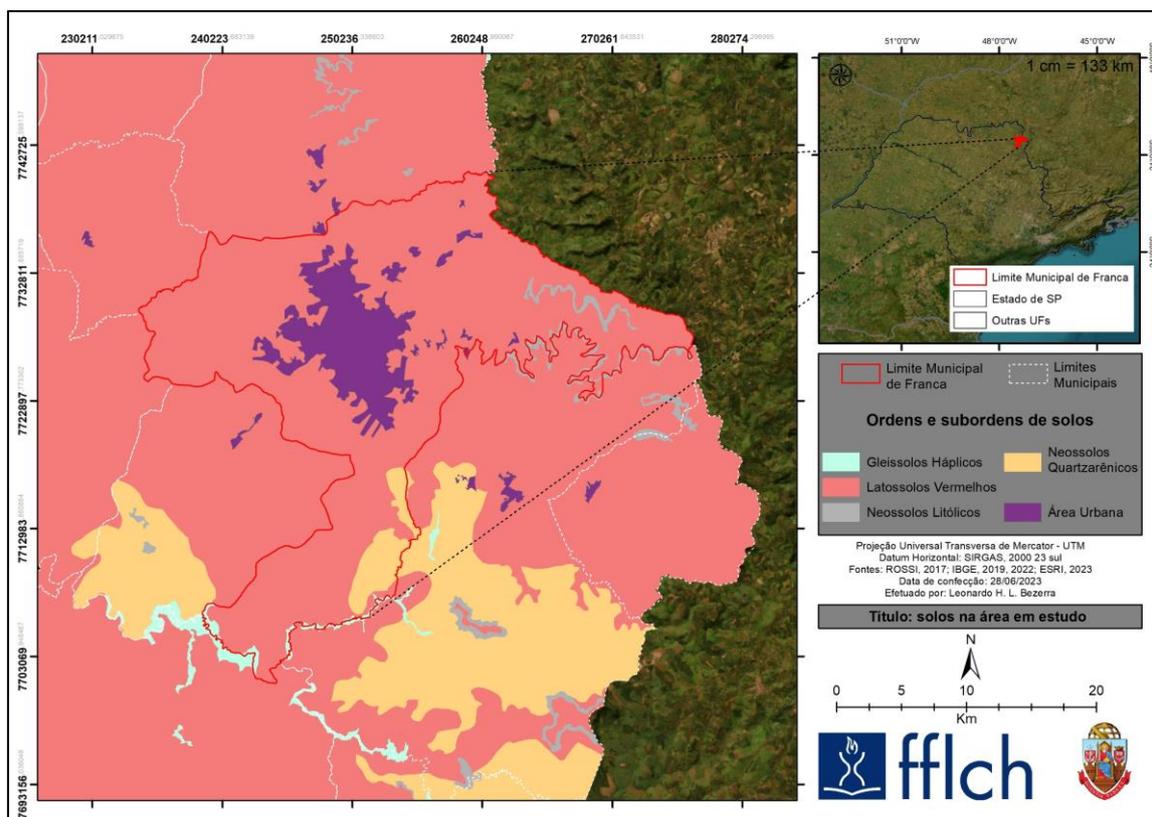
Dentre as características do Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto as altitudes se apresentam entre 650 a 860 metros. Este Tipo de Relevo que dominam as faixas norte e nordeste do município em estudo, bem como, circundam completamente o Tipo de Relevo descrito anteriormente. As

colinas apresentam-se de formas amplas, baixas e as declividades também ficam entre 10 e 20%. Em relação a matriz de índices de dissecação de relevo, são exatamente iguais aos Planaltos Residuais de Batatais-Franca.

### **5.2.1.3 Pedologia**

A história dos mapeamentos pedológicos do Estado de São Paulo passa pelo trabalho genérico e de base findada exclusivamente nas litologias (material de origem) publicado por Setzer no ano de 1949 e no trabalho com base na textura do solo de Paiva Neto *et al.* (1951). Contudo, no ano de 1999, utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) foi produzido o robusto mapa pedológico do Estado de São Paulo por Oliveira *et al.* (1999) na escala de 1:500.000 que apresentou 387 unidades de mapeamento. Apesar do trabalho de Oliveira ter atendido a demanda de sua época, houve, com o tempo a necessidade de atualização deste trabalho e de um produto com maior nível de detalhamento. Neste sentido, no ano de 2017 partindo de uma reconfiguração deste trabalho, na escala de 1:250.000 e 1:100.000 e com a adição de mais 83 trabalhos, foi publicado o mapeamento pedológico do Estado de São Paulo elaborado por Rossi (2017) que pode ser observado na Figura 14. Nota-se que de acordo com esta fonte, há duas ordens de solos na área de estudo: Neossolos e Latossolos.

Figura 14 - Solos presentes na área em estudo.



Fonte: ROSSI (2017). Elaborado pelo autor.

Os Neossolos presentes na área de estudo são de sub-ordem “Quartzarênica”. Estes solos apesar de terem pouca presença dentro do município, tem presença considerável no entorno da área em análise, estendendo-se sobre o sul dos Planaltos Residuais de Batatais-Franca e na porção central dos Planaltos em Patamares de Ribeirão Preto. Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, ausentando-se nesta ordem, um horizonte diagnóstico ou pedogenizado. São solos minerais com menos de 20 centímetros (cm) de espessura. A subordem quartzarênica denota a ausência de um contato lítico (até 50 cm de profundidade), e a existência de textura arenosa ou mesmo areia franca em todos os horizontes do solo. Estes são, em essência, quartzosos com teor de areia igual ou superior a 95% com a quase ou completa ausência de minerais primários alteráveis. Ao norte do município averigua-se a diminuta presença de Neossolos Litólicos, que se tratam também de solos minerais não hidromórficos, normalmente em localidades de afloramentos rochosos. Em períodos pretéritos, na ciência pedológica, esta classe fora chamada de “areias

quartzozas” (Curi *et al.*, 2017).

Como se pode observar na Figura 14, a classe dos Latossolos domina praticamente toda a área em estudo, somente se ausentando na porção sudeste do recorte e abrangindo grandes partes de todos os tipos de relevo presentes na área em estudo. Esta classe de solo carrega consigo a definição de que são, via de regra, solos bem desenvolvidos, profundos e altamente intemperizados (em sua maioria muito lixiviados), homogêneos na transição entre os horizontes, tendo horizonte Bw (latossólico) como diagnóstico. Tem potencial hidrogeniônico (pH) ácido, que necessita de tratamento com calcário quando se deseja utilizá-los para plantio. Apesar da acidez e relativa baixa concentração de nutrientes quando comparados a outras classes de solos, os Latossolos são amplamente utilizados na agricultura extensiva por sua reconhecida “fertilidade física”, pois são as propriedades físicas que facilitam o uso agropecuário: macro e micro porosidade, retenção de água, declividade, estabilidade, capacidade de (micro) agregação. Geralmente apresentam blocos angulares e subangulares, que se desfazem em estrutura microagregada, de forma que sua estruturação é conhecida popularmente como “pó de café”. Por ter essas condições, os Latossolos facilitam a utilização de maquinário para grandes produções (SANTOS, 2018; BUOL, 2011; BIGHAM, FITZPATRICK & SCHULZE, 2002).

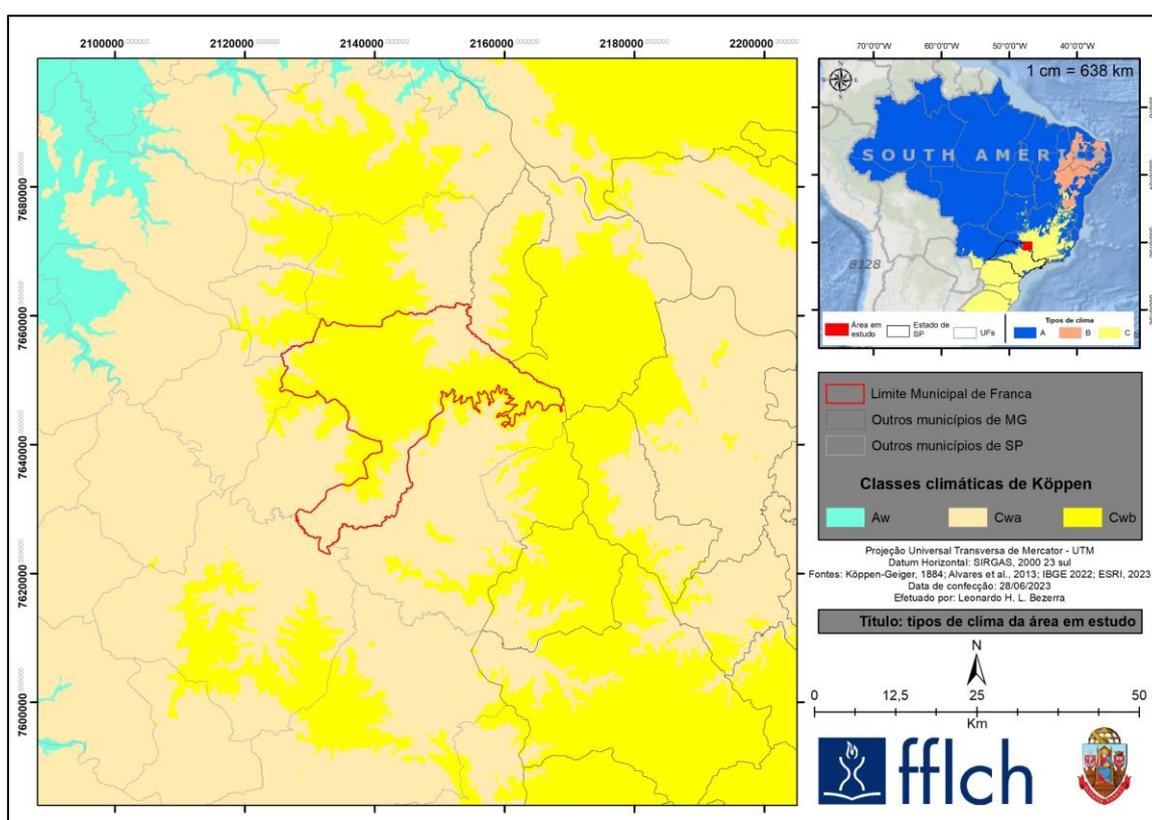
O Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos presentes na área em estudo tem presença de  $Fe_2O_3$ , com grande quantidade de Fe (III) (férico), que são formados em condições aeróbicas com boa drenagem. O Fe (III), presente na estrutura cristalina (principalmente de hematitas e goethitas), possui alta capacidade de pigmentação. A presença de hematita, de cor vermelha quando na fração argila, pode proporcionar uma coloração avermelhada nos Latossolos Vermelhos mesmo quando em pequenas proporções. Os Latossolos Vermelho-Amarelos diferenciam-se dos Vermelhos pela formação em condições de maior retenção de água (menor drenagem), com a formação em maiores quantidades de óxidos mais hidratados, como a goethita, de cor amarela (Bigham *et al.*, 2002).

Por fim, ao sul do município, no contato entre Planaltos Residuais de Batatais-Franca e dos Planaltos em Patamares de Ribeirão Preto é possível averiguar a presença de Gleissolos Háplicos às margens do rio Sapucaí. Estes solos também podem ser observados ao norte do município, às margens do rio



climática de tipo “Cwb” (Subtropical úmido com verão quente e temperado) em contato com os tipos “Cwa” (Subtropical úmido com verão quente e seco) a leste/sul e “Aw” (Clima de Savana com inverno seco) a oeste. Contudo, mais recentemente, a respeito da configuração climática brasileira, Alvares *et al.* (2013) situam a região de Franca sob a ação dos tipos de climas Cwa e Cwb, conforme demonstrado na Figura 16. Ainda, a Noroeste do município, é possível averiguar a presença de clima Aw, característico do Centro-Oeste brasileiro.

Figura 16 - Unidades climáticas da área de estudo



Fonte: Alvares et al. (2013). Organizado pelo autor.

Em ambos os mapeamentos, o tipo de clima na região se dá entre o contato entre Cwb e Cwa. Estes dois tipos de clima são influenciados pelas monções e somente se diferenciam pelo verão, em que no Cwa é quente e no Cwb é frio<sup>16</sup>. O clima Cwb, que ocupa grande parte da região estudada, é muitas vezes descrito como “clima marítimo” ou “temperado oceânico”, sendo comum

<sup>16</sup> Pela robustez dos dados utilizados, o trabalho de Rolim contém maior acurácia a respeito das variáveis climáticas básicas (temperatura, pluviometria e etc).

nas costas continentais de latitudes médias e caracterizado por temperaturas máximas médias dificilmente superiores a 22°C. Ambos os tipos climáticos (Cwa e Cwb) possuem temperaturas mínimas dificilmente menores que 8 °C e as máximas não ultrapassam 29 °C.

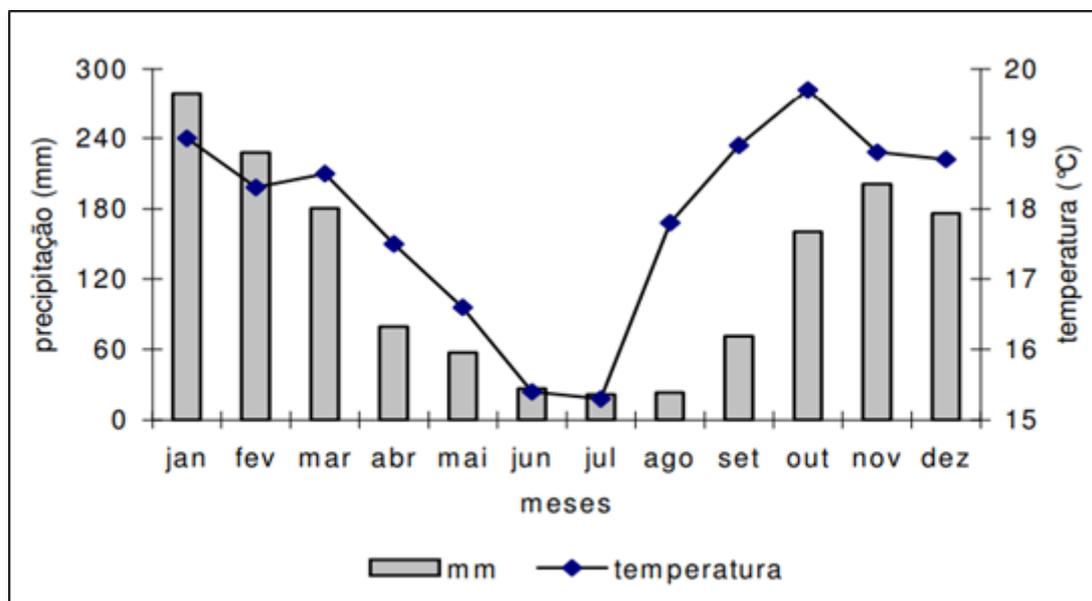
Segundo Rolim, o mês mais frio na região de Franca-SP terá média superior a 18 °C e o mês mais seco terá um total pluviométrico superior a 30mm. Neste sentido, Cavalcanti *et al.* (2009) revela uma larga amplitude térmica que em certos casos, as temperaturas podem oscilar até mais de 20°C em menos de 24 horas. O autor ainda revela que toda a região de Franca-SP tem temperaturas médias anuais perto de 21 °C e que a precipitação média anual fica entre 750 e 950 mm<sup>17</sup>.

Na distribuição pluviométria ao longo do ano (Figura 17), verifica-se que o ano hídrico inicia em setembro. O período de chuva ocorre entre de outubro e março, sendo janeiro o mês mais chuvoso (ultrapassando 250 mm). O período mais seco ocorre entre os meses de abril a setembro, sendo junho e julho os meses mais secos, podendo, inclusive, haver ocorrência de escassez hídrica (ENDREES *et al.* 2006).

---

<sup>17</sup> Conforme os dados da EMBRAPA, DAEE e INMET.

Figura 17 - Distribuição das médias mensais da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação (mm) do município de Franca no ano de 1990



Fonte: Endres *et al.* (2006).

Conforme a Figura 17, os meses mais frios coincidem com os meses mais secos (característica de clima Cwb), com aumento das temperaturas após o mês de julho, tendo o ápice das temperaturas em outubro (próximas as  $20^{\circ}\text{C}$ ). Após agosto, as temperaturas diminuem gradualmente até os meses de junho. Ainda, considerando os dados de Endres *et al.* (2006), é possível averiguar a amplitude térmica mencionada anteriormente por Cavalcanti na transição entre a estação seca e a chuvosa, quando as médias sobem de  $15^{\circ}\text{C}$  em média no mês de julho para acima de  $19^{\circ}\text{C}$  em média no mês de outubro.

