



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MAYNARA PAULA MACIEL DO NASCIMENTO

**REALIDADE AUMENTADA APLICADA À GEOCONSERVAÇÃO: ESTUDO DE
CASO NO GEOPARK ARARIPE**

FORTALEZA

2022

MAYNARA PAULA MACIEL DO NASCIMENTO

REALIDADE AUMENTADA APLICADA À GEOCONSERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO
NO GEOPARK ARARIPE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dra. Cynthia Romariz Duarte

Co-Orientador: M.Sc. Cláudio Ângelo da Silva Neto

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N196r Nascimento, Maynara Paula Maciel do.
Realidade aumentada aplicada à geoconservação : estudo de caso no Geopark Araripe / Maynara Paula Maciel do Nascimento. – 2022.
81 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.

Coorientação: Prof. Me. Cláudio Ângelo da Silva Neto.

1. Imagens panorâmicas 360°. 2. Realidade Aumentada. 3. GeoPark Araripe. I. Título.

CDD 551

MAYNARA PAULA MACIEL DO NASCIMENTO

REALIDADE AUMENTADA APLICADA À GEOCONSERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO
NO GEOPARK ARARIPE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Geologia do
Departamento de Geologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Cynthia Romariz Duarte (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes
Universidade de Pernambuco (UPE)

Prof^ª. Dra. Pâmella Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ser minha fortaleza e esperança todos os dias da minha vida, assim como durante esses anos de graduação. Obrigada Senhor, por ter me dado sabedoria para enfrentar os momentos de dúvidas e desânimo que surgiram no meu caminho, me permitindo concluir essa etapa.

À minha família, que sonha junto comigo desde que nasci e, me apoiaram na realização desse sonho. Dedico essa conquista a todos vocês, em especial a minha tia Maria das Dores e toda sua família, que foram o meu suporte e aconchego familiar enquanto estive em Fortaleza.

Aos meus amigos, por terem contribuído para que eu me sentisse capaz de chegar até o fim. Obrigada pelas palavras de apoio e por estarem presentes nas horas de angústias e alegrias. Citando os velhos e bons amigos, os conterrâneos, Gabi, Carol, Acácio, Iara, Igor, Ana Lúcia, Victor, Samya, Wisney, Vivi, Laryssa e JB. E as meninas que conheci durante os estágios, Sâmia Rocha, Luciana, Gabi Zanchetta e Hedla.

À minha orientadora, professora Cynthia, pelo tempo dedicado a me ensinar e orientar, não apenas durante a elaboração deste trabalho como, no decorrer de todo o curso. Sou grata, por desde o início ter me acolhido e ajudado a prosseguir para concluir minha graduação. Não menos importante, agradeço meu co-orientador Cláudio, pela disponibilidade, dedicação e parceria. Obrigada por partilhar seus conhecimentos e fazer colocações necessárias para contribuir com o projeto e minha formação profissional.

Agradeço ao Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) por ter sido um pilar importante para a minha formação. Aos coordenadores e professores participantes, nas pessoas dos professores, Cynthia, Rita e Michael pelo acolhimento e ensinamentos. E a todos os integrantes que me fizeram sentir em família. A Linara, Camila, Aline, Cláudio, Mateus, Cassiano, Rayssa, Tomáz, Maykon, Eduardo, Luzia e Joyce, obrigada.

Por fim, meu agradecimento a todos os amigos e colegas de profissão que fiz no DEGEO, pela amizade, conselhos, lágrimas e risos compartilhados. Obrigada Linara, Eduardo Gurgel, Lucas Brito, Isaac Gomes, Deidyane, Luiz Henrique e, a minha geopanela, Débora, Israel, Gisele, Matheus, Iago, Igor e Daniel. Amo vocês.

RESUMO

Atualmente, as novas tecnologias estão presentes em diversas áreas profissionais devido às suas vastas aplicações como representar dados, informações, ambientes e tantas outras funções. Nas geociências, essas tecnologias são aplicadas através do uso de *drones*, inteligência artificial, modelos tridimensionais, realidades aumentada e virtual, e demais métodos que propiciem um acesso prático aos dados que se pretende retratar. Este trabalho foi elaborado com o intuito de divulgar o conhecimento sobre o GeoPark Araripe e seus geossítios, utilizando algumas dessas novas tecnologias, como a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) e a realidade aumentada, buscando apresentar o meio físico em ambiente virtual por meio de imagens panorâmicas 360°. O GeoPark Araripe, localizado no sul do estado do Ceará, está inserido na Bacia Sedimentar do Araripe, e apresenta registros geológicos, paleontológicos e culturais únicos em todo o planeta, por isso, possui reconhecimento do Programa Mundial de Geoparques da UNESCO, visando à proteção e conservação desses elementos na região do Cariri cearense. A plataforma *online* para aplicação da realidade aumentada nas cenas panorâmicas 360° foi desenvolvida em linguagem de programação JavaScript, elaborada e adaptada a partir da biblioteca para tour virtual Forge.js. Foram visitados cinco dos nove geossítios do GeoPark Araripe para realizar a aquisição das imagens através de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). As cenas panorâmicas 360° foram montadas e processadas, a partir das imagens obtidas em campo, em *softwares* de edições de imagens como o *Image Composite Editor* e *Photoshop 2021*. Com a ARP foram obtidas também imagens ortogonais aos geossítios para elaborar ortomosaicos e modelos tridimensionais no *software Agisoft Metashape Professional*. Após essa etapa, as imagens foram adicionadas na plataforma de tour virtual *online* para aplicação da realidade aumentada nas cenas em que foram obtidos resultados satisfatórios. Os ortomosaicos foram adicionados à página *web* como imagem inicial para realizar o tour virtual em cada geossítio. Já os modelos tridimensionais não foram possíveis de serem adicionados à plataforma devido a ela não ter sido elaborada para apresentar esse tipo de dado. Portanto, embora não tenham sido obtidos resultados satisfatórios em todos os geossítios que foram realizados os levantamentos, naqueles em que o trabalho foi concluído é possível reconhecer a importância do uso das geotecnologias para os dias atuais, pois contribuem para a propagação do conhecimento de modo fidedigno e acessível.

Palavras-chave: Imagens panorâmicas 360°. Realidade Aumentada. GeoPark Araripe.

ABSTRACT

Currently, new technologies are present in several professional areas due to their vast applications such as representing data, information, environments and many other functions. In geosciences, these technologies are applied through the use of drones, artificial intelligence, three-dimensional models, augmented and virtual realities, and other methods that provide practical access to the data to be portrayed. This work was prepared with the aim of disseminating knowledge about GeoPark Araripe and its geosites, using some of these new technologies, such as the Remotely Piloted Aircraft (RPA) and augmented reality, seeking to present the physical environment in a virtual environment through images 360° panoramas. The GeoPark Araripe, located in the south of the state of Ceará, is located in the Araripe Sedimentary Basin, and has unique geological, paleontological and cultural records throughout the planet, therefore, it has recognition from the UNESCO World Geoparks Program, aiming to protect and conservation of these elements in the Cariri region of Ceará. The online platform for the application of augmented reality in 360° panoramic scenes was developed in JavaScript programming language, developed and adapted from the Forge.js virtual tour library. Five of the nine GeoPark Araripe geosites were visited to acquire the images through a Remotely Piloted Aircraft (RPA). The 360° panoramic scenes were assembled and processed, from the images obtained in the field, in image editing software such as Image Composite Editor and Photoshop 2021. With the RPA, images orthogonal to the geosites were also obtained to create orthomosaics and three-dimensional models in the Agisoft Metashape Professional software. After this step, the images were added to the online virtual tour platform for the application of augmented reality in the scenes in which satisfactory results were obtained. Orthomosaics were added to the web page as the initial image to perform the virtual tour of each geosite. The three-dimensional models were not possible to be added to the platform because it was not designed to present this type of data. Therefore, although satisfactory results have not been obtained in all the geosites where the surveys were carried out, in those where the work was completed it is possible to recognize the importance of the use of geotechnologies for the present day, as they contribute to the propagation of knowledge in a reliable way and accessible.