Por fim, o clima Aw, dominante ao noroeste do município de Franca, é comumente descrito como clima de “savana”. Neste tipo de clima, as temperaturas médias ficam em torno de 16 e  $18^{\circ}\text{C}$ , com máximas que podem ultrapassar  $35^{\circ}\text{C}$  e mínimas que dificilmente são menores que  $10^{\circ}\text{C}$ . A precipitação anual total varia entre 1.600mm e 1.800 mm a depender da região e são concentradas no verão (principalmente entre os meses de novembro a março). No Brasil, este tipo de clima é comumente reconhecido no Centro-oeste e Centro-Leste (mas que também se estende em regiões nortenhas do país). Nas proximidades da área em estudo, o clima Aw tem temperatura média anual em de  $21,3^{\circ}\text{C}$  e pluviosidade média anual de 1.516 mm (Ventura, 1964; Antunes,

1986). O Gráfico abaixo demonstra o padrão das variáveis precipitação e umidade relativa ao longo do ano conforme a normal climática de 30 anos oriunda da Estação Meteorológica Automática (EMA) do município de Franca. Os dados deste gráfico demonstram um padrão irregular de precipitação com uma tendência de meses menos chuvosos entre abril e setembro. Contudo, fica evidente que mês de menor umidade é setembro.

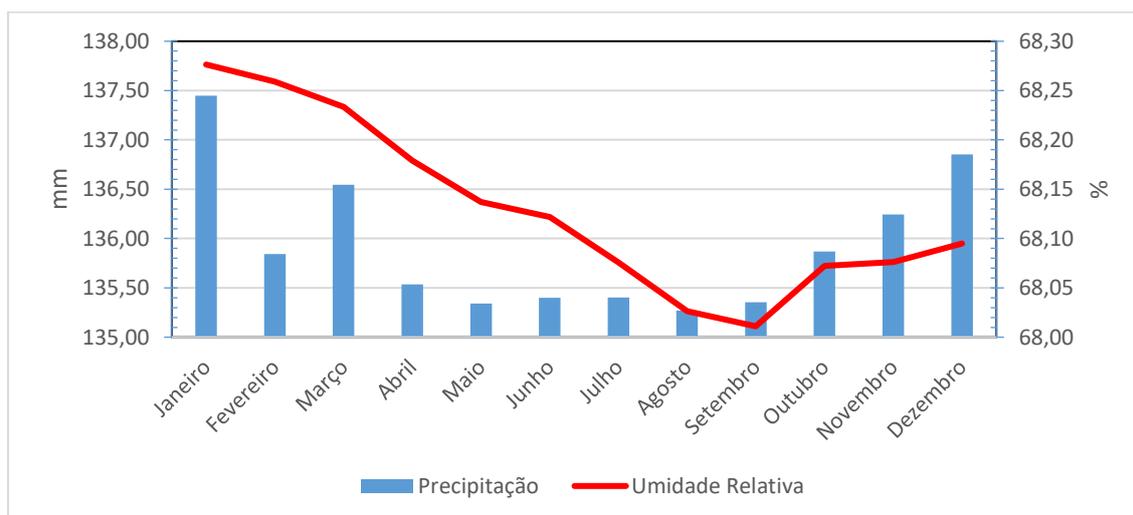


Gráfico 2. Precipitação e umidade relativa do ar ao longo de 20 anos. Fonte: INMET  
Elaborado pelo autor.

### 5.2.1.5 Vegetação e uso do solo

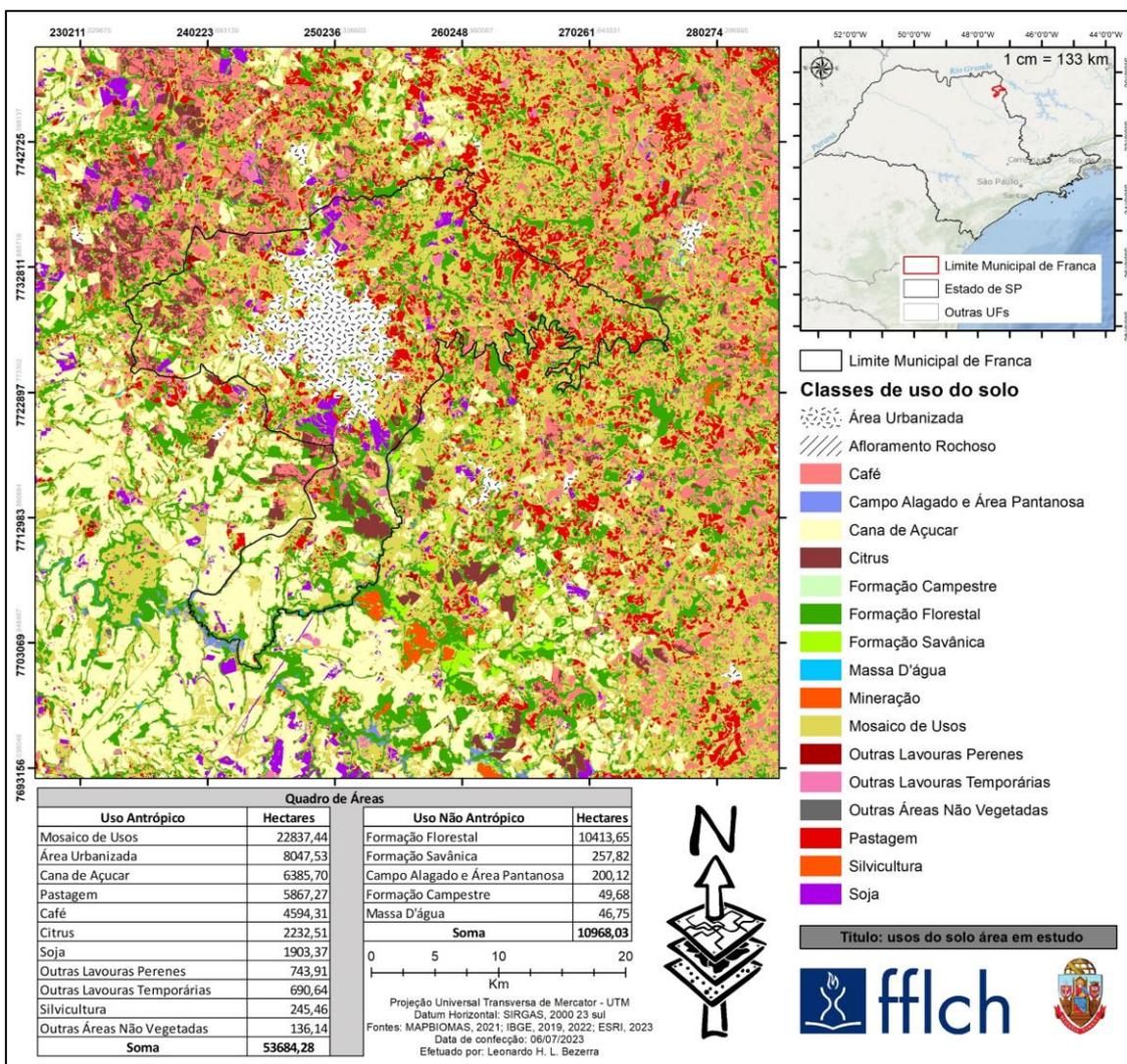
Conforme descreve Martins *et al.* (2016), os primeiros habitantes da região de Franca-SP foram os povos nativos indígenas denominados “Caiapós”. Antes do século XIX, a região foi uma importante rota de passagem para a exploração de minérios em outras partes do Centro-Oeste brasileiro. Contudo, com o fim da mineração ao final do século XVIII, houve um importante crescimento agrícola e agropecuário na região que também continuou sendo uma importante rota de passagem para o abastecimento de sal nas regiões de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso. O abastecimento de sal foi tão marcante que a rota foi denominada como “rota do sal”, e o produto apelidado foi de “sal francano”. Porém, a história da ocupação da região de Franca-SP é fortemente relacionada à produção de café, que teve início no final do século XIX, quando, no referido período, a economia de Franca baseava-se neste tipo de cultura, e, ainda no século XVII a região tornou-se importante rota para as minas de Vila

Boa em Goiás (ANDRADE, S.M. & CAMARÇO, P.E.N. 1980).

No final do século XVIII, especificamente em 1887 foi inaugurada a ferrovia denominada “Estrada de Ferro da Mogiana”, ferrovia esta que foi fator impulsionante para a pujância da cafeicultura da região (TOSI *et al.*, 2007). Neste período, ao fim do século XVIII e início do século XIX, Teodoro (2006) comenta que o município de Franca não tinha muitos latifundiários, e que a maior propriedade rural no ano de 1901 tinha somente 185.000 pés de café, portanto, a quantidade de pequenas propriedades na região era uma característica do município. Em meados do século XIX, entre os anos de 1950 e 1956, com as novas instalações de cortumes a indústria primária de calçados ganha vigor na região que chegou a ser conhecida como a “capital dos calçados” (TOSI, 2003).

Ao final do século XIX e início do século XXI, o desenvolvimento de Franca-SP se aproximou cada vez mais dos diversos tipos agricultura para além da cafeicultura, como por exemplo: a ascensão da cana de açúcar, da pastagem e a soja. Estes dados podem ser observados na Figura 18. A análise do uso da terra atual foi efetuada através de consulta aos dados fornecidos pelo Projeto MapBiomias.

Figura 18 - Uso da terra na área de estudo.



Fonte: MapBiomias (2021).

Conforme demonstrado na Figura 18, o município de Franca tem a maior parte de sua área com o uso antropizado, visto que a soma das áreas antropizadas (considerando todos os tipos de agricultura e a área urbana) é de 53.684,28 ha. As outras áreas classificadas como não antropizadas (formações florestais, campestres e massas d'água) somam 10.968,03 ha.

Ainda, nota-se que a cultura de café já não é mais a principal atividade econômica de Franca, visto que, dentro do município e dentre os usos antrópicos, o café é a quinta classe em termos de área utilizada (4.594,31 ha), atrás da pastagem (5.867,27 ha), cana de açúcar (6.385,70 ha), das áreas de mosaico de usos (22.837,44 ha) que dominam o uso da terra alternativo ao

urbano na área de estudo. A área urbanizada (8.047,53 ha), por sua extensão, demonstra como a região de Franca é um polo urbano considerável.

As poucas áreas de vegetação presentes são em sua maioria de Formação Florestal (10.413,65 ha), normalmente associadas aos cursos d'água (matas de galeria). A formação savânica, que normalmente denota áreas de Cerrado, não alcançam 300 ha, e as campestres não chegam a 50 ha. Nas áreas circundantes ao município observa-se uma transição de nordeste para sudoeste, sendo possível observar a nordeste a maior presença de áreas ocupadas por pastagens e agricultura, e a sudoeste maior ocupação por plantios de cana de açúcar. Por fim, restam poucas áreas com vegetação remanescente no entorno do município, e destas, a maior presença é de formação florestal, com pequenas manchas de formações savânicas ao sul do município.

## **5.2.2 Análise dos Dados Climatológicos**

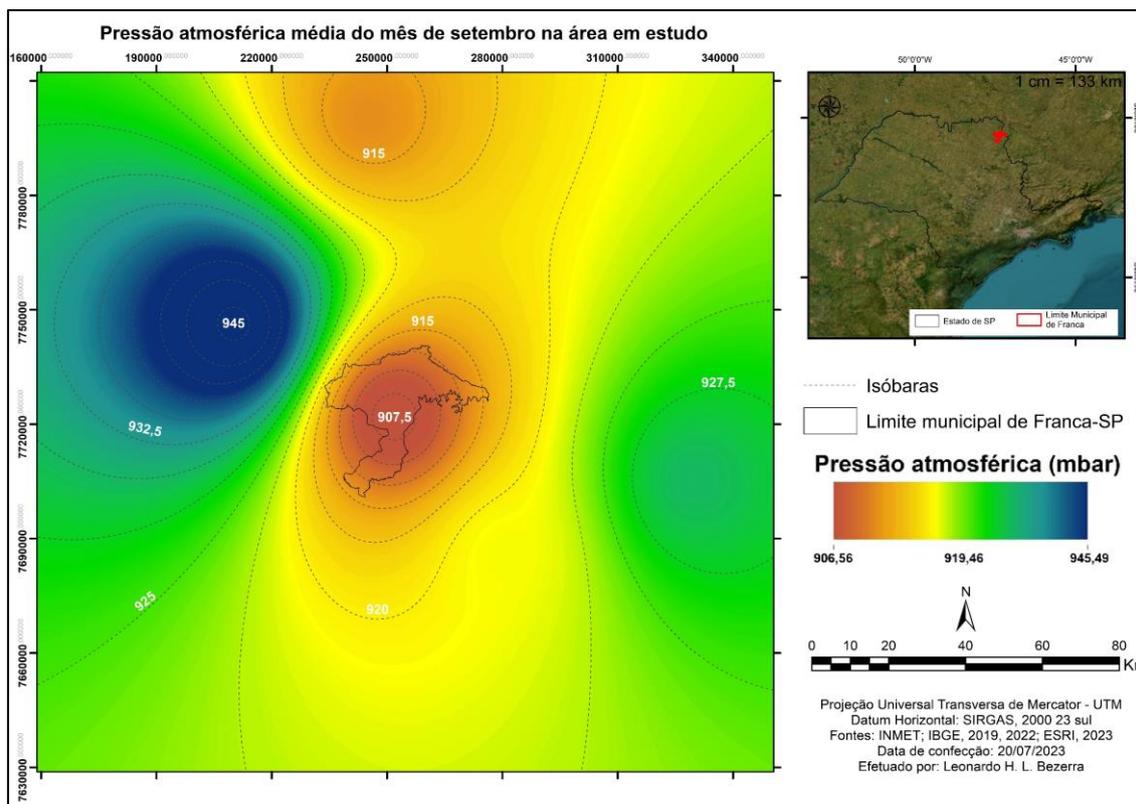
Como mencionado anteriormente, os dados foram organizados e espacializados em duas escalas temporais, uma de menor detalhe (mensal) e outra de maior detalhe (anual). Para fins de comparação, estes serão apresentados separadamente. Posteriormente, são analisados os dados produzidos em maior escala de detalhe (horária), para que a análise destes seja efetuada de modo comparativo aos dados anteriormente apontados.

### **5.2.2.1 Resultados mensais**

A primeira variável analisada é a pressão atmosférica média. As médias da pressão atmosférica para o mês de setembro das estações analisadas para esta pesquisa variam entre 906,56 e 945,50 milibares (mbar) conforme demonstrado na Figura 19 e Quadro 7. Deste modo, nota-se que é comum que na área do município de Franca se tenha uma região de baixa pressão, com valores que ficam entre 907,2 e 915,0 mbar. Ao norte de Franca, a estação de Sacramento-MG apresenta também um setor de baixa pressão atmosférica se comparada às médias mensuradas pelas estações de Passos-MG e Ituverava-SP. Ao leste de Franca, a estação de Passos-MG mensurou valores que ficam entre 228,8 e 924 mbar. Por fim, nota-se que os maiores valores foram mensurados pela estação de Ituverava-SP (setor que demarca pressão

atmosférica entre 935,2 e 945 mbar), localizada a oeste do município de Franca.