Keywords: 360° panoramic images. Augmented Reality. Araripe Geopark.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	14
Figura 3 - Acesso pela BR-020.	15
Figura 4 – Fósseis que ocorrem em alguns geossítios do GeoPark Araripe (1 – fóssil de peixe em calcário laminado, 2 – fóssil em forma de concreção, 3 – fóssil de angiosperma em calcário laminado, 4 – representação de fóssil de dinossauro encontrado na região, 5 – fóssil de libélula).	17
Figura 5 - Subdivisões da Província Borborema.	20
Figura 6 – Chapada do Araripe.....	21
Figura 7 - Mapa Geológico da Bacia do Araripe.....	22
Figura 8 - Diagrama conceitual apresentando como estão distribuídos os diferentes termos usados em geodiversidade.	23
Figura 9 - Distribuição dos Geossítios no território do GeoPark Araripe.	26
Figura 10 - Geossítios do GeoPark Araripe (1 – Batateiras; 2 – Cachoeira de Missão Velha; 3 – Colina do Horto; 4 – Floresta Petrificada do Cariri; 5 – Parque dos Pterossauros; 6 – Pedra Cariri; 7 – Pontal de Santa Cruz; 8 – Ponte de Pedra e 9 – Riacho do Meio).	27
Figura 11 – Entrada para o geossítio Floresta Petrificada do Cariri.....	28
Figura 12 - Afloramento rochoso de arenito com fragmentos de troncos fossilizados.	29
Figura 13 – Entrada do geossítio Cachoeira de Missão Velha.	30
Figura 14 – Cachoeira de Missão Velha.....	31
Figura 15 – Entrada para o geossítio Colina do Horto.	32
Figura 16 – Estátua do Padre Cícero. Ao lado esquerdo, o casarão azul denominado Museu Vivo do Padre Cícero. E ao fundo, em formato de cúpula com a cor branca, o teto da Igreja do Bom Jesus do Horto.....	32
Figura 17 – Rochas graníticas aflorantes no Santo Selpucro, geossítio Colina do Horto.	33
Figura 18 – Entrada para o geossítio Pontal da Santa Cruz.	34
Figura 19 – Vista aérea do geossítio Pontal de Santa Cruz mostrando o crucifixo e mirante metálicos, a capela mais atrás e, atrás de todos, o restaurante com o parque infantil.	34
Figura 20 – Entrada para o geossítio Ponte de Pedra.	35
Figura 21 – Imagem com uma vista superior da Ponte de Pedra.	36
Figura 22 – Exemplo de projeção retilínea.....	38
Figura 23 – Exemplo de projeção <i>fisheye</i>	38

Figura 24 – Exemplo de projeção equiretangular, ou esférica.	39
Figura 25 – Exemplo de projeção cilíndrica.....	39
Figura 26 - 1 - Modelo 3D de Geoforma destacado; 2 - Interface apresentada ao adicionar pontos específicos (<i>HotSpots</i>); 3,4 e 5 - Exemplo das perspectivas possíveis ao rotacionar o modelo tridimensional.	42
Figura 27 – Fluxograma que ilustra como foi desenvolvida a metodologia do trabalho.	43
Figura 29 – O afloramento próximo à placa que indica o local do geossítio Pedra Cariri coberto por vegetação.....	50
Figura 30 – Pedreira próxima à placa de entrada do geossítio apresentando uma paisagem bastante antropizada.	50
Figura 31 – ARP modelo DJI Mavic II Pro usada no levantamento.	51
Figura 32 – Imagem representando o momento em que a ARP estava levantando voo para obtenção das imagens verticais.....	52
Figura 33 – Representação de como as fotos para a panorâmicas 360° foram adquiridas.....	53
Figura 34 – Janela inicial do software ICE.....	54
Figura 35 – Importação das imagens para realizar a junção, alinhamento e geração da fotografia panorâmica 360°.	54
Figura 36 – Alinhamento e junção das imagens.....	55
Figura 37 – Selecionada a projeção <i>Spherical</i> com um <i>pitch</i> -90° (direção ortogonal ao ambiente).....	55
Figura 38 – Etapa CROP, onde não foi feita nenhuma modificação no tamanho da imagem.	56
Figura 39 – Última etapa, para exportação da imagem no formato JPEG com qualidade alta.....	56
Figura 40 – Filtro <i>Flaming Pear Flexify 2</i> que irá ser aplicado na imagem panorâmica, no software <i>Photoshop 2021</i>	57
Figura 41 – Modificação realizada com relação reorientação da latitude na imagem até que a linha do horizonte seja exibida reta.	57
Figura 42 – Aplicação do filtro na imagem.....	58
Figura 43 – Após aplicar o filtro modificando a latitude para apresentar a linha do horizonte, é usado o efeito de preenchimento de conteúdo para preencher a lacuna, completando o céu... ..	58
Figura 44 – Em Fluxo de Trabalho, estão todas as etapas que foram aplicadas nas imagens para geração dos ortomosaicos. Cada etapa é desbloqueada assim que a anterior for realizada, ou seja, é processo sequencial.	59
Figura 45 – Ortomosaico mostrando uma vista ortogonal a uma área que abrange o geossítio Floresta Petrificada do Cariri.....	61

Figura 46 – Imagem panorâmica 360° representando a entrada da Floresta Petrificada do Cariri.....	62
Figura 47 – Afloramento próximo a entrada do geossítio, localizado à esquerda do observador.	62
Figura 48 – Afloramento mais distante da entrada, seguindo em frente pela trilha.	63
Figura 49 – Ortomosaico do geossítio Cachoeira de Missão Velha.....	64
Figura 50 – Imagem panorâmica 360° para a entrada da Cachoeira de Missão Velha.	64
Figura 51 – Panorâmica 360° tirada a partir da pequena Barragem.....	65
Figura 52 – Representação da Cachoeira vista do lado direito, próximo à entrada.	65
Figura 53 – Vista da Cachoeira de um lado mais a nordeste da entrada.	66
Figura 54 – Vista do geossítio de um lado praticamente paralelo a entrada.	66
Figura 55 – Ortomosaico da área do geossítio Ponte de Pedra.	67
Figura 56 – Vista superior da Ponte de Pedra.	68
Figura 57 – Ponte de Pedra vista de frente.	68
Figura 58 – Mirante da Ponte de Pedra com deslocamento, etapa do <i>software</i> ICE.....	69
Figura 59 – Imagem da entrada da Ponte de Pedra que não foi finalizada no <i>photoshop</i> pois não foi possível aplicar o filtro.	69
Figura 60 – Ortomosaico do geossítio Pontal de Santa Cruz.	70
Figura 61 – Pontal de Santa Cruz visto pelo lado direito.	71
Figura 62 – Pontal de Santa Cruz visto pelo lado esquerdo.	71
Figura 63 – Aplicação do efeito de preenchimento por reconhecimento de conteúdo na cena do Mirante do Pontal de Santa Cruz (1). Ficaram lacunas na parte superior da cruz metálica que não pôde ser reestruturada apenas com a aplicação do efeito, gerando uma imagem com deslocamento e falhas (2).	72
Figura 64 – Uma imagem que exemplifica um deslocamento encontrado na hora da junção das imagens.	73
Figura 65 – Um exemplo para não aplicação do filtro <i>Flaming Pear Flexify 2</i> no <i>software Photoshop</i>	73
Figura 66 – Imagem apresentando como ficou a página inicial.	74
Figura 67 – Imagem da página inicial com as informações sobre cada geossítio.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
API	Application Programming Interface
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CE	Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSS	Cascading Style Sheets
E	East
Fm.	Formação Geológica
HTML	HyperText Markup Language
ICE	Image Composite Editor
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
NE	Nordeste
NW	Noroeste
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
URCA	Universidade Regional do Cariri
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
W	West

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Apresentação	12
1.2	Localização e Acesso.....	14
1.3	Justificativa.....	16
1.4	Objetivos.....	17
1.4.1	<i>Objetivo Geral</i>	17
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Contexto Geológico Regional	18
2.1.1	<i>Província Borborema</i>	18
2.1.2	<i>Bacia do Araripe</i>	20
2.2	Geodiversidade e Geoparque.....	22
2.2.1	<i>Geodiversidade</i>	23
2.2.2	<i>Geoparque</i>	25
2.3	Realidade Aumentada e Geotecnologias	36
2.3.1	<i>Realidade Aumentada</i>	36
2.3.2	<i>Imagens panorâmicas 360°</i>	37
2.3.3	<i>Ambiente virtual online</i>	40
2.3.4	<i>VANT, ARP, Fotogrametria e Modelo Digital</i>	41
3	METODOLOGIA.....	42
3.1	Escritório	43
3.1.1	<i>Levantamento Bibliográfico</i>	43
3.1.2	<i>Elaboração da plataforma de ambiente virtual online</i>	44
3.2	Etapa de Campo.....	48
3.2.1	<i>Aerolevanteamento e aquisição das imagens para compor as panorâmicas 360°</i>	51
3.3	Processamento dos Dados	53
3.3.1	<i>Processamento no ICE e Photoshop 2021</i>	53
3.3.2	<i>Agisoft Metashape Professional</i>	59
3.4	Integração dos Dados	60

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
4.1	Geossítio Floresta Petrificada do Cariri.....	61
4.2	Geossítio Cachoeira de Missão Velha.....	63
4.3	Geossítio Ponte de Pedra.....	66
4.4	Geossítio Pontal de Santa Cruz.....	69
4.5	Geossítio Colina do Horto.....	72
5	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste no resultado do projeto de pesquisa intitulado “Realidade Aumentada Aplicada à Geoconservação: Estudo de caso no GeoPark Araripe”, realizado com o objetivo de apresentar ao Curso de Geologia, no Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Ceará, para obtenção do título de bacharel.

1.1 Apresentação

O emprego das geotecnologias é uma temática cada vez mais abordada nas Geociências atualmente, pois apresentam novos meios de representar e visualizar os ambientes geológicos. Estas tecnologias podem ser aplicadas a diversos setores e de inúmeras formas. Neste contexto, a realidade aumentada e os levantamentos aerofotogramétricos são alguns dos métodos que permitem a representação dos elementos que constituem a paisagem, possibilitando, também, retratar dados geológicos obtidos antes, durante e depois de um levantamento e até mesmo propor previamente como um determinado objeto e/ou fenômeno se comportam.

“A Realidade Aumentada é uma tecnologia que permite ao utilizador transportar o ambiente virtual para o seu espaço em tempo real, utilizando um dispositivo tecnológico, podendo usar a interface do ambiente real para manusear os objetos reais e virtuais” (FERREIRA, 2014, p22). A aerofotogrametria é um método onde são obtidas imagens aéreas de um determinado objeto, por meio de um Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), no qual é programada a forma de obtenção da imagem. Com esses dados e pontos georreferenciados é possível criar modelos tridimensionais, onde são mantidas feições reais do objeto alvo do levantamento. Portanto, segundo SANTOS (2017), o uso dessas tecnologias nas Geociências tem como finalidade, representar a paisagem de maneira lúdica para auxiliar no processo de compreensão da dinâmica ambiental e do uso sustentável dos recursos naturais.

Segundo CPRM (2006), a Geodiversidade pode ser definida como sendo a natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, águas, solos, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico. Atividades de degradação natural ou antrópicas são consideradas uma ameaça à

geodiversidade e seus elementos. Visando a conservação deles foi que surgiu o conceito de Geoconservação. Segundo Sharple (2002), a Geoconservação tem como objetivo preservar a diversidade natural das importantes áreas geológicas, geomorfológicas e pedológicas.

De acordo com Schobbenhaus (2021), um Geoparque Mundial da Unesco (*Unesco Global Geopark*) usa sua herança geológica, correlacionada a todos os outros aspectos do patrimônio natural e cultural da área, para propagar a conscientização e compreensão de desenvolvimento sustentável na sociedade.

O programa de Geoparques Mundiais da UNESCO foi criado em novembro de 2015, durante a 38ª Conferência Geral da UNESCO, com o apoio da Rede Global de Geoparques (GGN), uma associação internacional de geoparques existente desde 2004. O programa tem o intuito de formalizar um reconhecimento governamental da importância de preservar e gerenciar locais com patrimônio geológico (UNESCO, 2021). Após isso, em maio de 2017, foi fundada a Rede Global de Geoparques da América Latina e do Caribe (Red GeoLAC), uma rede regional composta por quatro Geoparques da UNESCO: Araripe - Estado do Ceará, Brasil, Grutas del Palacio - Departamento de Flores, Uruguai, Comarca Minera - Estado de Hidalgo, México, Mixteca Alta - Estado de Oaxaca, México (RED GEOLAC, 2022).

O GeoPark Araripe foi criado em 2006, com o objetivo principal de conservar a geodiversidade presente na Bacia do Araripe, principalmente devido seus registros paleontológicos. Ele é constituído por nove geossítios, localizados em seis municípios da região do Cariri, situada na porção sul do estado do Ceará. Cada um deles possui uma importância singular e de destaque no contexto geológico da região.

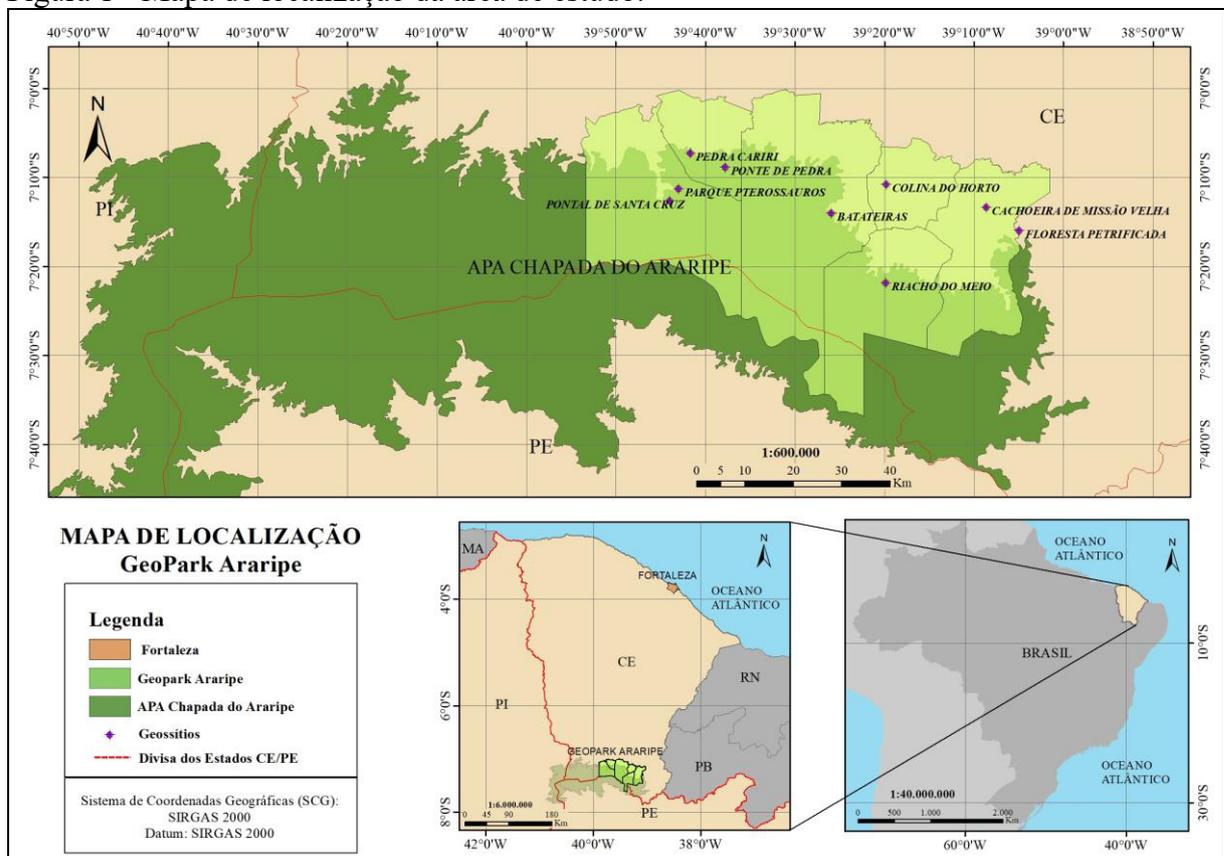
A utilização de geotecnologias como Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) e Realidade Aumentada para a divulgação de locais geológicos e paisagens de destaque, são tidas como ferramentas úteis e com um custo relativamente baixo, que auxiliam para propagação rápida e acessível sobre conteúdos relativos às Geociências. Portanto, a possibilidade de representar a geodiversidade e seus ambientes em meios digitais com o auxílio das mais variadas e novas tecnologias, é um método atual e pertinente, pois permite uma aproximação entre a sociedade, os diversos locais geológicos e suas histórias.

Este trabalho propõe a utilização de técnicas de Realidade Aumentada para representar em ambiente virtual alguns dos geossítios do GeoPark Araripe, facilitando de modo atemporal e a partir de qualquer lugar do mundo o acesso a informações de geodiversidade e geoconservação da área.

1.2 Localização e Acesso

O GeoPark Araripe está localizado na porção sul do estado do Ceará, englobando uma área de aproximadamente 3.441 km² entre os municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri (UNESCO, 2017), como mostra a Figura 1. Sua sede fica no município do Crato, a uma distância de 512 km da capital, Fortaleza. A área de estudo abrange parte de três folhas cartográficas, as folhas Santana do Cariri (SA.24-Y-D-II), Crato (SB.24-Y-D-III) e Jardim (SB.24-Y-D-VI).