Figura 19 - Pressão atmosférica média mensal na área em estudo.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

Quadro 7 - Valores absolutos de pressão atmosférica média mensal na área em estudo.

| Pressão atmosférica média para o mês de setembro |                          |                       |                           |   |
|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Franca - SP<br>(A708)                            | Ituverava - SP<br>(A753) | Passos - MG<br>(A516) | Sacramento - MG<br>(A525) | São Sebastião do Paraíso -<br>MG (A651) |
| 906,56   | 945,50                   | 929,88                | 913,67                    | 920,93                                  |

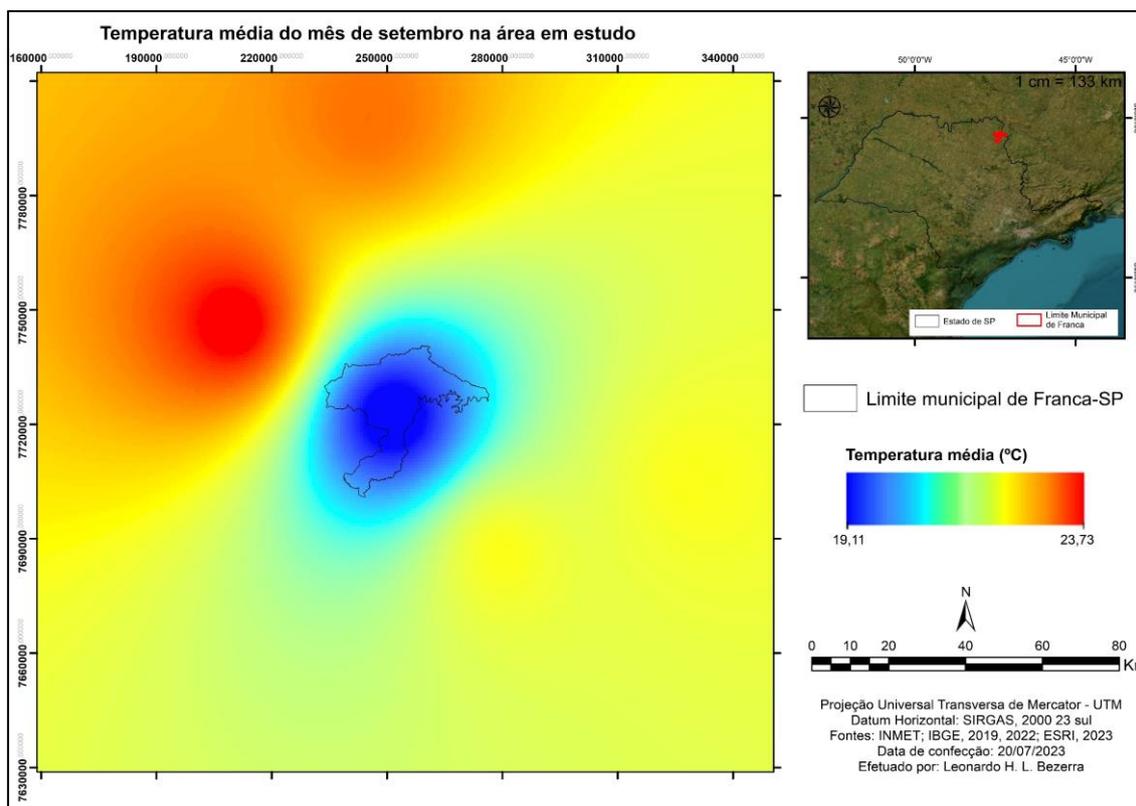
Fonte: INMET

Deste modo, conforme demonstrado na Figura 19, nota-se que a localização do evento de nuvens de poeira é no mês em questão tem, comumente, uma região de baixa pressão atmosférica, ou seja, uma região que atrai ventos das regiões circundantes de alta pressão atmosférica. E, justamente por este cenário (setor circundado por áreas de maior pressão atmosférica tanto a leste com a oeste), é esperado um ambiente propício à formação de ciclones (Fan *et al.*, 2017). Ao considerar a posição das EMAs de Franca e Ituverava, ter-

se-á uma diferença de 38,94 mbar em uma distância de 47,94 km (em linha reta), ou seja: uma média de aumento de pressão atmosférica em direção a Franca de 0,81 mbar/km. Entre as estações de Franca e Passos a distância em linha reta é de 80 km, e conforme os valores demonstrados na tabela acima, ter-se-á uma média de aumento de pressão de em direção a Franca 0,19 mbar por quilômetro (de Franca-SP a Passos-MG). Isto posto, é coerente afirmar que a região de Franca é propícia a receber ventos de todas as direções por se tratar de um núcleo de baixa pressão atmosférica, e, considerando o centro de alta pressão à noroeste, ter-se-á maior tendência para anticiclones divergentes anti-horária descendentes com as maiores as rajadas vindas preferencialmente de noroeste.

A Figura 20 demonstra a média das temperaturas mensais na região em estudo. Fica evidente que a região de Franca, é, no mês em questão, consideravelmente mais quente que as localidades de seu entorno, pois, conforme demonstrado na Tabela 5, a EMA de Franca registrou uma média de 19,11 °C, enquanto a EMA de Ituverava registrou uma média de 23,73 °C. É notável que, neste caso, entre Ituverava e Franca, haja uma diferença de 4,62 °C em uma distância de 47,94 km. Deste modo, ao se deslocar de Franca em direção a Ituverava, há, em um aumento de temperatura médio de 0,09 °C a cada quilômetro.

Figura 20 - Temperatura média mensal na área em estudo.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

As demais estações também registraram para o mês de setembro temperaturas mais altas que a temperatura média de Franca. Em direção a sudeste, a estação de Passos-MG, registrou (conforme a Tabela 5), uma média mensal de 22,14 °C, logo, 3,03 °C mais quente que Franca. Sacramento-MG tem uma temperatura média mensal de 23,12 (4,01 °C mais quente que Franca). Por fim, São Sebastião do Paraíso-MG registrou uma média de 22,15 °C sendo, portanto 3,04 °C mais quente que Franca.

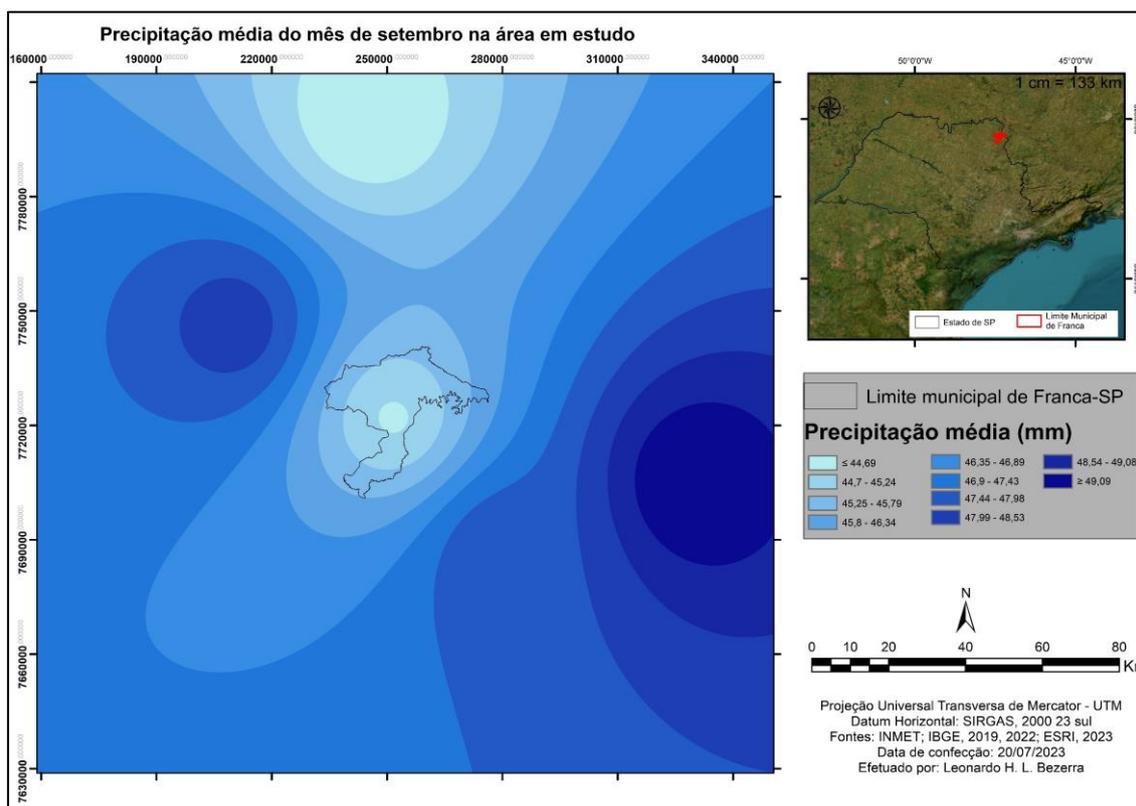
Quadro 8 - Valores absolutos de pressão temperatura média mensal na área em estudo.

| Temperatura média para o mês de setembro (°C) |                          |                       |                           |   |
|---|--------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Franca - SP<br>(A708)                         | Ituverava - SP<br>(A753) | Passos - MG<br>(A516) | Sacramento - MG<br>(A525) | São Sebastião do Paraíso -<br>MG (A651) |
| 19,11   | 23,74                    | 22,14                 | 23,12                     | 22,15                                   |

Fonte: INMET

A média pluviométrica para a região do município de Franca-SP, conforme os dados mensurados pelas estações selecionadas para o mês de setembro, é de 44,63 (mm), conforme demonstrado na Figura 21 e a Quadro 9.

Figura 21- Precipitação média mensal na área em estudo.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

Quadro 9 - Valores absolutos de precipitação média mensal na área em estudo.

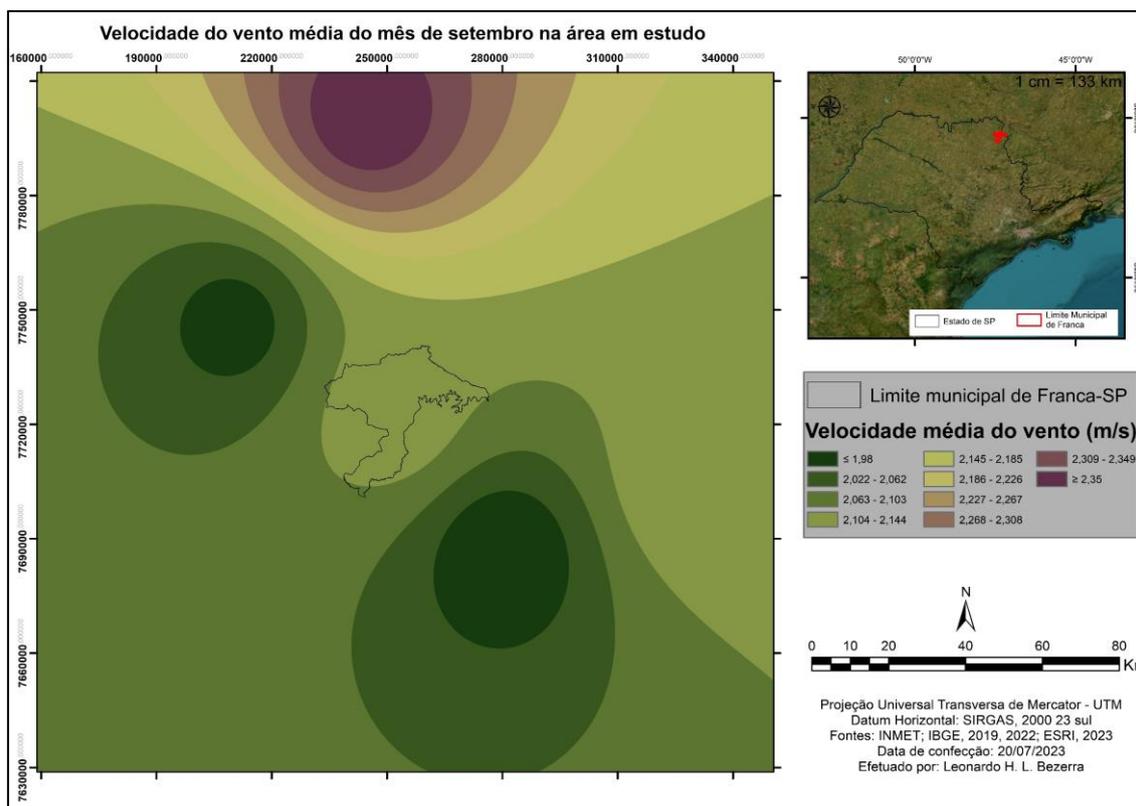
| Precipitação média para o mês de setembro (mm) |                          |                       |                           |   |
|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Franca - SP<br>(A708)                          | Ituverava - SP<br>(A753) | Passos - MG<br>(A516) | Sacramento - MG<br>(A525) | São Sebastião do Paraíso -<br>MG (A651) |
| 44,63  | 48,31                    | 49,63                 | 44,14                     | 47,90                                   |

Fonte: INMET.

Em toda a área em análise observou-se-se uma pequena diferença de valores, visto que a menor média de precipitação se dá ao norte do município de Franca, próximo ao município de Sacramento-MG que tem média pluviométrica menor que 45,00 mm. O setor com maior média pluviométrica é ao sudeste do município de Franca-SP, no município de Passos – MG, onde a média pluviométrica é maior que 49,63 mm. Deste modo, nota-se que a área da ocorrência do fenômeno de nuvens de poeira se dá em um setor de transição entre uma área de menor média pluviométrica (norte) e uma área de maior média pluviométrica (sudeste). Em linha reta, a distância dentre as EMAs de menor e maior média pluviométrica (Sacramento-MG e Passos-MG) é de 127,51 km. Deste modo, ao dividir a diferença das médias pluviométricas pela distância, ter-se-á um aumento médio na pluviometria entre as regiões de 0,04 mm por quilômetro.

Ao se observar a velocidade média dos ventos na Figura 22 e Quadro 10, nota-se que a maior velocidade dos ventos, em média, fica ao norte da área em estudo, pois os registros de maiores velocidades médias dos ventos se deu pela EMA de Sacramento-MG (2,39 m/s). Contudo, observa-se que não há grande amplitude nas médias das velocidades, visto que a diferença entre a menor e a maior velocidade média é de 0,41 m/s.

Figura 22 - Velocidade do vento média mensal na área em estudo.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

Quadro 10 - Valores absolutos de velocidade do vento média mensal na área em estudo.

| Velocidade do vento média para o mês de setembro |                          |                       |                           |   |
|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Franca - SP<br>(A708)                            | Ituverava - SP<br>(A753) | Passos - MG<br>(A516) | Sacramento -<br>MG (A525) | São Sebastião do Paraíso<br>- MG (A651) |
| 2,13   | 2,00                     | 2,14                  | 2,39                      | 1,98                                    |

Fonte: INMET

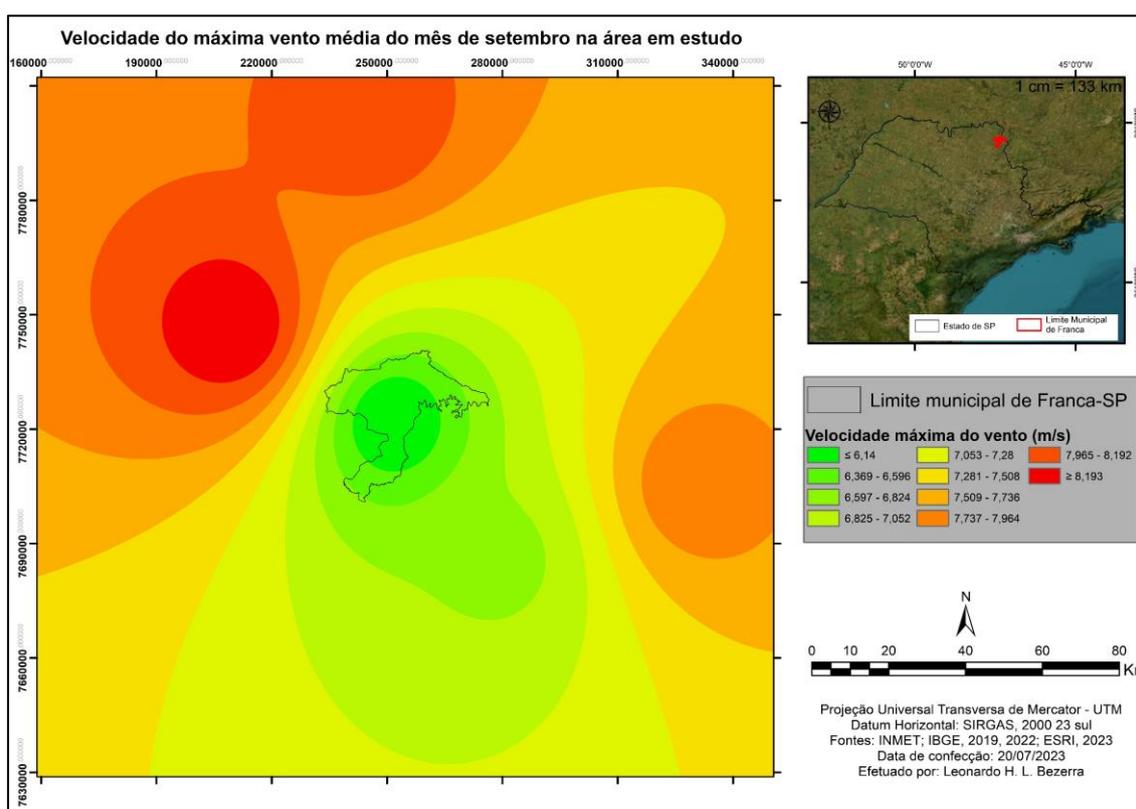
Conforme pode ser averiguado na Figura 22 e Quadro 10, a EMA da área em estudo, Franca-SP, registrou velocidades médias do vento de 2,13 m/s, não muito inferior ao maior valor registrado entre as estações em estudo - EMA de Sacramento-MG (uma diferença de 0,26 m/s). A estação de Ituverava-SP registrou curiosamente o valor exato de 2,0 m/s, a EMA de Passos-MG registrou 2,14 m/s e São Sebastião do Paraíso-MG mensurou uma média de 1,98 m/s.

Ao analisar a Figura 23 é lógico afirmar que a região da área em estudo

tem velocidades médias dos ventos que sem enquadram no contexto regional (da escala deste estudo), portanto tem velocidades médias que não se distanciam muito de 2 m/s.

As velocidades máximas médias dos ventos têm valores mais alargados e padrão que se se assemelha, em termos de espacialização, das variáveis descritas anteriormente, como demonstrado na Figura 23 e Quadro 11.