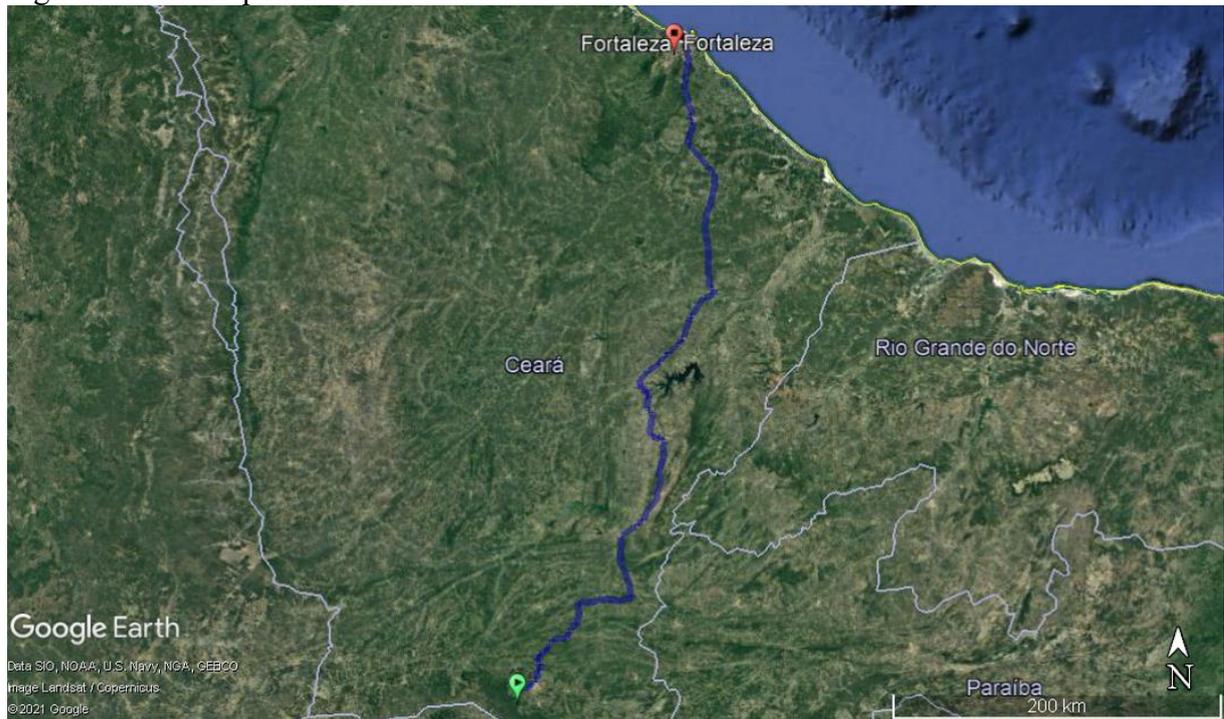
Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

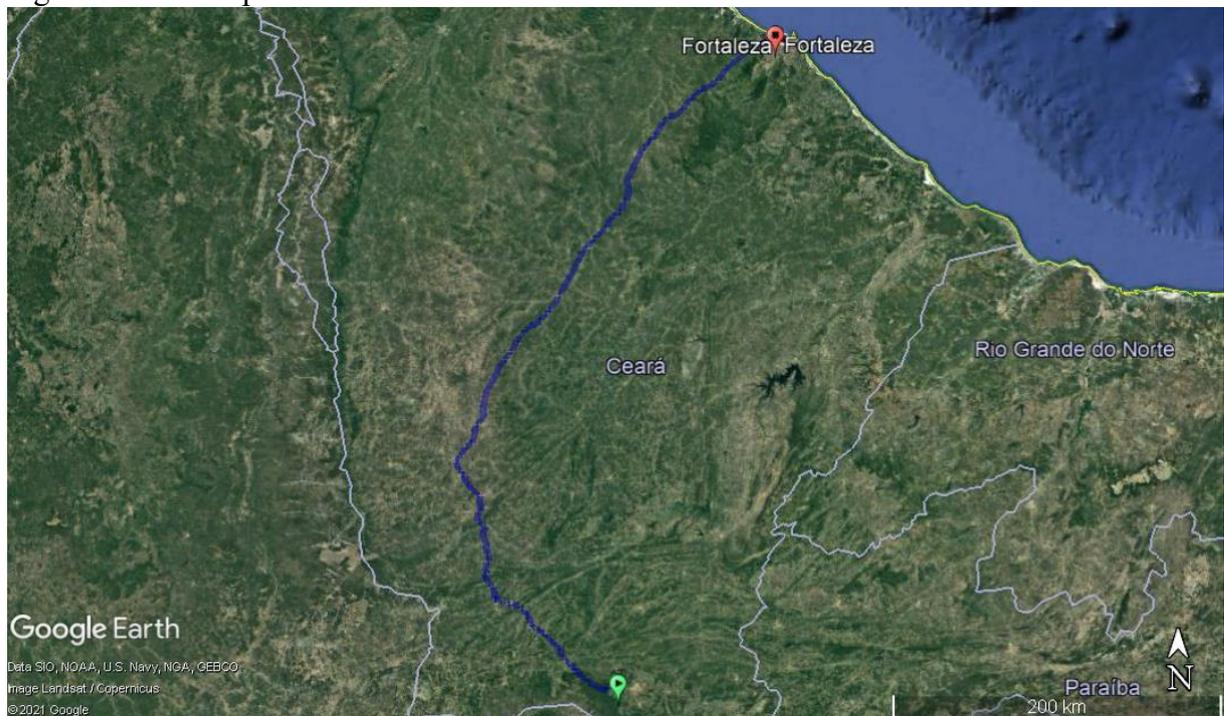
O acesso mais rápido à sede do GeoPark Araripe, localizada no município de Crato-CE, saindo da UFC - Campus do Pici, Fortaleza-CE, é feito pela BR-116, passando pelos municípios de Horizonte, Chorozinho, Morada Nova, Jaguaribe, Icó, Lavras da Mangabeira, Caririçu, Juazeiro do Norte e Crato (Figura 2), percorrendo 521 km. Uma alternativa de deslocamento é pela BR-020, passando pelos municípios de Caucaia, Canindé, Boa Viagem, Tauá, Antonina do Norte, Assaré, Nova Olinda e Crato (Figura 3), percorrendo 548 km.

Figura 2 - Acesso pela BR-116.



Fonte: Google Earth.

Figura 3 - Acesso pela BR-020.



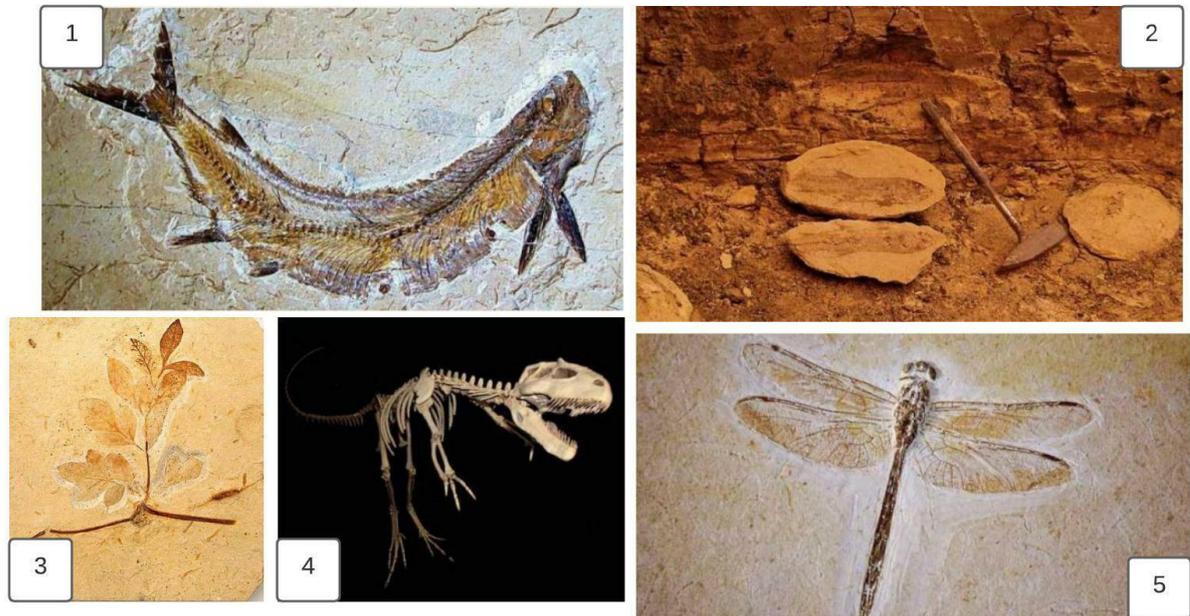
Fonte: Google Earth.