Figura 23 - Velocidade máxima média do vento média mensal na área em estudo.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

Quadro 11 - Valores absolutos de velocidade máxima média do vento média mensal na área em estudo.

| Velocidade máxima média para o mês de setembro |                          |                       |                           |   |
|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Franca - SP<br>(A708)                          | Ituverava -<br>SP (A753) | Passos - MG<br>(A516) | Sacramento -<br>MG (A525) | São Sebastião do Paraíso<br>- MG (A651) |
| 6,14   | 8,42                     | 7,90                  | 8,13                      | 6,75                                    |

Fonte: INMET.

A localização do evento de nuvens de poeira tem por padrão, ao longo da média dos anos analisados, ventos de menores velocidades que o entorno: entre 6,5 a 7 m/s. A leste do município de Franca, a EMA de Passos registrou rajadas de ventos maiores, entre 7,6 e 79 m/s, contudo, não são as maiores velocidades registradas entre as estações selecionadas. A norte e nordeste de Franca, observou-se as maiores médias de velocidades máximas, em Sacramento a média absoluta é de 8, 13 m/s e em Ituverava a média é superior a 8 m/s.

Conforme demonstrado no **Quadro #** abaixo, a condição de ventos descrita como “Calmaria” ocorre por dozes vezes, sendo nove vezes até o ano de 2009. Esta classificação é utilizada para descrever que a estação não captou ventos fortes o suficiente para acusar uma direção predominante. Os ventos predominantemente de Nordeste foram demarcados igualmente em doze anos, em intervalos irregulares. Os ventos com direção predominante de Leste foram registrados em seis anos, e somente no ano de 2019 a direção predominante do vento para o mês de Setembro foi de Oeste-Sudoeste. No ano de 2021 (ano do fenômeno da nuvem de poeira), a direção predominante do vento no mês de setembro foi de Leste, diferenciando-se da moda observada para todos os anos anteriores (Calmaria ou Nordeste).

Quadro 12 - Direção predominante do vento no mês de Setembro entre os anos de 1991 a 2021.

| <b>Mês</b> | <b>Ano</b> | <b>Direção Predominante do vento</b> | <b>Mês</b> | <b>Ano</b> | <b>Direção Predominante do vento</b> |
|------------|------------|--------------------------------------|------------|------------|--------------------------------------|
| Setembro   | 1991       | Calma                                | Setembro   | 2006       | Nordeste                             |
| Setembro   | 1992       | Nordeste                             | Setembro   | 2007       | Leste                                |
| Setembro   | 1993       | Calma                                | Setembro   | 2008       | Nordeste                             |
| Setembro   | 1994       | Calma                                | Setembro   | 2009       | Calma                                |
| Setembro   | 1995       | Leste                                | Setembro   | 2010       | Calma                                |
| Setembro   | 1996       | Calma                                | Setembro   | 2011       | Nordeste                             |
| Setembro   | 1997       | Calma                                | Setembro   | 2012       | Leste                                |
| Setembro   | 1998       | Calma                                | Setembro   | 2013       | Leste                                |
| Setembro   | 1999       | Leste                                | Setembro   | 2014       | Nordeste                             |

|          |      |          |          |      |                |
|----------|------|----------|----------|------|----------------|
| Setembro | 2000 | Nordeste | Setembro | 2015 | Nordeste       |
| Setembro | 2001 | Nordeste | Setembro | 2016 | Calma          |
| Setembro | 2002 | Calma    | Setembro | 2017 | Nordeste       |
| Setembro | 2003 | Calma    | Setembro | 2018 | Nordeste       |
| Setembro | 2004 | Calma    | Setembro | 2019 | Oeste Sudoeste |
| Setembro | 2005 | Nordeste | Setembro | 2020 | Nordeste       |
|          |      |          | Setembro | 2021 | Leste          |

Fonte: INMET (2023).

### 5.2.2.2 Condições climáticas no momento do evento

Neste tópico são detalhadas as condições das variáveis climatológicas consideradas chave, pois auxiliam na compreensão das causas do fenômeno de nuvens de poeira. Abaixo são apresentadas as condições de temperatura e pressão, umidade/pluviometria e velocidade do vento, rajadas máximas do vento e direção do vento. Estas variáveis são analisadas desde duas horas antes do evento, o horário do evento (17 horas do dia 26 de setembro de 2021) e duas horas após a ocorrência do evento.

### 5.2.2.3 Temperatura e pressão atmosférica

Como pode ser averiguado na Figura 24 e Quadro 13, na região de Franca-SP a temperatura às 15 horas sofreu aumento registrando o dado de 27,05 °C (entre Franca e Ituverava), com gradiente positivo de 0,08°C/Km no sentido Noroeste. Ainda considerando a Figura 24, é possível averiguar uma faixa de contato nitidamente demarcada (de coloração esverdeada) entre as duas massas, sendo uma mais fria no setor Sudeste (região do município de Passos-MG) e outra mais quente à Noroeste (região do município de Ituverava-SP). Neste horário a pressão atmosférica teve variação espacial acompanhando a temperatura, com 1017,00 milibares (mbar) às 15hs na região próxima à estação de Ituverava, e 1015,39 mbar nas áreas periféricas do município. Em Franca, observou-se que a pressão atmosférica neste horário ficou em valores próximos a 1020,00 mbar. Comparando os resultados obtidos para as EMAs dos municípios citados e entornos, é sensato afirmar que o município de Franca teve às 15 horas um núcleo de maior pressão que o seu entorno, cenário este propício

a eventos anticiclônicos.

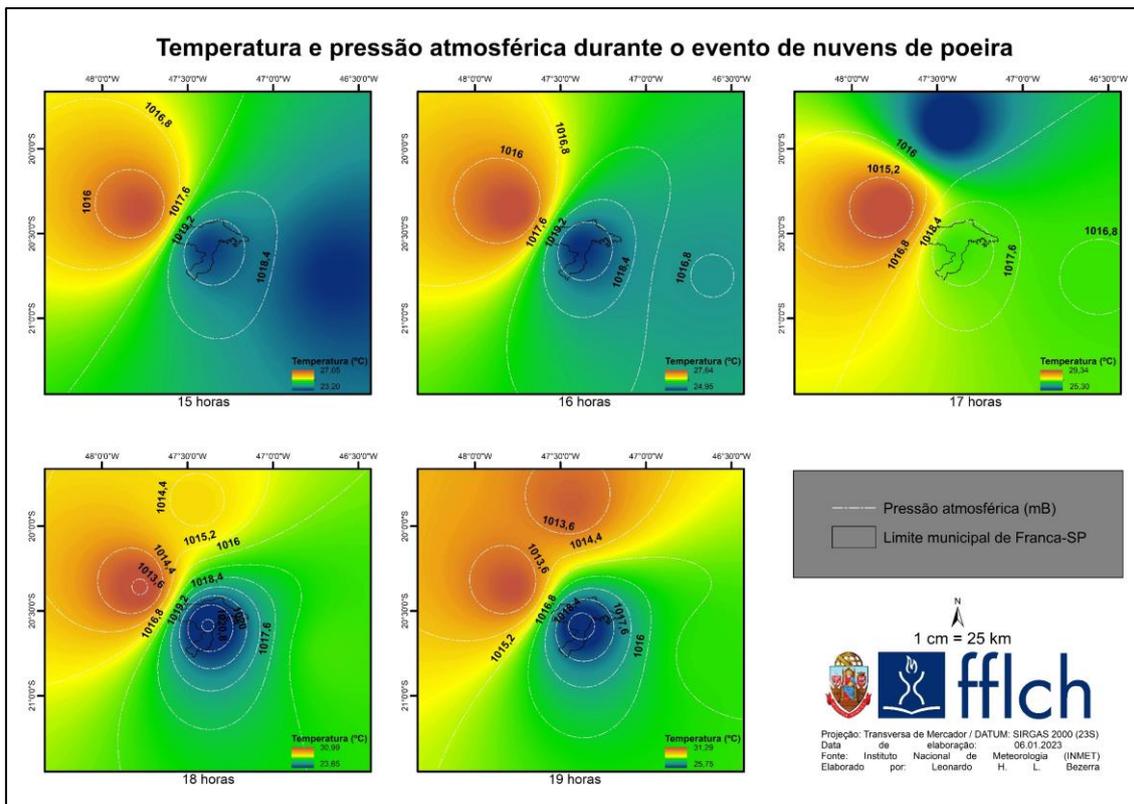
Às 16 horas houve um aumento diminuto na temperatura da região de Ituverava, pois a EMA anotou registrou 27,65 °C (um aumento de 0,60 °C em relação a hora anterior). Na região de Franca as temperaturas aumentaram para 24,95 °C, e, em passos a temperatura registrada foi de 25,45 °C. Com o pequeno aumento da temperatura da região de Ituverava, observou-se a diminuição da pressão registrada e pela A753 praticamente não mudou, pois registrou uma pressão atmosférica de 1015,21 mbar (um decréscimo de 0,18 mbar). Na região de Franca também se observou um decréscimo do diminuto da pressão atmosférica de 0,03 mbar. Houve, no entanto um decréscimo pouco mais considerável na pressão atmosférica de sudeste (estação A516), onde às 16 horas, observou-se a pressão atmosférica em 1016,74 mbar, demarcando um gradiente em relação a Franca-SP de 3,07 mbar, ou seja, 0,95 mbar maior que na hora anterior.

No horário do evento das nuvens de poeira, às 17 horas, (agora com o incremento dos dados da estação A525) a maior temperatura observada se deu na estação A753 que registrou 29,35 °C (um aumento de 1,70 °C em relação a hora anterior). A estação de Franca-SP (A708) registrou 27,15 °C, ou seja, um aumento de 2,20 °C em relação a hora anterior. A estação A525 demarcou a menor temperatura para o horário (25,30 °C) e a estação A516 registrou a mesma temperatura que a registrada pela estação de Franca-SP. Quanto a pressão atmosférica, a estação de A708 demarcou um decréscimo tímido em relação a hora anterior (0,61 mbar), a estação A753 registrou um decréscimo pouco mais relevante (0,69 mbar), a estação A516 demarcou a menor variação de pressão relativa ao horário antecedente (0,02 mbar). A estação A525 registrou um valor de pressão atmosférica muito próximo ao da estação A516 (106,52 mbar), conforme demonstrado no Quadro 13. Isto posto, é verificável que as 15 horas do dia 26 de Setembro de 2021, a região de Franca situava-se ao sul de um contato entre duas massas de ar distintas em termos de temperatura e pressão. Há, no horário em questão, um considerável gradiente de temperatura entre as regiões de Sacramento-MG e Ituverava-SP, uma diferença de 4,05 °C. Contudo, o maior maior gradiente na pressão atmosférica não se deu entre as estações A753 e A5525, e sim entre as estações A708 (Franca-SP) e A753 (Ituverava-SP), com um gradiente de 4,68 mbar.

Na primeira hora após o evento, as 18 horas, observou-se um aumento na temperatura maior ou menor em todas as estações meteorológicas, exceto a de Franca-SP (A708). A estação A516 demarcou um aumento diminuto em termos de temperatura em relação a hora anterior (0,10 °C). A estação ao norte (A525) registrou um aumento de 3,25 °C em relação a hora anterior. A estação A753 também demarcou um aumento na temperatura, todavia, menor (1,65 °C). A pressão atmosférica aumentou em 1,67 mbar na região de Franca, contudo, em todo o entorno do município de Franca, houve uma diminuição da pressão atmosférica em relação a hora anterior. A maior diferença entre os valores de pressão atmosférica se manteve entre Franca-SP (1020,83 mbar) e Ituverava (1013,52 mbar), ou seja, 7,35 mbar (valor ainda maior que na hora do evento).

Por fim, às 19 horas, observou-se que as temperaturas continuaram a aumentar em todas as estações, e os maiores aumentos em relação a hora anterior se deram em Sacramento – MG (2,50 °C) e Franca-SP (2,10 °C), seguidos de assos-MG (1,15 °C) e Ituverava (0,30 °C). Neste sentido, a região mais quente ainda permaneceu sendo a de Ituverava, contudo, devido a relativa estabilidade na temperatura nas duas últimas horas analisadas e o aumento nas temperaturas registradas em todas as outras estações, verificou-se menores diferenças entre as temperaturas das estações. É importante salientar que as diferenças entre temperatura, mesmo no último horário analisado, mativeram-se consideráveis em relação a Franca: 2,65 °C de Passos-MG para Franca-SP; 5,30 °C de Sacramento-MG para Franca-SP; e 5,55 °C de Ituverava-SP para Franca-SP.

Figura 24 - Temperatura e pressão no momento do evento. Elaborado pelo autor.



Fonte: INMET.

| <b>Temperatura horária (°C)</b>         |                 |                 |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Estação</b>                          | <b>15 horas</b> | <b>16 horas</b> | <b>17 horas</b> | <b>18 horas</b> | <b>19 horas</b> |
| Passos - MG (A516)                      | 23,20           | 25,45           | 27,15           | 27,25           | 28,40           |
| Sacramento - MG (A525)                  | FALHA           | FALHA           | 25,30           | 28,55           | 31,05           |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651)    | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           |
| Franca - SP (A708)                      | 23,30           | 24,95           | 27,15           | 23,65           | 25,75           |
| Ituverava - SP (A753)                   | 27,05           | 27,65           | 29,35           | 31,00           | 31,30           |
| <b>Pressão atmosférica horária (mB)</b> |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Estação</b>                          | <b>15 horas</b> | <b>16 horas</b> | <b>17 horas</b> | <b>18 horas</b> | <b>19 horas</b> |
| Passos - MG (A516)                      | 1017,72         | 1016,74         | 1016,71         | 1016,12         | 1014,98         |
| Sacramento - MG (A525)                  | FALHA           | FALHA           | 1016,52         | 1014,14         | 1013,16         |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651)    | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           |
| Franca - SP (A708)                      | 1019,84         | 1019,81         | 1019,20         | 1020,87         | 1018,65         |
| Ituverava - SP (A753)                   | 1015,39         | 1015,21         | 1014,52         | 1013,52         | 1012,92         |

Fonte: INMET.

#### 5.2.2.4 Umidade do ar e pluviometria

Na Figura 25 é demonstrada a variação na umidade relativa do ar e a pluviometria nas horas próximas ao evento de nuvens de poeira e como se pode observar, não houve precipitação nas horas antecedentes ao evento. Contudo, havia uma considerável umidade na região às 15 horas, como se pode observar no Quadro 14, a maior umidade registrada para este horário se deu em na estação A516 (52%), e a menor umidade na estação A753. A região de Franca-SP (estação A708) registrou 43% e nenhuma precipitação foi registrada. Deste modo, observa-se que a região de Franca-SP se situa entre a transição de uma zona mais úmida a leste e outra menos úmida a noroeste.

Em termos de umidade, a hora antecedente a ao evento se mostrou monótona, pois houve baixa variação entre as porcentagens de umidade registradas pelas EMAs. Ambas as estações A708 e A753 registraram 39% de umidade relativa e somente a estação de passos demonstrou um valor superior (42%). E relevante que as estações A708 e A516 demonstraram uma queda na umidade em relação a hora anterior e somente a estação A753 manteve o mesmo valor. Nenhuma precipitação foi registrada neste horário.