1.3 Justificativa

Nos dias atuais, a representação de dados de geodiversidade em ambiente virtual interativo, seja com mapas, aerofotogrametria, modelos 3D, realidade aumentada, entre outros, vem sendo cada vez mais utilizada, não com o intuito de substituir a visita real a esses locais ou as formas de representação "tradicionais", mas para integrar os diversos meios de acesso ao conhecimento, apresentando previamente os elementos físicos, históricos e culturais que cada ambiente possui (SANTOS, 2017).

Em 2005, foi apresentada à UNESCO a proposta de criação do *Geopark Araripe*, devido às suas ocorrências geológicas únicas, principalmente paleontológicas, visando a proteção e conservação destes registros. Portanto, “em setembro de 2006 o *Geopark Araripe* foi reconhecido pela Rede Global de Geoparques, sob os auspícios da UNESCO, durante a *2nd UNESCO Conference on Geoparks*, que se realizou em Belfast (Irlanda do Norte)” (URCA, 2021). Segundo Assine (2007), o GeoPark Araripe está situado geologicamente na Bacia Sedimentar do Araripe que apresenta nove unidades estratigráficas depositadas sobre o embasamento cristalino pré-cambriano. Algumas dessas unidades apresentam registros fossilíferos diversificados e em bom estado de preservação, como a formação Santana, que apresenta em maior abundância fósseis de peixes, insetos e vegetais, porém, também possui registros de pterossauros, quelônios, dinossauros e crocodilomorfos, assim como fósseis de invertebrados e microfósseis (SOARES, 2022), que podem ser visto na figura 4.

Figura 4 – Fósseis que ocorrem em alguns geossítios do GeoPark Araripe (1 – fóssil de peixe em calcário laminado, 2 – fóssil em forma de concreção, 3 – fóssil de angiosperma em calcário laminado, 4 – representação de fóssil de dinossauro encontrado na região, 5 – fóssil de libélula).



Fonte: GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, (2012).

Todo o reconhecimento e medidas tomadas para garantir a conservação dessa região e seu patrimônio geológico, por parte dos órgãos governamentais e UNESCO, evidenciam o seu valor para a sociedade. A representação virtual dos dados de geodiversidade, de modo mais fidedigno possível, é pertinente, pois contribui para que o conhecimento geológico seja propagado em uma maior velocidade, alcance pesquisadores e leigos, permitindo a eles um conhecimento prévio de boa qualidade.

Então, compreendendo a relevância que o GeoPark Araripe tem para a sociedade como um todo, não apenas a sociedade geológica, fica clara a necessidade de abordar e valorizar todas suas vertentes. Por isso, apresentar seus elementos em ambiente virtual, irá facilitar o contato e difusão do conhecimento, podendo ser acessado a qualquer momento, por pessoas com diferentes objetivos específicos e de qualquer lugar.

1.4 Objetivos

Os objetivos que nortearam este trabalho, geral e específicos, serão descritos a seguir.

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver modelos de realidade aumentada de cinco geossítios do GeoPark Araripe para disponibilização *online* de dados de geodiversidade.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Adquirir fotografias aéreas de alta resolução e imagens panorâmicas 360° utilizando Aeronave Remotamente Pilotada (ARP);
- b) Criar uma plataforma online para acesso as imagens panorâmicas e modelos tridimensionais dos geossítios;
- c) Realizar um levantamento dos dados geológicos e de geoconservação da região, acrescentando-os para visualização na plataforma online.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os conhecimentos prévios necessários para a elaboração deste trabalho foram obtidos por meio de um levantamento bibliográfico, buscando fundamentar ideias importantes a respeito de todos os campos que englobam o projeto. A seguir será apresentado um compilado de informações sobre as principais temáticas envolvidas.

2.1 Contexto Geológico Regional

A Bacia do Araripe está situada na região de fronteira entre os estados do Ceará, Pernambuco, Piauí e perfaz uma superfície total de aproximadamente 9.000 km², sendo implantada sobre o embasamento Pré-Cambriano da Província Borborema, inserida na Subprovíncia da Zona Transversal, a qual é delimitada pelos lineamentos Patos e Pernambuco. Sua forma é alongada segundo o eixo E-W e fortemente compartimentada por falhas reativadas do embasamento pré-cambriano.

2.1.1 Província Borborema

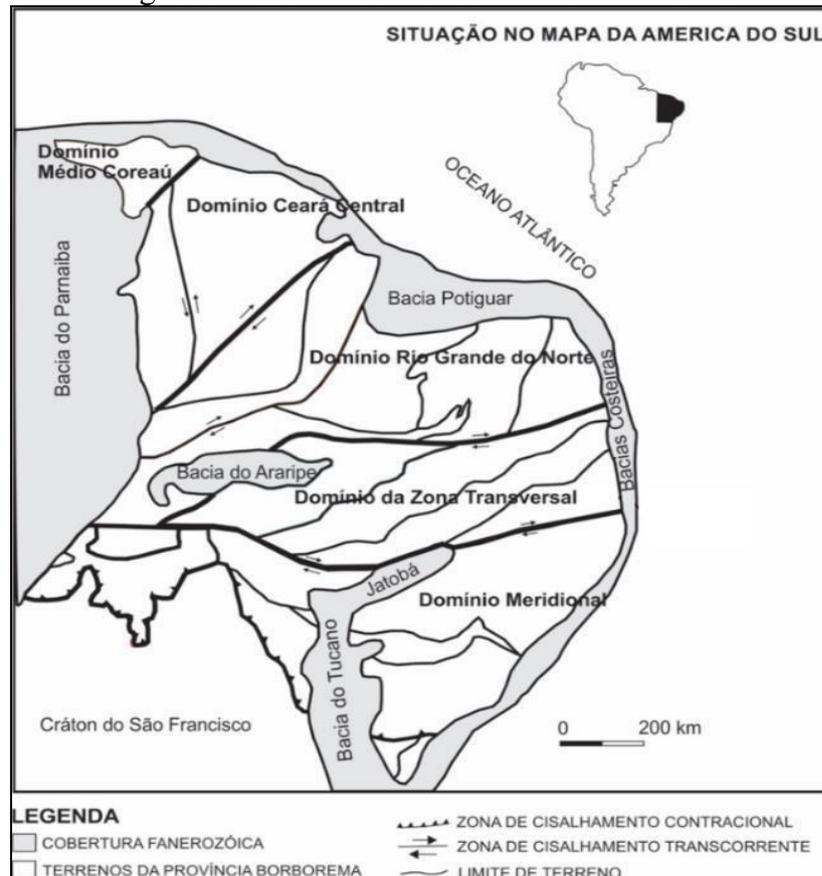
A Província Borborema é descrita por Arthaud *et al.* (2007) como um terreno amalgamado/acrecionário resultante de orogêneses do ciclo Brasileiro/Pan-Africano que ocorreram no Neoproterozóico (650-500 Ma), um evento colisional continental entre os crátons São Luiz/ África Oeste e São Francisco/Congo.

Os eventos deformacionais são os responsáveis pela divisão da Província em três domínios principais de acordo com Van Schmus *et al.* (1995), limitados por três importantes zonas de cisalhamento brasileiras, denominados de Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal ou Central e, Subprovíncia Meridional ou Externa. Sendo elas subdivididas em outros domínios de acordo com dados estruturais, tectônicos, geocronológicos e litoestratigráficos (figura 5).

2.1.1.1 Subprovíncia da Zona Transversal

A Subprovíncia da Zona Transversal, ou Central, trata-se de um segmento crustal configurado estruturalmente como um sistema anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrente dextrais com direção E–W e sinistrais com direção NE–SW (DELGADO *et al.*, 2003). É limitada a norte e a oeste pelo Lineamento Patos, a sul pelo Lineamento Pernambuco e a leste pelas bacias costeiras. De NW para SE, é composta pela Faixa Cachoeirinha e pelos terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe (Jardim de Sá, 1994), que foram amalgamados durante os eventos orogênicos Cariris–Velhos (1,0 a 0,95 Ga) e Brasileiro (750 a 520 Ma).

Figura 5 - Subdivisões da Província Borborema.



Fonte: Lima *et al.*, 2016 (modificada Santos *et al.*, 2000).