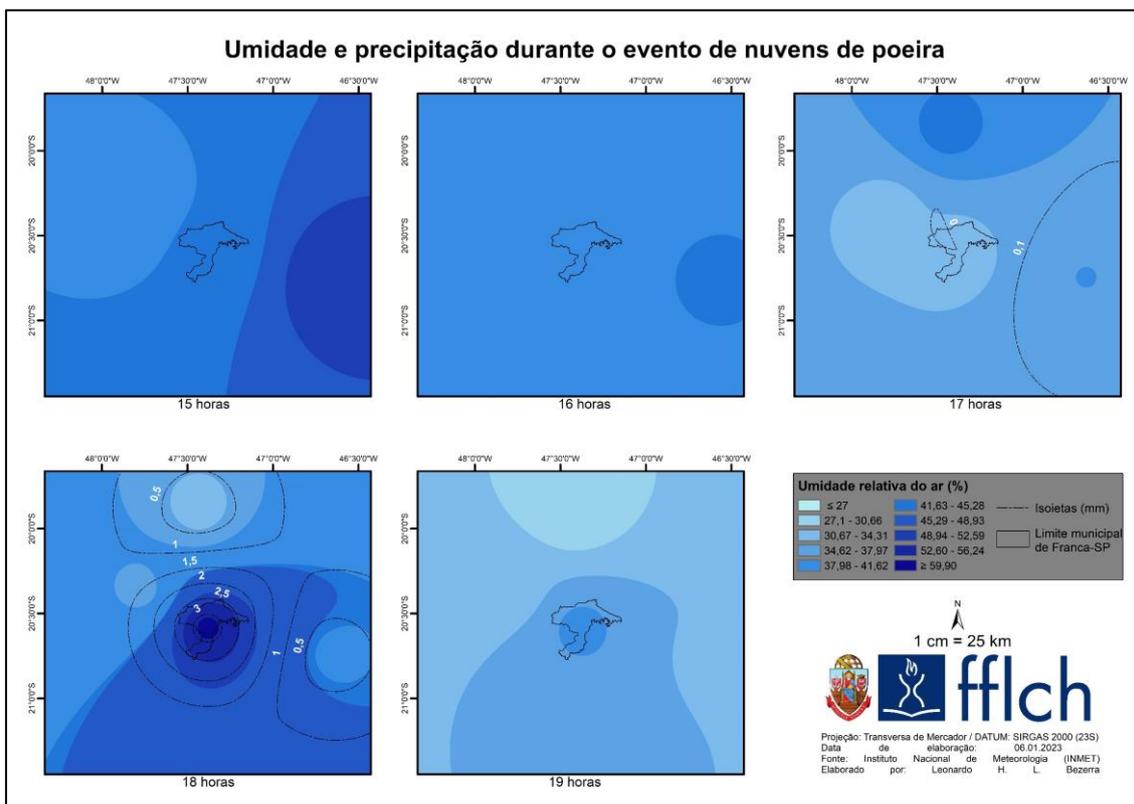
No horário do evento de nuvens de poeira houve uma considerável queda nos valores de umidade registrado por todas as estações analisadas no horário anterior, pois a estação A516 registrou o valor de 38% (4% menor que a hora anterior), a estação A708 e A753 registraram 33% (6% menor que a hora anterior). A estação A 525 demonstrou o maior valor em termos de umidade (43%), contudo, não é possível afirmar de houve ou não uma queda na umidade na região de sacramento pois os dados das horas anteriores desta estação não foram coletados. Houve um diminuto evento de precipitação na região de Passos-MG, a leste de Franca-SP, onde se verifica um valor de 0,2 mm para precipitação (Quadro 14). É notório que a região de Franca-SP e Ituverava-MG formaram um centro de menor umidade que o entorno no horário do evento de nuvens de poeira, com maior gradiente ao norte, onde se verifica uma diferença de 10% (entre Franca-SP e Sacramento-MG) em uma distância de aproximadamente 78,69 km.

Na hora seguinte ao fenômeno estudado, observou-se um aumento considerável na umidade da região de Franca-SP, que registrou 57%, o maior

valor em todos os horários analisados e um aumento de 24% em relação a hora anterior. Estação A525 demonstrou um padrão inverso, pois houve uma queda de 14% na umidade em relação a hora anterior (de 43% para 29%). A estação de A516 registrou 38% (4% a menor que a hora anterior) e a estação A 753 registrou não apresentou mudança no valor registrado em umidade. Como resultado do valor dos maiores valores de umidade registrados na estação de A708, observou-se um evento de precipitação com o valor de 3,4mm, que provavelmente se deve a uma chuva isolada, visto que não se verificou qualquer outro evento pluviométrico nas outras estações.

As 19 horas, conforme os dados demonstrados no Quadro 14 e Figura 25, nenhuma chuva foi registrada. Em termos de umidade, a estação A753 registrou os mesmos valores e todas as outras estações demonstraram valores inferiores aos da hora anterior: A708 registrou 39% (uma queda de 18%); A516 registrou 34% (uma queda de 7%); e A525 registrou 27% (uma queda de 2%).

Figura 25 - Umidade relativa do ar e pluviometria no momento do evento. Elaborado pelo autor.



Fonte: INMET.

Quadro 13 - Valores de umidade e precipitação coletados pelas EMAs em análise.

| Umidade relativa do ar horária (%)   |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Estação                              | 15 horas | 16 horas | 17 horas | 18 horas | 19 horas |
| Passos - MG (A516)                   | 52       | 42       | 38       | 41       | 34       |
| Sacramento - MG (A525)               | FALHA    | FALHA    | 43       | 29       | 27       |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651) | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    |
| Franca - SP (A708)                   | 43       | 39       | 33       | 57       | 39       |
| Ituverava - SP (A753)                | 39       | 39       | 33       | 33       | 33       |
| Pluviometria horária (mm)            |          |          |          |          |          |
| Estação                              | 15 horas | 16 horas | 17 horas | 18 horas | 19 horas |
| Passos - MG (A516)                   | 0        | 0        | 0,2      | 0        | 0        |
| Sacramento - MG (A525)               | FALHA    | FALHA    | 0        | 0        | 0        |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651) | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    |
| Franca - SP (A708)                   | 0        | 0        | 0        | 3,4      | 0        |
| Ituverava - SP (A753)                | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    |

Fonte: INMET.

### 5.2.2.5 Velocidade e direção do vento

A velocidade e a direção do vento no momento no momento do evento estudo são demonstradas na Figura 26.

Às 15 horas é verificável que todos os setores em análise demonstraram ventos com velocidades consideráveis, pois todos os registros superaram a velocidade 2,5 metros por segundo (m/s). Estas velocidades que poderiam tirar do estado de repouso as argilas, siltes e até mesmo agregados de densidade específicas conforme Cordani e Sígolo (1997). É demonstrado pelo Quadro 15 que a menor velocidade foi registrada na estação A516 (2,9 m/s) e a maior velocidade foi registrada pela estação A753 (3,7 m/s). A estação de Franca-SP (A708) registrou ventos com velocidades de 3,8 m/s. Na área em estudo, é notável que a direção do vento vem de leste (região de Passos-MG), ainda que para as 15 horas o maior gradiente de pressão era entre Franca-SP e Ituverava-SP. Conquanto, ao limite Noroeste do município de Franca-SP é observável uma

zona de confluência entre os ventos que vinham de ambas as direções: Leste e Oeste. Esta zona de encontro entre os ventos se dá justamente no contato entre as duas massas de ar de pressão atmosférica distintas demonstrada na Figura 24.

Na hora antecedente ao evento de nuvens de poeira, nota-se que o ponto de confluência dos ventos permaneceu praticamente sem alterações, contudo as velocidades dos ventos da estação de Franca-SP (A708) demonstraram um aumento de 0,5 m/s e a estação de Ituverava-SP demonstrou um diminuto aumento na velocidade do vento (0,1 m/s), fato que configurou um setor entre estas duas regiões de velocidades de vento muito parecidas, pois ambas registraram ventos com 3,8 m/s (Quadro 15). A maior alteração quanto a direção dos ventos foi avistada pela estação A516, pois os ventos que vinham praticamente de leste (77°), passaram a vir de nordeste (24°).

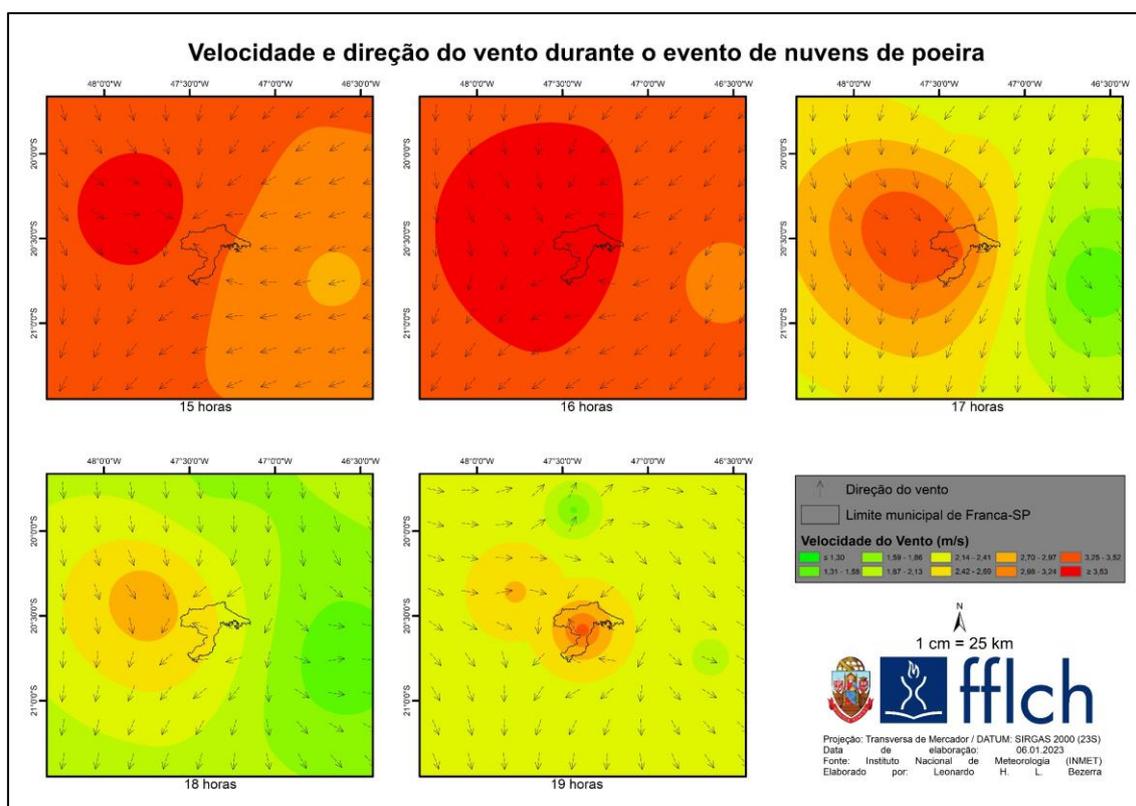
As 17 horas, no horário do evento em análise, é perceptível um padrão de diminuição das velocidades dos ventos. A estação A516 registrou ventos pouco velozes de 1,3 m/s, a estação de Franca-SP apresentou uma queda na velocidade de 0,5 m/s (agora registrando 3,3 m/s) e a estação A753 demarcou uma velocidade de 3,5 m/s. Há, neste neste horário, o incremento dos dados da estação A525 que demonstrou ventos de 2,4 m/s. É importante ressaltar que mesmo que os ventos das 17 horas não tenham sido os ventos mais velozes, as velocidades registradas pelas estações A708 e A753 são capazes de tirar materiais finos do estado de repouso e os ajustarem a um estado de suspensão. Em termos de direcionamento, o ponto de confluência dos ventos se manteve no limite noroeste do município de Franca-SP, com os ventos vindos praticamente de todas as direções, excetuando as direções sulistas. Houve mudança na direção dos ventos registrados pela estação A516 para 320°, contudo, pela distância e direção dos ventos, esta mudança pouco diz sobre o evento de nuvens de poeira ocorrido em Franca-SP.

Uma hora após o início do evento de nuvens de poeira, o núcleo de fortes ventos que sobrepusera Franca aparenta se dissipar e os ventos tendem a perder velocidade (diminuindo para 2,7 e 3,0 m/s). Entretanto, a direção do vento se altera completamente, e o não tende a vir do setor Norte e não mais de Leste. Ainda, em Franca, a região turbulenta aparenta continuar e mudar a direção do vento que por ali passa, e neste horário, os ventos que passaram por Franca

foram redirecionados em grande parte para Leste.

Conforme demonstrado no Quadro 15, mais especificamente às 18 horas, os ventos seguiram perdendo velocidade em todas as estações analisadas, como é possível averiguar, na Figura 26, velocidades mais amenas em relação as horas anteriores. A estação A708 registrou velocidades de 2,8 (reduzindo 0,8 m/s em relação a hora anterior), e a redução averiguada na estação A525 foi de 0,5 m/s, pois registrou a velocidade de 1,9 m/s. A estação A753 registrou uma redução de 0,6 m/s, demarcando a velocidade 2,9 m/s para o horário em questão e a estação A516 não demonstrou alteração na velocidade do vento. A direção dos vento que chegava a Franca-SP neste horário se alterou de Leste (116°) para Sul/Sudeste 162°. As outras estações apresentaram diminuta alteração na direção do vento e o ponto de confluência entre os ventos se manteve no setor noroeste do município de Franca-SP.

Figura 26. Velocidade e direção do vento no momento do evento. Elaborado pelo autor.



Fonte: INMET.

Quadro 14 - Valores de velocidade e direção do vento coletados pelas EMAs em análise.

| Velocidade do vento horária (m/s)      |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Estação                                | 15 horas | 16 horas | 17 horas | 18 horas | 19 horas |
| Passos - MG (A516)                     | 2,9      | 2,8      | 1,3      | 1,3      | 1,9      |
| Sacramento - MG (A525)                 | FALHA    | FALHA    | 2,4      | 1,9      | 1,5      |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651)   | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    |
| Franca - SP (A708)                     | 3,3      | 3,8      | 3,3      | 2,5      | 3,4      |
| Ituverava - SP (A753)                  | 3,7      | 3,8      | 3,5      | 2,9      | 2,8      |
| Direção do vento horária (de onde vem) |          |          |          |          |          |
| Estação                                | 15 horas | 16 horas | 17 horas | 18 horas | 19 horas |
| Passos - MG (A516)                     | 77       | 24       | 320      | 262      | 292      |
| Sacramento - MG (A525)                 | FALHA    | FALHA    | 21       | 352      | 197      |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651)   | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    | FALHA    |
| Franca - SP (A708)                     | 132      | 134      | 75       | 116      | 162      |
| Ituverava - SP (A945,50)               | 270      | 309      | 301      | 324      | 255      |

Fonte: INMET.

A Figura 27 demonstra as rajadas máximas registradas pelas EMAs em análise em sobreposição com a direção do vento e o Quadro 16 demonstra os valores absolutos registrados. As 15 horas é verificável que as maiores rajadas se deram na região de Franca-SP, conforme de 8,3 m/s captados pela estação A708. As estações vizinhas demarcaram valores relevantes, sendo 5,6 na estação A516 e 6,7 m/s na estação A753. Às 16 horas as rajadas máximas de Franca-SP diminuíram em relação a hora anterior, pois neste horário foram registrados valores de 6,6 m/s, ou seja, 1,7 m/s mais lento. A rajada mais veloz anotada pela Estação A 516 foi de 5,8 m/s, muito semelhante a hora anterior. A rajada de maior velocidade em todo o período analisado se deu às 16 horas, e foi apontada pela Estação A753 que registrou uma rajada de 10,1 m/s. Neste sentido, é possível notar (Figura 27) que, as 16 horas do dia 26 de setembro de 2021, a região de Franca se situava sob duas áreas distintas, umas de ventos muito velozes a Noroeste e outra de ventos mais amenos a Sudeste.

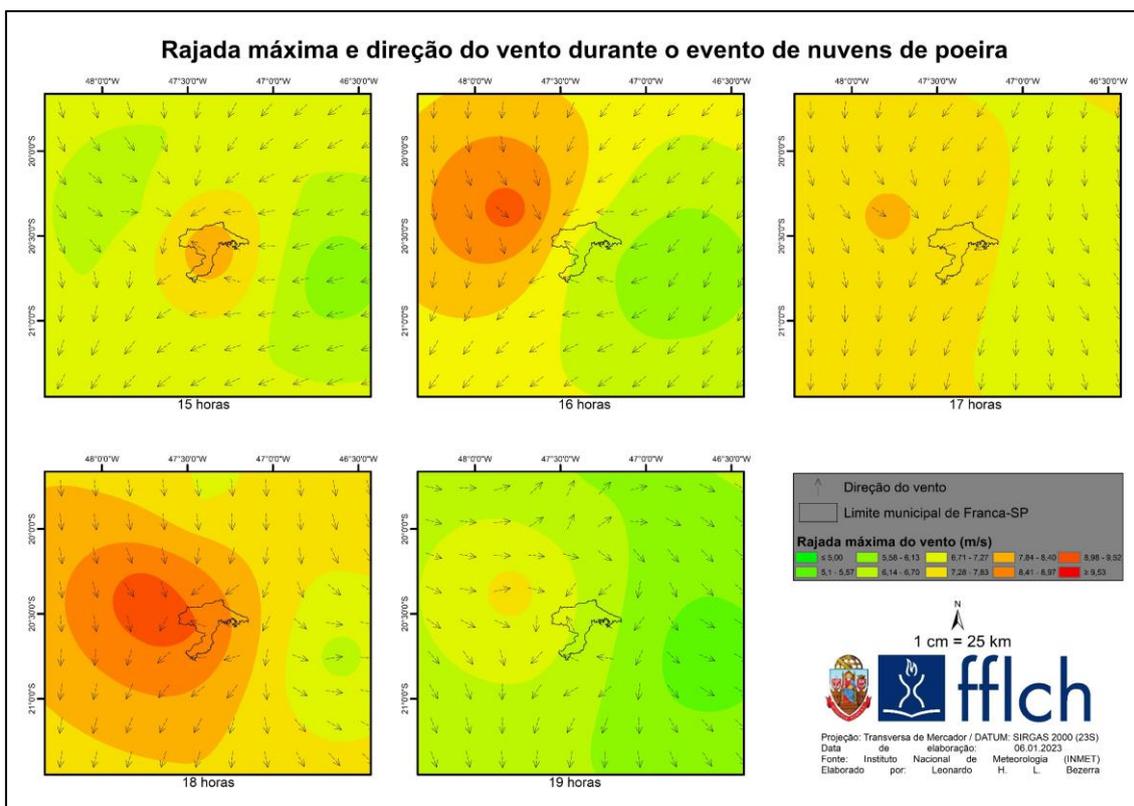
No horário do evento estudado, a estação A708 registrou uma rajada de

7,6 m/s, ou seja, 1,0 m/s mais intensa que na hora anterior. Contudo, a maior rajada ainda se deu na região de Ituverava-SP (9,2 m/s), enquanto a EMA A516 registrou uma rajada de mesma velocidade que a hora anterior. Há, neste horário, o incremento do registro da rajada da EMA A651 de 7,4 m/s, valor muito próximo daquele registrado em Franca-SP.