2.1.2 Bacia do Araripe

As bacias sedimentares são regiões mais deprimidas do relevo, onde os sedimentos são depositados após serem carreados do seu local de origem. A Bacia do Araripe, considerada a maior bacia do interior do Nordeste, apresenta seqüências mesozoicas onde predominam sedimentos posteriores à formação do Oceano Atlântico Sul, que ocorreu após a separação do Supercontinente Gondwana (ASSINE, 2007). Ela é delimitada pelas coordenadas geográficas 38°30'W e 41°00'W e 7°00'S e 8°00'S, e segundo Assine (2007), também é conhecida por apresentar uma feição geomorfológica alongada na direção EW, a Chapada do Araripe, de topo plano mergulhante suavemente para oeste e limitada por escarpas erosivas e íngremes (figura 6).

Figura 6 – Chapada do Araripe.



Fonte: URCA, (2021).

O processo de implantação das bacias interiores do Nordeste ocorreu em três estágios de subsidência: a) fase Pré-Rifte, que consiste em uma suave subsidência regional; b) fase Sin-Rifte, com rápida subsidência local e; c) fase Pós-Rifte, caracterizada pela volta das condições de suave subsidência regional. Esse contexto geotectônico condicionou o registro estratigráfico nas diferentes bacias, cujas sequências são o reflexo da efetiva atuação destes três estágios (Ponte & Ponte Filho 1996).

De acordo com Assine (2007), as coberturas sedimentares que preenchem a Bacia do Araripe compreendem uma sequência Paleozóica (Fm. Cariri) e as sequências Rifte: Pré – rifte (Fm. Brejo Santo e Fm. Missão Velha), Rifte (Fm. Abaiara), Pós-Rifte I (Fm. Barbalha, Fm. Crato e Fm. Romualdo) e Pós-Rifte II (Fm. Araripina e Fm. Exu).

Os geossítios do GeoPark Araripe que foram selecionados para este estudo estão inseridos, nas seguintes formações geológicas, ordenadas da base para o topo:

Embasamento Cristalino (geossítio do Horto): Consiste no embasamento Pré-Cambriano, citado anteriormente, delimitado pelos Lineamentos Patos e Pernambuco. Segundo Alencar *et al.* (2019), o denominado Plúton Colina do Horto, apresenta rochas ígneas que podem ser descritas como duas unidades intrusivas graníticas, cuja coloração varia de cinza a rosada, de acordo com suas composições químicas.

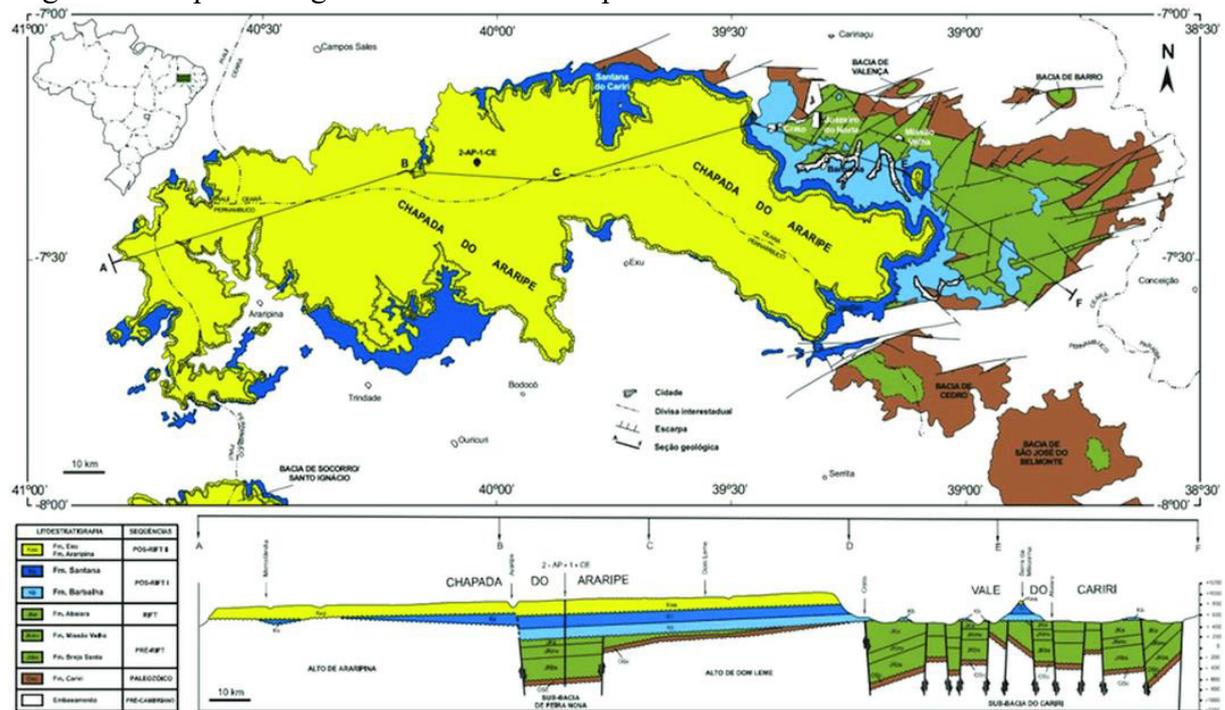
Formação Cariri (geossítio Cachoeira de Missão Velha): Constituída por arenitos imaturos, de granulação média a muito grossa, com grãos angulares a subangulares, interpretados como fácies de sistemas fluviais entrelaçados. Níveis de ortoconglomerados ocorrem, sendo mais comuns na base, onde incluem fragmentos líticos do embasamento e clastos de feldspatos róseos bem preservados. O padrão de paleocorrentes da Formação Cariri, notavelmente constante ao longo da bacia, indica que a sedimentação não teve relação alguma com a geometria dos sítios em que depósitos da unidade estão preservados (ASSINE, 2007).

Formação Missão Velha (geossítio Floresta Petrificada do Cariri): Sobreposta concordantemente a Formação Brejo Santo, tem espessura máxima de cerca de 200 m. É constituída por arenitos quartzosos, por vezes feldspáticos e/ou caolínicos, localmente conglomeráticos, portadores de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada. A associação faciológica é de planícies fluviais de sistemas entrelaçados caracterizados por canais rasos e de alta energia (ASSINE, 2007).

Formação Exu (geossítio Pontal de Santa Cruz e Ponte de Pedra): Depositada em contexto exclusivamente continental, fluvial de leques entrelaçados, encerra a sedimentação cretácea na Bacia do Araripe. É composta por um pacote espesso de arenitos avermelhados finos a conglomeráticos, possuindo também intercalações silticas (ASSINE, 2007).

A Figura 7 representa o mapa geológico da Bacia do Araripe, com suas sequências estratigráficas.

Figura 7 - Mapa Geológico da Bacia do Araripe.



Fonte: ASSINE, 2007.

2.2 Geodiversidade e Geoparque

Esta seção visa fundamentar conceitos, objetivos e características intrínsecas sobre geodiversidade e elementos que compõem um geoparque.

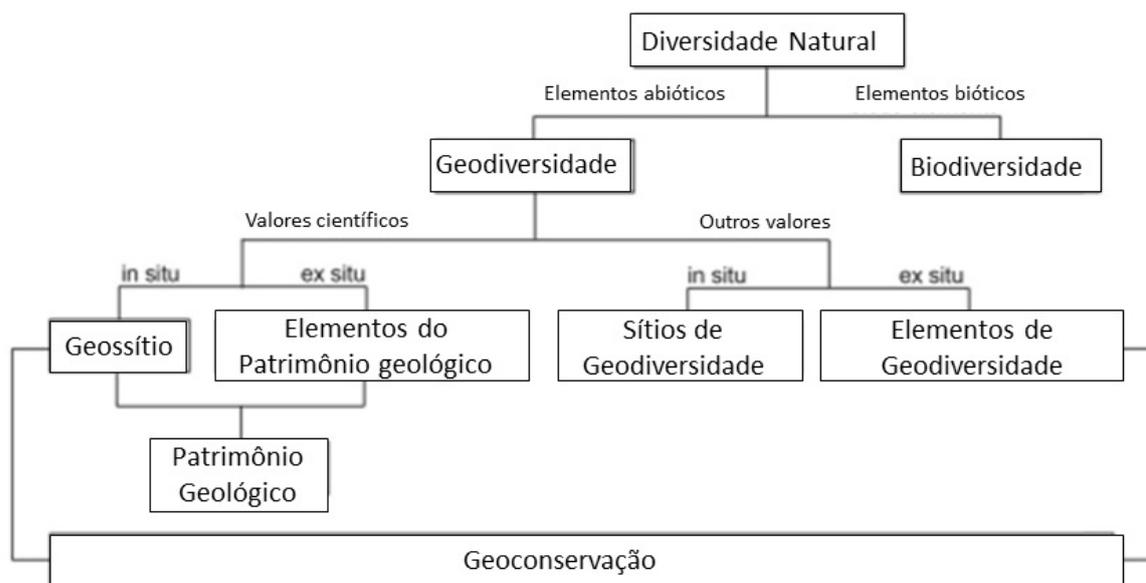
2.2.1 Geodiversidade

Segundo Brilha (2005), a Geodiversidade compreende os aspectos abióticos do nosso planeta, e não somente aqueles já existentes, com um passado geológico, mas também aqueles naturais que estão acontecendo atualmente e modificando a paisagem. A geodiversidade é resultado de uma série de fatores que se correlacionam entre si (Figura 7). Ela engloba desde a formação de minerais e rochas, a toda a interação e intervenção que acontece entre eles e os seres vivos, racionais ou irracionais. Neste contexto, o clima é um fator importante, contribuindo com os processos de intemperismo que ocorrem nas rochas quando as mesmas são expostas a ambientes úmidos ou secos.