Uma hora após o evento, as 18 horas, é observável que as rajadas aumentaram em quase todas as estações, exceto na Estação A525 em que demonstrou um valor 0,1 m/s menor que na hora anterior. Em Franca-SP, foi registrada uma rajada 1,3 m/s maior que na hora anterior, uma rajada de 8,9 m/s, ou seja, a maior rajada registrada pela EMA dentre os horários analisados. O valor apresentado pela estação A753 é muito semelhante ao das 17 horas, pois foi registrada uma rajada de 9,3 m/s, portanto, uma rajada de 0,1 m/s maior que a hora anterior. Um aumento significativo foi averiguado na EMA A516, que registrou uma rajada de 6,5 (0,7 m/s maior que a hora anterior).

Por fim, as 19 horas, houve a diminuição nos valores de rajadas em todas as EMAs, sendo: 5 m/s na EMA A516; 6,2 m/s na EMA A525; 6,6 m/s na EMA A708; e 7,7 m/s na EMA A753. Deste modo, ainda é verificável que a maior rajada observada para o horário ainda se deu em Ituverava-SP, padrão que se repetiu em todos os horários analisados.

Figura 27- Rajada máxima do vento no momento do evento.



Fonte: INMET.

Quadro 15 - Valores absolutos de rajada máxima do vento coletados pelas EMAs em análise.

| <b>Rajada máxima</b>                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Estação</b>                       | <b>15 horas</b> | <b>16 horas</b> | <b>17 horas</b> | <b>18 horas</b> | <b>19 horas</b> |
| Passos - MG (A516)                   | 5,6             | 5,8             | 5,8             | 6,5             | 5               |
| Sacramento - MG (A525)               | FALHA           | FALHA           | 7,4             | 7,3             | 6,2             |
| São Sebastião do Paraíso - MG (A651) | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           | FALHA           |
| Franca - SP (A708)                   | 8,3             | 6,6             | 7,6             | 8,9             | 6,6             |
| Ituverava - SP (A753)                | 6,7             | 10,1            | 9,2             | 9,3             | 7,7             |

Fonte: INMET.

### 5.2.2.6 Índices Normalizados das cenas próximas a data do evento

Neste aspecto, foram analisados os produtos de índice de diferença de

vegetação e água normalizada (de imagens Landsat 8 das datas de 14 e 30 de setembro de 2021) próximas a data do evento de nuvens de poeira que ocorreu em 26 de setembro de 2021 no município de Franca-SP. Portanto, a cena anterior ao evento é de 12 dias antecedentes ao evento, e a cena posterior é de 4 dias ao evento. Estes índices são muito eficazes para entender as condições de temperatura, reflectância e umidade próxima ao solo no momento das cenas. Contudo, existem algumas variáveis que interferirão diretamente nos resultados e que poderão ocasionar erros na interpretação se não forem consideradas: a precipitação antecedente à data da cena e a densidade de nuvens das cenas utilizadas, que são informações imprescindíveis para a análise de NDVI e NDWI fidedignas à realidade. Pode-se averiguar nas Figuras 20 e 21 os resultados dos índices, a discriminação de nuvens presentes nas cenas e a pluviometria no mês da análise.

A Figura 28 demonstra a diferença entre o NDVI antes e posterior à data do evento. É possível notar uma parcela de valores negativos (com valores entre -0,2 e -0,3) no centro do município de Franca-SP, que corresponde ao conglomerado urbano da sede do município conforme o uso da terra mapeado e demonstrado na Figura 18. Este conglomerado tem valores mais positivos na cena posterior ao evento que na cena anterior. Circundando o município de Franca é observável uma faixa de valores positivos (muito próximos a 1) que abrange os setores noroeste, norte, nordeste e leste próximos ao município. Esta faixa não aparenta ter modificações entre as cenas de 14/09/2021 e 30/09/2021.

Outro aspecto notável se dá na faixa oeste (de noroeste a sudoeste) das cenas demonstradas na Figura 20, pois, fica nítida a existência de valores negativos na cena "A" que tendem a se amenizar (se aproximar de valores neutros próximos a 0) na cena "B". Por fim, na parte sul do município de Franca verificou-se a existência de uma notável mancha de valores negativos (menores que -0,5) que tendem a se amenizar na cena "B" como as outras partes de valores negativos. Esta referida mancha de valores negativos pode ser atribuída à presença de uma área com grandes atividades de plantio de cana de açúcar. Conforme o calendário agrícola sugerido pela companhia nacional de abastecimento (CONAB, 2022), setembro é um mês sugerido para a colheita e deste modo, o solo estaria exposto.

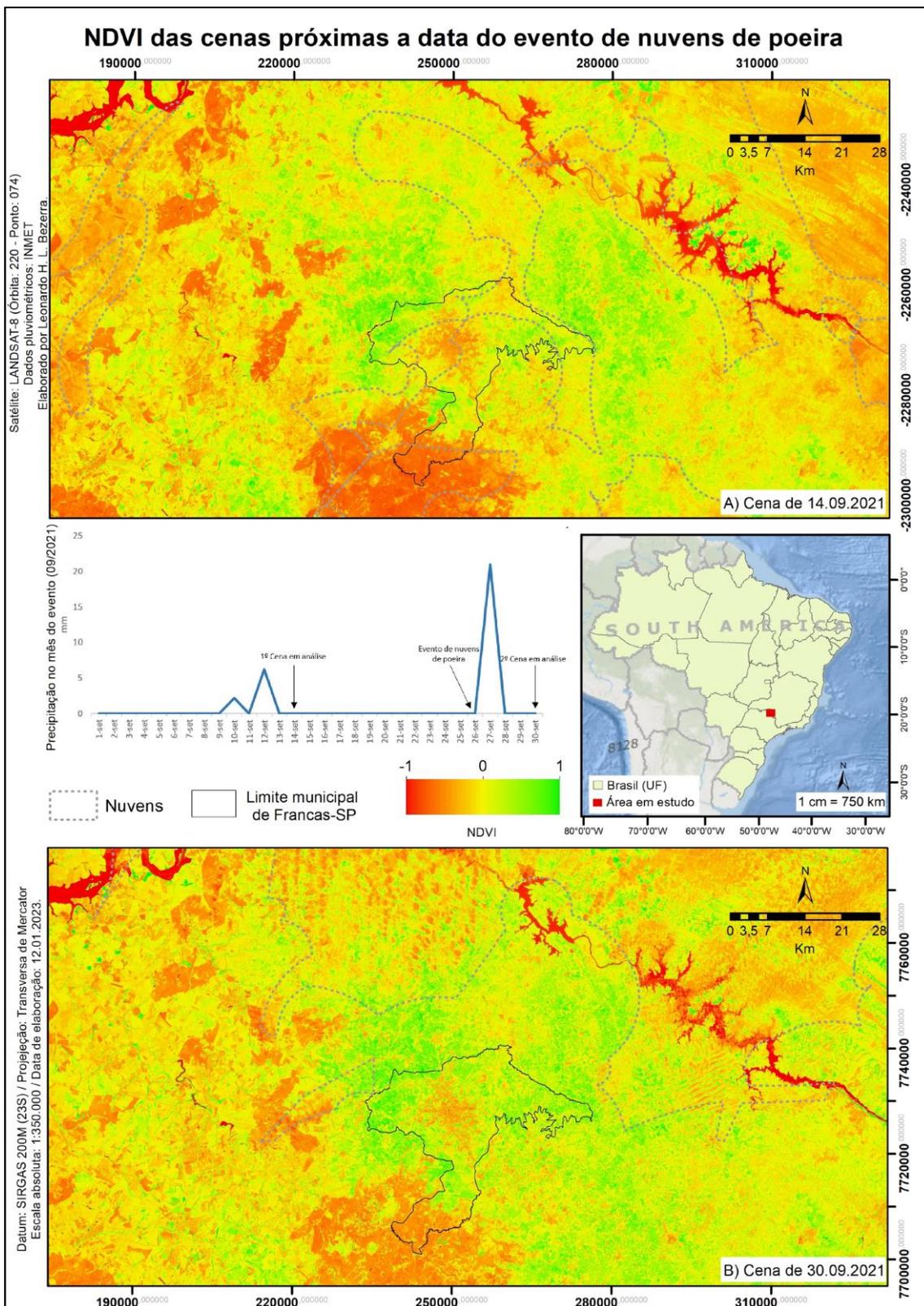
A tendência das parcelas com valores negativos se tornarem valores mais

amenos/neutros da cena A para cena B pode ser explicada pela precipitação maior que 20 mm ocorrida na data do evento da nuvem de poeira, 4 dias antes da cena. É fato que ocorreu também um evento de precipitação antecedente à cena A (menor que 5 mm em 10 de setembro e aproximadamente 7 mm em 12 de setembro). Contudo, esta pequena quantidade de águas pluviais, advinda após um período maior que 8 dias sem ocorrência de chuvas, aparentemente não foi suficiente para evitar um estresse hídrico.

A presença de nuvens não foi determinante para o resultado e interpretação das cenas, pois, como se pode observar, as distribuições das áreas de valores próximos e abaixo de zero não se sobrepõem às áreas cobertas por nuvens.

O contato entre áreas de valores positivos e negativos que ocorre dentro do município de Franca-SP – sendo o conglomerado urbano (com valores negativos) é cingido de áreas com valores acima de zero, cenário que pela diferença entre a reflectância dos materiais pode favorecer a geração de um truncamento entre microclimas, algo já observado na Figura 24.

Figura 28 - NDVI das cenas próximas ao evento de nuvens de poeira.



Fonte: UCGS.

Na análise de NDWI observou-se sensibilidade a estruturas construídas áreas plantadas, o que requereu cautela quanto aos dados obtidos, ainda que tenha ocorrido alta performance na discriminação de massas d'água e ambientes alagados. Tendo isso em vista, a partir do que pode ser verificado na Figura 29 nota-se que no centro do município de Franca, onde nos produtos de NDVI (Figura 28) foram observados valores negativos (avermelhados), nesta se observam valores positivos. Isto se deve à presença de estruturas construídas (urbanas) que não devem ser interpretadas como uma área úmida ou pantanosa.

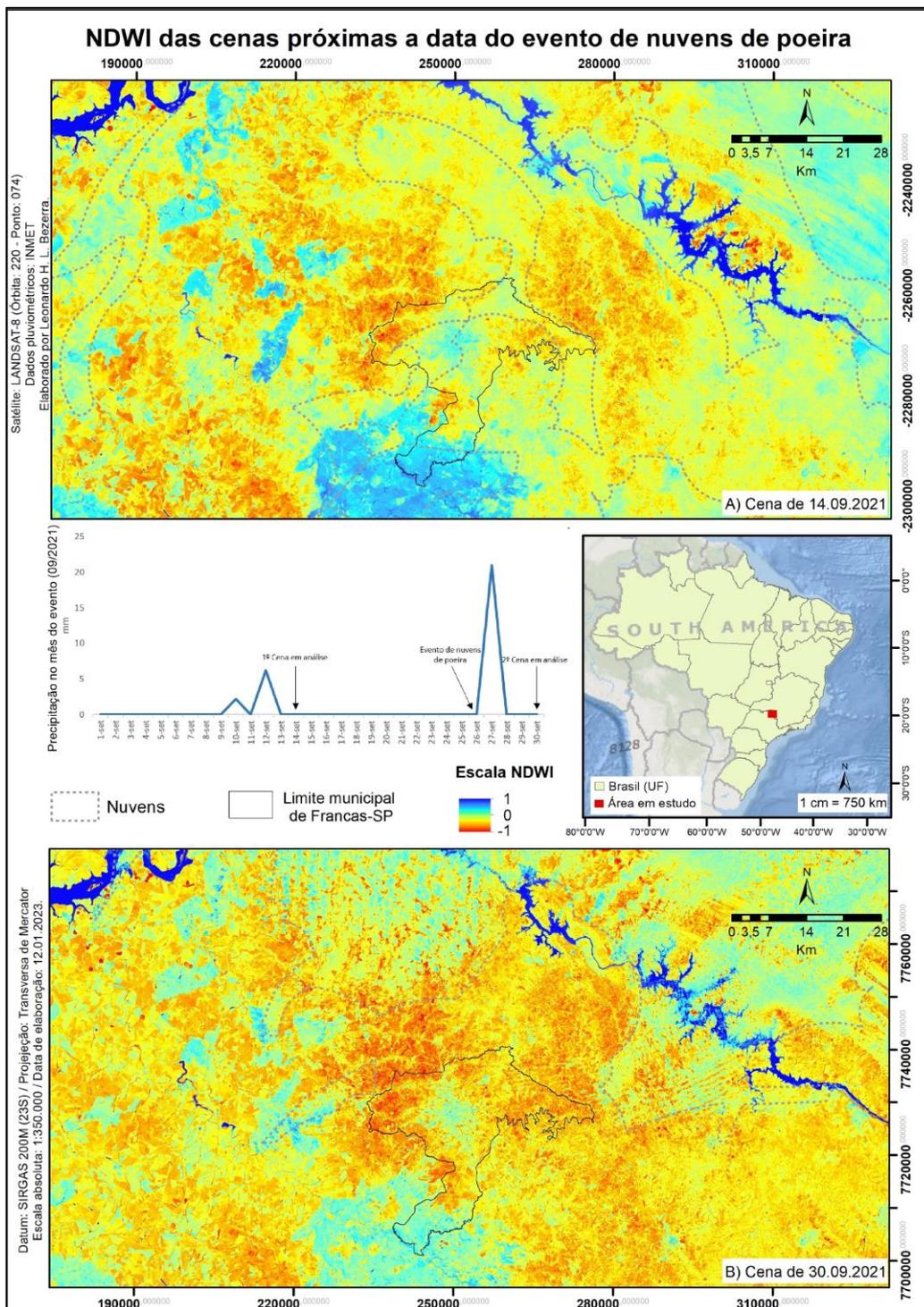
É também notável no centro urbano de Franca a presença de áreas com valores negativos de NDWI em padrão espacial parecido com o padrão apresentado na análise de NDVI. Ainda, nota-se que estes valores negativos de NDWI não apresentam considerável variação entre a cena A e B, e, portanto, é razoável considerar que a precipitação ocorrida em 27 de setembro de 2021 não teve grande relevância para os resultados na utilização deste índice. Assim, a quase nula alteração no índice de NDWI anterior e posterior ao evento pode ser explicada pela presença de ocupação antrópica em grande parte da cena.

Há, entre as cenas A e B, uma mudança relevante no setor nordeste. No referido setor, é notória a existência de uma mancha de valores positivos (entre 0,3 e 0,4) na cena A, que diminuem notadamente na cena B. Esta alteração pode ser explicada pela existência de nuvens do tipo "Cirrus" na cena A que, quanto às técnicas de fotointerpretação, são de difícil mapeamento, pois estas se fazem presentes através de sua umidade e em muitas ocasiões não apresentam reflectância no espectro visível em suas extremidades. Desse modo, as extremidades não mapeadas por fotointerpretação podem influenciar nos resultados do índice NDWI. Na cena B, estas nuvens aparentemente não se fazem presentes na mesma densidade que na cena A, e, portanto, as mudanças para níveis abaixo de zero no NDWI podem estar diretamente ligadas a esta causa.

Por fim, nos setores sudoeste, sudeste e central de ambas as cenas, observa-se que os valores em 30 de setembro de 2021 se tornam mais negativos que os valores já negativos em 14 de setembro do mesmo ano. Este comportamento é curioso, pois, em 27 de setembro de 2021 houve precipitação maior que 20 mm (conforme destacado no gráfico presente nas Figuras 28 e 29). Este comportamento espectral é uma evidência de que esta quantidade de chuva

não foi suficiente para amenizar o estresse hídrico acumulado neste mês invernal, associado assim ao tempo de estiagem da região da área de estudo.

Figura 29 - NDWI das cenas próximas ao evento.



Fonte: UCGS.