A Geoconservação, em sentido amplo, tem como objectivo a utilização e gestão sustentável de toda a geodiversidade, englobando todos os recursos geológicos. Em sentido restrito, entende apenas a conservação de certos elementos da geodiversidade que evidenciem qualquer tipo de valor superlativo. (BRILHA, 2005, p. 51).

Portanto, segundo o mesmo autor, a geoconservação busca um equilíbrio entre um uso racional e sustentável dos recursos geológicos e a conservação de ocorrências geológicas que possuem um alto valor científico, pedagógico, cultural e turístico.

Figura 8 - Diagrama conceitual apresentando como estão distribuídos os diferentes termos usados em geodiversidade.



Fonte: BRILHA (2015), adaptado pela autora.

Brilha (2005) ainda define geossítio como um lugar bem delimitado geograficamente, onde ocorrem um ou mais elementos geológicos que possuem algum valor relevante seja ele científico, pedagógico, cultural ou turístico, sendo patrimônio geológico o conjunto desses geossítios (*in situ*) ou os elementos de alto valor geológico que estão em museus (*ex situ*) (BRILHA, 2015).

A fim de sistematizar tarefas para aplicação da conservação do patrimônio geológico, Brilha (2005) descreve que foi estabelecida uma metodologia denominada como, Estratégias de geoconservação, que agrupam etapas sequenciais, sendo elas: inventariação, quantificação, classificação, conservação, valoração e divulgação e, monitorização.

A inventariação é um levantamento das características gerais do geossítio, como ocorrências geológicas, mapas de localização, registros fotográficos e uma descrição do local após visita de campo. Para que esse levantamento seja eficiente é sugerida a utilização de uma ficha de caracterização, que pode ser elaborada a partir da adaptação da ficha proposta pela ProGEO-Portugal.

O processo de quantificação busca estabelecer uma ordem de valor ou relevância para os geossítios, podendo ser executado simultaneamente ao de inventariação. Nesta etapa é preciso realizar um levantamento justo que leve em conta às características de cada um, o seu uso potencial e nível de proteção.

Segundo Brilha (2005), para a classificação do Patrimônio Geológico é necessário observar em qual âmbito (nacional, regional, local ou municipal) o geossítio se enquadra, após isso, o processo de classificação vai ocorrer juntamente aos órgãos e gestores responsáveis de cada esfera.

Seguindo as definições do autor citado anteriormente, a etapa de conservação visa conservar aqueles geossítios de maior relevância, que estão relativamente expostos a atividades de degradação devido a fatores naturais e/ou antrópicos, garantindo a integridade física do geossítio, associada a uma exposição ao público, seja ela presencial ou por outros meios, como por exemplo, exposições fotográficas, digitais, entre outros, caso necessário.

A valorização e divulgação do Patrimônio Geológico integram todos os geossítios, principalmente aqueles que não estão expostos a riscos de degradação e vulnerabilidade, pois eles são ideias para serem incluídos a roteiros turísticos e ações de educação geocientíficas e ambientais (BRILHA, 2005). A valorização consiste em realizar ações que informem e ensinem ao público sobre o valor dos geossítios, ela deve preceder a

divulgação, cuja meta é transmitir uma mensagem em uma linguagem acessível, agradável e ao mesmo tempo relevante, ao público a qual se deseja atingir.

Por fim, a etapa de monitorização que tem como objetivo definir ações de manutenção de cada geossítio, garantindo assim que sejam mantidas suas características físicas juntamente com sua relevância, ao mesmo passo que monitora o nível de vulnerabilidade de cada local.

2.2.2 Geoparque

UNESCO (2017) define Geoparques como:

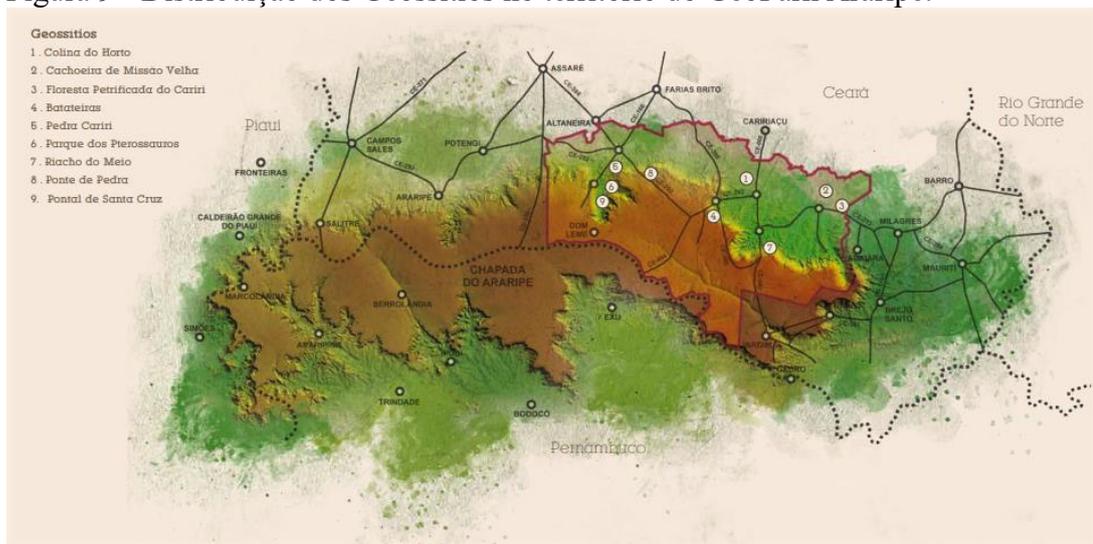
Áreas geográficas unificadas, onde sítios e paisagens de relevância geológica internacional são administrados com base em um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. Sua abordagem ascendente que combina a conservação com desenvolvimento sustentável e que, ao mesmo tempo, envolve as comunidades locais, está se tornando cada vez mais popular. Atualmente, existem 169 Geoparques Mundiais da UNESCO em 44 países. No Brasil, o GeoPark Araripe é o único com selo UNESCO.

De acordo com Global Geoparks Network (2022), no ano 2000 foi estabelecida a Rede Europeia de Geoparques, uma associação entre os geoparques da Europa para proteção do patrimônio geológico e promoção do desenvolvimento sustentável. Em abril de 2001, a Rede Europeia de Geoparques ganhou apoio da UNESCO, colocando a rede sob auspício da organização. Após três anos do início dessa parceria, com o objetivo de expandir as diretrizes da Rede Europeia de Geoparques para demais países, foi fundada a Rede Global de Geoparques (*Global Geoparks Network*) oficializada como uma associação internacional em 2014 (GLOBAL GEOPARKS NETWORK, 2022). No entanto, em novembro de 2015 foi ratificada a criação do programa de Geoparques Globais da UNESCO, para obter um reconhecimento formal por parte dos órgãos governamentais e reiterar sobre a necessidade de preservar e divulgar os elementos que constituem esses ambientes (UNESCO, 2021). Já em 2017, foi fundada uma rede de caráter regional, a Rede Global de Geoparques da América Latina e do Caribe (Red GeoLAC), com o intuito de ser uma rede de apoio e troca de experiências, para proporcionar um crescimento equitativo e, dar mais destaque aos geoparques. Esta rede é composta por quatro Geoparques da UNESCO: Araripe - Estado do Ceará, Brasil, Grutas del Palacio - Departamento de Flores, Uruguai, Comarca Minera - Estado de Hidalgo, México, Mixteca Alta - Estado de Oaxaca, México (RED GEOLAC, 2022)

O GeoPark Araripe, situado no sul do estado do Ceará, foi reconhecido pela UNESCO em 2006 como o primeiro Geoparque das Américas. Essa área está inserida na Bacia Sedimentar do Araripe, um importante marcador geológico do período Cretáceo, que apresenta registros paleontológicos e sedimentológicos únicos em todo o planeta e por isso devem ser conservados.