### 5.2.3 Discussão dos resultados do estudo de caso

Algumas conclusões podem ser entendidas através das análises efetuadas anteriormente. Em relação aos dados horários, seria esperado que a região da área de estudo possuísse menor pressão atmosférica que as áreas de seu entorno, com maior gradiente entre os municípios paulistas de Franca (ao centro) e Ituverava (a noroeste). Isso se repete em termos de temperatura, pois a estação A708, dentre todas as estações analisadas, demonstrou a menor média de temperaturas (24,6°C). Não coincidentemente, a maior diferença entre temperatura e pressão se dá entre Franca e Ituverava e dentre as médias mensais; este padrão só não é repetido pela variável de precipitação, visto que Franca continua sendo a região com menor quantidade de águas pluviais segundo os dados mensais (44,63 mm). Contudo, ainda sobre os dados mensais, a maior diferença em termos de precipitação se deu entre as estações de Franca-SP (A708) e de Passos-MG (A516) (5 mm). Quanto às velocidades do vento na hora do evento de nuvem de poeira (tanto para a média quanto para as máximas), a estação A708 demonstrou velocidades menos tímidas (com rajadas que chegaram a 8,9 m/s), e as maiores velocidades de vento para este mês ocorreram ao norte da área de estudo (Sacramento-MG) ou a noroeste (Ituverava-SP (8,3 e 8,42 m/s, respectivamente).

É notável que a maior média de velocidade do vento para o mês de setembro não chegou a 2,5 m/s, e nenhuma máxima sequer chegou a 8,5 m/s. Já na data do evento das nuvens de poeira, é observável que a média de velocidade do vento em Ituverava-SP nas duas horas anteriores ao evento em nenhum momento foi menor que 3,7 m/s. Nesse sentido, é importante lembrar que a direção dos ventos em Franca-SP era de noroeste. Desse modo, é plausível considerar que estas fortes rajadas ocorridas em Ituverava (acima de 10 m/s) a uma hora antes do evento de nuvem de poeira em uma zona perceptivelmente turbulenta conforme demonstram os dados de Temperatura e Pressão (Figura 24), tenham retirado os materiais particulados, coloides e agregados dos Latossolos Vermelhos da região nas áreas de solo exposto, fazendo com que a poeira em estado de repouso no setor noroeste de Franca tenha dado origem às nuvens de poeira. Além disso, este setor mencionado denotou contato entre valores positivos e negativos de NDVI, conforme demonstrado na Figura 28, setor este com grande presença de plantio de café (Figura 18) em um momento de entressafra (ou seja, muito

provavelmente com solo exposto relativo à cobertura de Latossolos Vermelhos). Os Latossolos são ricos em materiais que quando expostos a ambientes secos por longo período, tendem a ressecar e desagregar, ainda mais em períodos de estresse hídrico, como é o caso, reforçando a possibilidade de estes serem fonte dos materiais particulados disponíveis para a deflação durante o período de secas (BUOL, 2011; BIGHAM, 2002, FITZPATRICK & SCHULZE, 2002). Todo este cenário ocorreu sob o Planalto Ocidental Paulista e no contato entre as unidades litoestruturais Itaqueri e Serra Geral, caracteristicamente transicionais entre sedimentos continentais e materiais mais maciços respectivamente, o que reforça a atuação da deflação.

Ao serem verificadas as razões para a ocorrência do evento analisado tipicamente turbulento, lembra-se que é necessário para remover materiais particulados da superfície em seu momento de repouso, significativo movimento descendente do ar em velocidade mínima conforme apontado por Livingstone & Warren (2019), e é neste sentido que aqui se argumenta que este momento de turbulência ocorreu as 15 e 16 horas do dia 26 de setembro de 2021, ou seja, uma ou duas horas antes do evento de nuvens de poeira ser nitidamente perceptível. Esta zona turbulenta ocorreu no setor noroeste do município de Franca-SP (em direção a Ituverava-SP), sugerindo que os maiores gradientes de pressão e as rajadas mais velozes se deram entre as 15 e 16 horas desta data, sendo o maior gradiente de temperatura e pressão entre as estações A708 e A753, com rajadas de vento mais velozes em Ituverava-SP. Neste sentido, o vento medido pela estação de Franca possui predominância de norte/noroeste (em todos os horários analisados), e, no setor noroeste deste município é observável uma zona de confluência que se manteve por todos os horários.

No momento principal em que a nuvem de poeira ganhou maior pujança segundo relatos locais (às 17 horas de 26/09/2021), não se averiguam maiores velocidades de ventos ou gradientes de temperatura e pressão, pois o ambiente tende a manter equilíbrio e estabelecer menor turbulência. Isto é plausível e deveria acontecer para que as nuvens de poeira se mantivessem por tempo mínimo, pois, em caso de grandes rajadas e turbulência significativa a mesma se dissiparia.

Por fim, ressalta-se que conforme demonstrado nas Figuras 28 e 29, o diminuto evento de precipitação ocorrido em 14 de Setembro de 2021 (menor

que 10 mm) não foi o suficiente para umedecer os solos da região e mitigar os efeitos do longo período sem chuvas. o evento mais significativo de precipitação no dia 27/09/2021 (maior que 20 mm), ocorrido logo após o evento de nuvens de poeira, não foi suficiente para amenizar o padrão de ressecamento da superfície demonstrado nos valores de NDVI.

## 6. CONCLUSÕES

A ausência de coleta e monitoramento de dados em campo nesta pesquisa foi um fator limitante para indicar correlações mais diretas à luz do fenômeno da erosão eólica. Por este motivo, ressalta-se a importância de se estudar e inventariar dados relativos à deflação em todos os ambientes possíveis, úmidos, subúmidos, áridos, semiáridos e desérticos. Somente após um robusto inventário de dados será possível entender as correlações positivas e negativas da deflação e seu ambiente de ocorrência. Associados a esta análise, modelos conceituais e monitoramentos em campo sugerem que a erosão promovida pelo vento e pela água ocorrem em magnitudes similares em mais ambientes do que é convencionalmente aceito. Isto somente poderá ser assegurado ou revogado, através de boas medições em campo e aprimoramento dos modelos.

Pelos resultados averiguados no Capítulo 5, observou-se que as indicações de diversos autores que trabalharam com a importância da ação eólica na escultura da superfície não foram consideradas nas pesquisas recentes. Isso é demonstrado pelo baixo número de pesquisas efetuadas em campo e em ambientes não tradicionalmente eólicos. Entretanto, na perspectiva deste trabalho há uma contraposição, pois autores na literatura especializada como Field et al. (2009) diferem parcialmente das indicações aqui apresentadas, pois, enquanto aqueles indicam que as pesquisas eólicas deveriam incorporar a ação pluvial, entende-se nesta pesquisa que isso deveria ocorrer também de maneira inversa, isto é, as pesquisas voltadas ao trabalhos das águas pluviais deveriam incluir o papel da ação eólica.

O estudo de caso quanto à nuvem de poeira de Franca-SP ocorrida em 26/09/2021 demonstrou que um evento eólico desta magnitude poderia ser previsto com base na relação entre os tipos de solo, geomorfologia, geologia, condições climáticas e meteorológicas e situação do uso da terra na região. O

manejo tradicional, expondo solos vermelhos ricos em materiais finos, combinados a anos consecutivos com baixa pluviometria entre os meses de maio e setembro, as formações de centros de alta pressão na área de ocorrência da nuvem de poeira configuram um cenário em que a atuação eólica não deveria ser descartada.

Desse modo, conclui-se que o objetivo deste trabalho foi alcançado, pois houve a avaliação da atuação do vento enquanto agente erosivo em meios não tradicionais para este tipo de pesquisa. A hipótese também foi confirmada, pois, conforme averiguado no Capítulo 5, a maior quantidade das pesquisas eólicas permanece arraigada às ideias de seus iniciadores, efetuando os estudos acerca da erosão eólica preferencialmente em ambientes tradicionais: áridos, desérticos e costeiros, somente.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Parte do objetivo desta pesquisa foi entender se a perspectiva proposta por Field et al. (2009) foi adotada pelos pesquisadores em pesquisas mais recentes. Nesse sentido, averiguou-se que outras perspectivas vêm crescendo dentro do tema eólico: modelagens, geomorfologia planetária, microbiologia e correlações com queimadas. Desse modo, é verificável que há, no presente tempo, certa variância entre os subtemas da pesquisa eólica, porém, estes não se aproximam da premissa proposta pelos autores anteriormente citados: uma visão holística e integrativa entre erosão pluvial e erosão eólica.

Conforme os dados analisados na bibliometria efetuada, se as pesquisas futuras seguirem a perspectiva identificada neste trabalho, haverá ganho significativo como contribuição ao papel dos agentes geomorfológicos, com avanços no tema voltados a tecnologia: sensoriamento remoto (principalmente através dos sensores LiDAR) e modelagens, pois, conforme averiguados nas principais pesquisas dos três periódicos principais analisados, estes são os temas e metodologias decorrentes mais utilizados e publicados. Contudo, é necessário questionar se o avanço das modelagens e das interpretações de resultados obtidos remotamente serão fidedignos à realidade de campo, sem um arcabouço de dados medidos e monitorados em diferentes ambientes que permita um salto indutivo importante quanto ao papel da erosão eólica.

Por fim, é preciso dar atenção à estrutura fornecida no Brasil para as pesquisas que envolvam uma perspectiva climatológica ou meteorológica diante da ineficácia das estações meteorológicas. Apesar desta pesquisa ter seu estudo de caso localizado no sudeste brasileiro (região do Brasil com maior acessibilidade a dados climáticos), a frequência de falhas de dados compromete grandemente a produção de resultados (como interpolações), e até mesmo a fidelidade destes à realidade. Este cenário ainda é pior nas outras regiões do Brasil (nordeste, centro-oeste e norte). Assim, uma boa estrutura de EMAs que de fato façam coletas automatizadas com baixa densidade de falhas, é imprescindível para que o Estado Brasileiro conheça a realidade das paisagens do território nacional em diversas frentes: agricultura de precisão, gestão ambiental, planejamento estratégico, reconhecimento/mapeamento agro-climático-meteorológico, produção científica e prevenção de desastres ambientais.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Da Participação das Depressões Periféricas e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro**. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1972.
- AB'SÁBER, A. N. **Regiões de Circundesnudação Pós-Cretácea no Planalto Brasileiro**. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo. Boletim Paulista de Geografia. São Paulo, 1956.
- AGUIAR, L. S. **Dinâmica ambiental da planície de deflação do litoral de Extremoz / RN e influência das normativas legais no processo de organização territorial**. Dissertação (Mestrado em Dinâmica e Reestruturação do Território) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- ALLEN, J. R. L. **Principles of Physical Sedimentology**. The Blackburn Press. 1º Edição, 1985.
- ALMEIDA, F.F.M. 1964. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Instituto Geográfico e Geológico, Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo, 1964.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES G. J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 2013.
- ANDRADE, S. M. & CAMARÇO, P. E. N. **Estratigrafia dos sedimentos devonianos do flanco nordeste da Bacia do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Florianópolis, 1980.
- ANTUNES, F.Z. **Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola**. Informe Agropecuário. Minas Gerais, 1986.
- ARAUJO, T. D. **Análise espaço-temporal dos lençóis maranhenses com o uso de imagens de satélite para o planejamento ambiental**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, 2015.
- ARNALDS, O.; GISLADOTTIR, F. O.; ORRADOTTIR, B. **Determination of aeolian transport rates of volcanic soils in Iceland**. Geomorphology. 2012.
- BAGNOLD, R.A. **The Physics of Blown Sand and Desert Dunes**. Progress in Physical Geography. London, 1941.
- BECKER & UGEDA. **Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto no assentamento Roseli Nunes em Mato Grosso**. Brazilian Geographical Journal, Ituiutaba, 2019.
- BEZERRA, L. **O vento como agente geomorfológico em mato grosso: ensaio analítico-bibliográfico sobre a ação eólica no baixo curso do rio Poxoréo (durante as estações secas de 2007-2015)**. Dissertação (Universidade Federal de Mato Grosso). Cuiabá, 2019.

BIGARELLA, J. J. & PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. UFSC. Florianópolis, 2003.

BIGHAM, J.M.; FITZPATRICK, R.W. & SCHULZE, D. **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison, Soil Science Society of America. EUA, 2002.

BISHOP, M. A. **Aeolian scours as putative signatures of wind erosion and sediment transport direction on Mars**. *Geomorphology*. 2011.

BOSTELMANN, E. **Avaliação da concentração de metais em amostras de sedimento do reservatório billings, braço Rio Grande, São Paulo, Brasil**. Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares. São Paulo, 2006.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL: Folha SF.22 Paranapanema: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. IBGE. Rio de Janeiro, 2018.

BRESHEARS, D. D.; WHICKER, J. J.; ZOU, C. B.; FIELD, J. P.; ALLEN, C. D. **A conceptual framework for dryland aeolian sediment transport along the grassland–forest continuum: Effects of woody plant canopy cover and disturbance**. *Geomorphology*. 2009.

BRISTRICHI, C. A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1981.

Bullard, J.; Wiggs, G. F.; Nash, D. **Experimental study of wind directional variability in the vicinity of a model valley**. *Geomorphology*. 2000.

BUOL, S.W. SOUTHARD, R.J.; GRAHAM, R.C. MCDANIEL, P. A. **Soil genesis and classification**. John Wiley & Sons. 2011.

CARDOSO, R. & BALABAN, R. **Comparative study between Botucatu and Berea sandstone properties**. *Journal of South American Earth Sciences*. 2015.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Texto. 2019.

Chang, M.R. & Wu, F. T. **Arenitos Flúvio-Eólicos da porção superior da Formação Pirambóia no Centro Leste Paulista**. *Revista Brasileira de Geociências*. 2006.

CHAPPELL, A.; McTAINSH, G.; LEYS, J.; STRONG, C. **Using geostatistics to elucidate temporal change in the spatial variation of aeolian sediment transport**. *Earth Surface Process and Landforms*. 2003.

CHAPPELL, A.; ZOBECK, T.M.; BRUNNER, G. **Using on-nadir spectral reflectance to detect soil surface changes induced by simulated rainfall and windtunnel Abrasion**. *Earth Surf*. 2005.

COLLINS, B. D.; BEDFORD, D. R.; CORBETT, S. C.; CRONKITE-RATCLIFF, C.; FAIRLEY, H. C. **Relations between rainfall-runoff-induced erosion and**

**aeolian deposition at archaeological sites in a semi-arid dam-controlled river corridor.** Earth Surface Processes and Landforms. 2016.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Programa Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro, 2006.

CORDANI, U.G & SÍGOLO, J. B. **Composição, estrutura e geologia de Marte.** Marte Novas Descobertas, São Paulo. 1997.

CRISTO, S. S. V.; LUIS, E. S. R.; MORAIS, F. **Patrimônio geomorfológico na porção leste do estado do Tocantins – região do Jalapão.** Geonomos, 2013.

CURI, N.; KER, J. C.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. **Pedologia: solos dos biomas brasileiros.** SBCS, Viçosa, 2017.

DAAN W.; POPPEMA A. B.; ANDREAS, C. W.; BAAS, C.; SUZANNE, J. M. H. HULSCHER, A.; KATHELIJNE, M.; WIJNBERG, A. **Cellular automaton modelling of the effects of buildings on aeolian bedform dynamics.** Aeolian Research. 2022.

DEFFONTAINES, P. – **Regiões e paisagens do Estado de São Paulo. Primeiro esboço de divisão regional.** Associação dos Geógrafos Brasileiros. São Paulo, 1935.

DIAZ-NIGENDA, E.; TATARKO, J.; JAZCILEVICH, A. D.; GARCIA, A. R.; CAETANO, E.; RUIZ-SUAREZ, L. G. **A modeling study of Aeolian erosion enhanced by surface wind confluences over Mexico City.** Aeolian Research. 2010.

DUBEY, A. A.; DEVRANI, R.; RAVI, K.; DHAMI, N. K.; MUKHERJEE, A.; SAHOO, L. **Experimental investigation to mitigate aeolian erosion via biocementation employed with a novel ureolytic soil isolate.** Aeolian Research, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2019). **Uso e manejo do solo.** Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1118534/uso-e-manejo-do-solo>>. Acessado em: 30/08/2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite.** Disponível em <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acessado em: 30/08/2023.

ENDRES, P. F.; PISSARRA, T. C. T.; BORGES, M. J.; POLITANO, W. **Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP.** Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal, 2006.

FAIRBRIDGE, R. W. **The Encyclopedia of Geomorphology.** Halsted Press. New York, 1968.

FIELD, P. J.; BRESHEARS, B. D. & WHICKER, J. J. **Toward a more holistic perspective of soil erosion: Why aeolian research needs to explicitly**

**consider fluvial processes and interactions.** Journal of Aeolian Research, 2009.

FOULDS, S. A.; WARBURTON, J. **Wind erosion of blanket peat during a short period of surface desiccation (North Pennines, Northern England).** Earth Surface Processes and Landforms. 2007.

FOX; McDONALD & PRITCHARD. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** LTC. 2004.

FRANCISCO, M. & OLIVEIRA, I. **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil.** Oficina de Texto. 2017.

GARDEN, J. **How water, wind, waves and ice shape landscapes and landforms: Historical contributions to geomorphic science.** Geomorphology. 2019.

GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. **Geologic Time Scale.** Disponível em: <<https://rock.geosociety.org/net/documents/gsa/timescale/timescl.pdf>>. Acesso em: 30/08/2023.

GIANNINI, P. C. **Sistemas deposicionais eólicos no quaternário costeiro do Brasil.** Tese (Livre docência, Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo). São Paulo, 2007.

GOOSSENS, D. **The aeolian dust accumulation curve.** Earth Surface Processes and Landforms. 2001.

GOOSSENS, D.; NOLET, C.; ETYEMEZIAN, V.; DUARTE-CAMPOS, L.; BAKKER, G.; RIKSEN, M. **Field testing, comparison, and discussion of five aeolian sand transport measuring devices operating on different measuring principles.** Aeolian Research. 2018.

GOUDIE, A. S.; LIVINGSTONE, I.; STOKES, S. **Aeolian Environments, Sediments and Landforms.** 2<sup>a</sup> ed. Oxford, 2000.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico Geomorfológico.** IBGE. Rio de Janeiro, 1993.

GUO, W. Q.; YANG, T. B.; DAI, J. G.; SHI, L., & LU, Z. Y. **Vegetation cover changes and their relationship to climate variation in the source region of the yellow river, China, 1990–2000.** INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING. 2008.

HUANG, C. C.; PANG, J.; HUANG, P. **An early Holocene erosion phase on the loess tablelands in the southern Loess Plateau of China.** Geomorphology. 2000.

IIZUMI, T.; LUO, L.; CHALLINOR, A. J.; SAKURAI, G.; YOKOZAWA, M.; SAKUMA, H.; BROWN, M. E.; YAMAGATA, T. **Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops.** Nature Communications. 2019.

- INVERNIZZI, A.L. **Caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Botucatu, no setor médio da bacia hidrográfica Mogi-Pardo**. Dissertação (Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências). São Paulo, 2001.
- JESUZ, C. R.; ITO, J. B. B.; PETER, Z. **Erosões mecânicas na bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral, Jaciara – MT, e suas determinantes socioambientais**. Revista Mato-Grossense de Geografia. Cuiabá, 2013.
- JOLIVET, M.; BRAUCHER, R.; DOVCHINTSEREN, D.; HOCQUET, S.; SCHMITT, J.-M. **Erosion around a large-scale topographic high in a semi-arid sedimentary basin: Interactions between fluvial erosion, aeolian erosion and aeolian transport**. *Geomorphology*. 2021.
- KASPRAK, A.; BRANSKY, N. D.; SANKEY, J. B.; CASTER, J.; SANKEY, T. T. **The effects of topographic surveying technique and data resolution on the detection and interpretation of geomorphic change**. *Geomorphology*. 2019.
- Kirkby, M.J., **The Stream Head as a Significant Geomorphic Threshold**. Department of Geography (University of Leeds). Leeds, 1978.
- KÜSTER, M.; FÜLLING, A.; KAISER, K.; ULRICH, J. **Aeolian sands and buried soils in the Mecklenburg Lake District, NE Germany: Holocene land-use history and pedo-geomorphic response**. *Geomorphology*. 2014.
- LI H.; LIU, C.; CHENG, H.; ZOU, X.; ZHANG, C.; LIU, B.; LI, J.; KANG, L.; WU, Y. **A general model for predicting aeolian transport rate over sand surfaces with vegetation cover**. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2022.
- LIANG, A. B.; DONG C. Z.; QU A. J.; ZHIZHU D. S.; BO E. W.; ZHENGCAI A. Z.; GUANGQIANG A. Q.; JUNLIANG F. G.; YINGJUN E. P.; ZHUANLING A. Y. **Using Spatial variation of grain size to reveal sediment transport in the Kumtagh Sand Sea, Northwest China**. *Aeolian Research Journal*. 2020.
- LIU, L. Y.; SKIDMORE, E.; HASI, E.; WAGNER, L.; TATARKO, J. **Dune sand transport as influenced by wind directions, speed and frequencies in the Ordos Plateau, China**. *Geomorphology*. 2005
- LIVINGSTONE, I & WARREN, A. **Aeolian Geomorphology: a New Introduction**. Wiley. 2019.
- MARASCHIN, A. J.; CRUZ, G. F.; MARTINS, L. L.; RIBEIRO, H. J. P. S.; AUGUSTIN, A. H. **Relationship between diagenesis and the emplacement of bitumen in the Lower Triassic Piramboia Formation sandstones, Paraná Basin, SW Brazil**. *Journal Of South American Earth Sciences*. 2019.
- MARSHALL, J.K. **Drought, land use and soil erosion**. In: *The Environmental Economic and Social Significance of Drought* (livro). Angus and Robertson, Sydney, 1973.
- MARTIN, R. L.; KOK, J. F.; HUGENHOLTZ, C. H.; BARCHYN, T. E.; CHAMECKI, M.; ELLIS, J. T. **High-frequency measurements of aeolian saltation flux: Field-based methodology and applications**. *Aeolian Research*. 2018.

MARTINS, F.; CLEMENTINO, N. A.; BERTELLI, C. **A história de Franca (SP): seus primeiros habitantes e importância para o desenvolvimento regional.** XVII Encontro de Pesquisadores. Uni-FACEF. 2016.

MASSOLI, M. **Caracterização litofaciológica das formações Piramboia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP), e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado. 2007a.

MASSOLI, M.; CAETANO-CHANG, M.R. **O contato entre as formações Botucatu e Piramboia na área de Ribeirão Preto (SP).** UNESP. Geociências. 2007b.

MECERJAKOV, J. P. **Les Concepts de Morphostructure et de Morphosculture: Um Nouvel Instrument de L'Analyse Géomorphologique.** Annales de Géographie. Paris, 1968.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** Oficina de Texto. São Paulo. 2007.

MONBEIG, P. **A divisão regional do Estado de São Paulo.** Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros. 1949.

MORAES REGO, L.F. **Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua genesis.** Instituto Astronômico e Geofísico. São Paulo. 1932.

MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: solos e paisagens.** Entrelinhas. Cuiabá. 2007.

MUHS, D. R. **Loess deposits, origins and properties.** U.S. Geological Survey, CO, USA. 2007.

MUHS, D.R.; BETTIS, E.A.; ALEINIKOFF, J.N.; MCGEEHIN, J.P.; BEANN, J.; SKIPP, G.; MARSHALL, B.D.; ROBERTS, H.M.; JOHNSON, W.C.; BENTON, R. **Origin and paleoclimatic significance of late Quaternary loess in Nebraska: evidence from stratigraphy, chronology, sedimentology, and geochemistry.** Geological Society of America Bulletin. 2008.

NICHOLS, G. **Sedimentary and Stratigraphy.** 2ªed. 2015. Oficina de Textos. 2015.

NIELD, J. M.; WIGGS, G. F. S. **The application of terrestrial laser scanning to aeolian saltation cloud measurement and its response to changing surface moisture.** Earth Surface Processes and Landforms. 2010.

OLIVEIRA, E. P. **O terreno Devoneano do sul do Brasil.** Anais da Escola de Minas de Ouro Preto. Ouro Preto. 1912.

PAIVA NETTO, J.E.; CATANI, R.A.; KÜPPER, A.; MEDINA, H.P.; VERDADE, F.C.; GUTMANS, M.; NASCIMENTO, A.C. **Observações gerais sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo.** Bragantia. 1951.

PATRICK A.; HESP, M. S.; SILVA, G. M.; BRUCE, D.; KEANE, R. **Review and direct evidence of transgressive aeolian sand sheet and dunefield initiation.** Earth Surface Processes and Landforms. 2022.

PAULA E SILVA, F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no estado de São Paulo.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Rio Claro (Tese de Doutorado). 2003.

PELT, R. & GILL, T. **Introduction to the International Symposium on Erosion and Landscape Evolution special issue of Aeolian Research.** Aeolian Research. 2013.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Landforms: A contribution to Physical Geology.** MacMillan & Company Ltd. London. 1953.

POORTINGA, A., VISSER, S. M., RIKSEN, M. J. P. M., & STROOSNIJDER, L. **Beneficial effects of wind erosion: Concepts, measurements and modeling.** Aeolian Research. 2011

PYE, K. **Aeolian Dust and Dust Deposits.** Academic Press, Boca Raton, Florida. 1987.

PYE, K. **The nature, origin and accumulation of loess.** Quaternary Science Reviews. 1995.

RAVI, S.; BRESHEARS, D. D.; HUXMAN, T. E.; D'ODORICO, P. **Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics.** Geomorphology, 2010.

RAVI, S.; GONZALES, H. B.; BUYNEVICH, I. V.; LI, J.; SANKEY, J. B.; DUKES, D.; WANG, G. **On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research.** Earth Surface Processes and Landforms. 2018.

READING, H. G. **Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy.** Blackwell Science. Oxford. 1996.

RICCOMINI, C. **Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo.** Revista IG. 1997.

RIKSEN, M. J. P. M.; VISSER, S. M. **Predicting the effect of tilling practices on wind erosion activity: application of the Wind Erosion Prediction System in a sand drift area in The Netherlands.** Earth Surface Processes and Landforms. 2008.

ROLIM, G.; CAMARGO, M.; LANIA, D.; MORAES., J. **Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na terminação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo.** Bragantia. Campinas. 2007.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Aplicada aos Elias - Rimas.** In: CUNHA, S. N.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 1996.

- ROSS, J. L. S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista do Departamento de Geografia. FFLCH-USP. São Paulo, 1992.
- ROSS, J. L. S. **Relevo Brasileiro: Uma Nova Proposta de Classificação**. Revista do Departamento de Geografia. FFLCH-USP. São Paulo, 1985.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. DG-FFLCH-USP/IPT/FAPESP. São Paulo. 1997.
- ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado**. Instituto Florestal. São Paulo. 2017.
- RUZ, M.-H.; MEUR-FEREC, C. **Influence of high water levels on aeolian sand transport: upper beach/dune evolution on a macrotidal coast, Wissant Bay, northern France**. Geomorphology. 2004.
- SANKEY, J. B.; DRAUT, A. E. **Gully annealing by aeolian sediment: field and remote-sensing investigation of aeolian–hillslope–fluvial interactions, Colorado River corridor, Arizona, USA**. Geomorphology. 2014.
- SANKEY, J. B.; EITEL, J. U. H.; GLENN, N. F.; GERMINO, M. J.; VIERTLING, L. A. **Quantifying relationships of burning, roughness, and potential dust emission with laser altimetry of soil surfaces at submeter scales**. Geomorphology. 2011.
- Sankey, J. B.; Glenn, N. F.; Germino, M. J.; Gironella, A. I. N.; Thackray, G. D. **Relationships of aeolian erosion and deposition with LiDAR-derived landscape surface roughness following wildfire**. Geomorphology. 2010.
- SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA. Brasília, 2018.
- SANTOS, M. LADEIRA, F. S. B. **Tectonismo em perfis de alteração na serra da Itaqueri (SP): análise através de indicadores cinemáticos de falhas**. UNESP-Geociências. São Paulo. 2006.
- SCHERER, C.M.S. **Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin**. Sedimentary Geology. 2000.
- Schumm, S. A. **Quaternary paleohydrology**. In: Wright Jr., H. E.; Frey, D. G. **The Quaternary of the United States. A Review Volume for the VII Congress INQUA**. Princeton, New Jersey. 1965.
- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO & COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. CPRM, 2004. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Carta-Geologica-do-Brasil-ao-Milionesimo-298.html>>. Acesso em: 31/08/2023.
- SETZER, J. **Os Solos do Estado de São Paulo**. IBGE. Rio de Janeiro. 1949.

SOARES, P. C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P. R. M. **Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo**. Congresso Brasileiro de Geologia. Aracajú. 1973.

STEINKE, E. T. **Climatologia Fácil**. Oficina de textos. São Paulo. 2012.

STOUT, J. E. **Publication trends in aeolian research: An analysis of the Bibliography of Aeolian Research**. Geomorphology. 2009.

SUERTEGARAY, D. M.; VERDUM, R.; MEDEIROS, M. R.; GUASSELLI, L. G. **Caracterização Hidrogeomorfológica e Uso do Solo em Áreas de ocorrências de Areais: São Francisco de Assis/Manuel Viana**. Relatório Interdisciplinar - PADCT/CEPSRM – UFRGS. Porto Alegre - Rio Grande do Sul. 1995.

SUERTEGARAY, D. M. A; SILVA, L. A. P.; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre. Porto Alegre. 2012.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Blucher. São Paulo. 2003.

SUN, J.M. **Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese Loess Plateau**. Earth Planet. 2002.

SUNAMURA, T. **A fundamental equation for describing the rate of bedrock erosion by sediment-laden fluid flows in fluvial, coastal, and aeolian environments**. Earth Surface Processes and Landforms. 2018.

SWET, N.; KATRA, I. **Reduction in soil aggregation in response to dust emission processes**. Geomorphology. 2016.

TAKATA, R. T. **Processo de Arenização nas áreas de ocorrência de Neossolos Quartzarênicos no município de Primavera do Leste-MT**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Cuiabá. 2016.

TANNO, L. C. **Geologia e características tecnológicas das argilas esmectíticas da região de Franca-SP**. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotecnia. São Paulo. 1995.

TAYLOR & VARDAVAS. **Radiation and Climate**. United States. Oxford University, New York. 2007.

TEODORO, R. D. S. **O crédito no mundo dos senhores do Café: Franca 1885-1914**. Dissertação de mestrado. IE/UNICAMP. Campinas. 2006.

THOMAS, D. S. G.; WIGGS, G. F. S. **Aeolian system responses to global change: challenges of scale, process and temporal integration**. Earth Surface Processes and Landforms. 2008.

- THORNBURRY, W. D. **Principles of Geomorphology**. John Wiley & Sons. New York. 1954.
- TOSI, P. G. **Capitais no interior: Franca e a história da Indústria coureirocalçadista (1860–1945)**. UNESP/FHDSS, Franca. 2003.
- TOSI, P. G.; FALEIROS, R. N.; SILVA, T. **Crédito e pequena cafeicultura no oeste paulista: Franca/SP 1890-1914**. Revista Brasileira de Economia. 2007.
- TURPIN, C.; BADR, T.; HARION, J.L. **Numerical modelling of aeolian erosion over rough surfaces**. Earth Surface Processes and Landforms. 2010.
- VAN BOXEL, J.; STERK, G.; ARENS, S. **Sonic anemometers in aeolian sediment transport research**. Geomorphology. 2004.
- van BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 2002.
- VENTRA, D.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P.; DE BOER, P. L. **Sedimentology and preservation of aeolian sediments on steep terrains: Incipient sand ramps on the Atacama coast (northern Chile)**. Geomorphology. 2017.
- VENTURA, A. **Problemas técnicos da silvicultura paulista**. Silvíc. São Paulo. 1964.
- VILMUNDARDÓTTIR, O. K.; MAGNÚSSON, B.; GÍSLADÓTTIR, G.; THORSTEINSSON, T. **Shoreline erosion and aeolian deposition along a recently formed hydro-electric reservoir, Blöndulón, Iceland**. Geomorphology. 2010.
- VISSER, S.M.; STERK, G.; RIBOLZI, O. **Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions**. Journal of Arid Environments. 2004.
- WAL, D. V. D. **Modelling aeolian sand transport and morphological development in two beach nourishment areas**. Earth Surface Processes and Landforms. 2000.
- WARREN, A. **Sustainability in aeolian systems**. Aeolian Research. 2010.
- WEBB, N. P.; HERRICK, J. E.; VAN ZEE, J. W.; COURTRIGHT, E. M.; HUGENHOLTZ, C. H.; ZOBECK, T. M.; WAGNER, L. **The National Wind Erosion Research Network: Building a standardized long-term data resource for aeolian research, modeling and land management**. Aeolian Research. 2016.
- WEBB, N. P.; STRONG, C. L.; CHAPPELL, A.; MARX, S. K.; MCTAINSH, G. H. **Soil organic carbon enrichment of dust emissions: magnitude, mechanisms and its implications for the carbon cycle**. Earth Surface Processes and Landforms. 2013.

WIGGS, G.; HOLMES, P. **Dynamic controls on wind erosion and dust generation on west-central Free State agricultural land, South Africa.** Earth Surface Processes and Landforms. 2010.

ZHANG, W.; TAN, L.; ZHANG, G.; QIU, F.; ZHAN, H. **Aeolian processes over gravel beds: Field wind tunnel simulation and its application atop the Mogao Grottoes, China.** Aeolian Research. 2014.

ZOBECK, T. M.; PELT, R. S. **Joint meeting of the 5th International Conference on Aeolian Research and the Global Change and Terrestrial Ecosystems-Soil Erosion Network.** Earth Surface Processes and Landforms. 2003.

ZOBECK, T. M.; STERK, G.; FUNK, R.; RAJOT, J. L.; STOUT, J. E.; VAN PELT, R. S. **Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation.** Earth Surface Processes and Landforms. 2003.