Para conservação desse patrimônio geológico foram criados nove geossítios, que estão localizados nos municípios citados anteriormente. Segundo a UNESCO (2017), cada geossítio caracteriza um período diferente do tempo geológico, classificados e divididos em grupos de interesse científico (Floresta Petrificada do Cariri, Parque dos Pterossauros, Pedra Cariri), geológico, valores históricos e culturais (Cachoeira de Missão Velha, Colina do Horto, Pontal de Santa Cruz e Ponte de Pedra) e, ecológico (Batateiras e Riacho do Meio). As figuras 9 e 10 apresentam a distribuição dos geossítios e suas características.

Figura 9 - Distribuição dos Geossítios no território do GeoPark Araripe.



Fonte: GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, (2012).

Figura 10 - Geossítios do GeoPark Araripe (1 – Batateiras; 2 – Cachoeira de Missão Velha; 3 – Colina do Horto; 4 – Floresta Petrificada do Cariri; 5 – Parque dos Pterossauros; 6 – Pedra Cariri; 7 – Pontal de Santa Cruz; 8 – Ponte de Pedra e 9 – Riacho do Meio).



Fonte: URCA, (2021).

Neste trabalho foram selecionados cinco dos nove geossítios dispostos na área, sendo um de interesse científico (Floresta Petrificada do Cariri) e os quatro de interesse geológico, valores históricos e culturais (Cachoeira de Missão Velha, Colina do Horto, Pontal de Santa Cruz e Ponte de Pedra). Os geossítios ecológicos não foram selecionados, pois estão inseridos em áreas com uma vegetação mais arbustiva, mata densa, o que dificultaria a execução do voo da ARP.

Localizado a 6 km do município de Missão Velha, o geossítio Floresta Petrificada do Cariri (Figura 11) possui um relevo acidentado, resultante de eventos erosivos que deixaram expostos afloramentos de coloração avermelhada, os arenitos da Fm. Missão Velha. Juntos deles estão fragmentos de troncos fossilizados e depositados ali, após serem transportados por rios, no Período Jurássico, como mostra a Figura 12. Tudo isso atribui ao geossítio um valor científico-didático, principalmente pelas suas evidências paleobotânicas,

que contribuem para identificar os aspectos fisiográficos da região no final do Jurássico e, contar a história da evolução geológica.

Figura 11 – Entrada para o geossítio Floresta Petrificada do Cariri.



Fonte: Autora (2021).

Figura 12 - Afloramento rochoso de arenito com fragmentos de troncos fossilizados.



Fonte: Autora (2021).

O geossítio Cachoeira de Missão Velha (Figura 13), localizado no Sítio Cachoeira, a 3 km de distância da sede do município de Missão Velha, há tempos é conhecido na região por ser um lugar que possuía águas superficiais durante todo o ano, pois está situado no percurso do rio Salgado. Historicamente, regiões próximas a rios são lugares habitados pelos seres humanos em decorrência de uma melhor possibilidade de sobrevivência. Portanto, existem vestígios de populações indígenas na Cachoeira, mais precisamente relacionados aos índios Kariris, que foram os primeiros habitantes da região. Segundo o Governo do Estado do Ceará (2012), no que diz respeito à geologia, o local é formado por arenitos com estratificações cruzadas e plano-paralelas, da Fm. Cariri, icnofósseis e marmitas. A Figura 14 apresenta uma visão de uma porção da queda d'água da cachoeira.

Figura 13 – Entrada do geossítio Cachoeira de Missão Velha.



Fonte: Autora (2021).

Figura 14 – Cachoeira de Missão Velha.



Fonte: Autora (2021).

A uma distância de 3 km da cidade de Juazeiro do Norte, está o geossítio Colina do Horto (Figura 15), composto por estruturas como a Estátua do Padre Cícero, Museu Vivo do Padre Cícero, a Igreja do Bom Jesus do Horto, apresentados na Figura 16 e a trilha de acesso ao Santo Sepulcro (Governo do Estado do Ceará, 2012). Este geossítio é reconhecido pela maioria das pessoas pela sua carga histórico-religiosa, já que possui uma estátua monumental, de 27 m de altura, em homenagem ao padre Cícero Romão Batista. Além de fundador da cidade de Juazeiro do Norte, padre Cícero é conhecido no país, principalmente no Nordeste, como um santo popular. O espaço também inclui um museu que possui artefatos que contam a história do padre e da cidade, que estão intimamente relacionadas. As rochas mais antigas da região do Cariri são encontradas no embasamento cristalino da Chapada do Araripe, constituído por rochas graníticas que afloram no Santo Sepulcro (Figura 17), um lugar que combina geologia e crenças religiosas.

Figura 15 – Entrada para o geossítio Colina do Horto.



Fonte: Autora (2021).

Figura 16 – Estátua do Padre Cícero. Ao lado esquerdo, o casarão azul denominado Museu Vivo do Padre Cícero. E ao fundo, em formato de cúpula com a cor branca, o teto da Igreja do Bom Jesus do Horto.



Fonte: Autora (2021).

Figura 17 – Rochas graníticas aflorantes no Santo Selpucro, geossítio Colina do Horto.



Fonte: Autora (2021).

Segundo o Governo do Estado do Ceará (2012), no topo da Chapada do Araripe, a uma altitude de aproximadamente 750 m e a 4 km do município de Santana do Cariri, está situado o geossítio Pontal de Santa Cruz (Figura 18). Ele é conhecido por permitir que as pessoas tenham uma visão panorâmica de parte da Chapada do Araripe, do grande vale do rio Cariús e do município de Santana do Cariri. O Pontal, além da bela paisagem, possui um restaurante e parque infantil para os visitantes e uma pequena capela com um crucifixo na sua frente, símbolo religioso utilizado para agradecer milagres e proteger a região de espíritos ruins e “assombrações”, como relatam as lendas populares da região (Figura 19). Geologicamente, nesse local são encontrados arenitos da Fm. Exu, caracterizados por serem bastante coesos e terem uma boa permeabilidade, o que permite o acúmulo de água nas camadas subjacentes da Chapada (Governo do Estado do Ceará, 2012).

Figura 18 – Entrada para o geossítio Pontal da Santa Cruz.



Fonte: Autora (2021).

Figura 19 – Vista aérea do geossítio Pontal de Santa Cruz mostrando o crucifixo e mirante metálicos, a capela mais atrás e, atrás de todos, o restaurante com o parque infantil.



Fonte: Autora, (2021).

Por fim, o geossítio Ponte de Pedra, localizado a 9 km da sede do município de Nova Olinda, caracterizado por uma formação rochosa que liga duas partes separadas por um riacho, ficando assim com a função de uma ponte natural (Figuras 20 e 21). Segundo o Governo do Estado do Ceará (2012), é possível presumir que essa ponte serviu como trilha para povos antigos, visto que nas proximidades existem evidências arqueológicas de tal fato, como gravuras e pinturas rupestres além de restos de cerâmica constituídas por um material lítico usado por povos Kariris. Em termos geológicos, a ponte é resultado de um processo intenso de erosão hídrica sobre o arenito da Fm. Exu, que apresenta diferentes níveis granulométricos, restando aquele que possui maior resistência.

Figura 20 – Entrada para o geossítio Ponte de Pedra.



Fonte: Autora (2021).

Figura 21 – Imagem com uma vista superior da Ponte de Pedra.



Fonte: Autora (2021).

2.3 Realidade Aumentada e Geotecnologias

Para esta seção são abordados os conceitos, métodos e aplicações a respeito de realidade aumentada e geotecnologias, apresentando uma maneira de integração entre elas.

2.3.1 Realidade Aumentada

“O avanço tecnológico tem revolucionado a forma e a velocidade com que as informações são acessadas e gerenciadas, oferecendo comodidade quanto à gestão integrada da informação.” (MARTINS, 2018, p. 27).

De acordo com Santos (2017), o desenvolvimento de novas tecnologias trouxe facilidades de acesso à informação, pela sua alta capacidade de armazenamento, velocidade de processamento e pela compatibilidade entre os sistemas.

A Realidade Virtual e a Realidade Aumentada são assuntos discutidos atualmente no mundo tecnológico, em que a primeira consiste basicamente em um ambiente digital falso com efeitos sonoros, visuais e por vezes até táteis capazes de levar o usuário a um ambiente diferente daquele em que ele está, é um mundo digital. Já a realidade aumentada é a aplicação

de um ambiente real em meio digital, com elementos e informações virtuais do mundo real, apresentando ao usuário um ambiente mais fiel possível àquele que se busca representar.

Kirner (2007) destaca que:

Enquanto a realidade virtual depende de equipamentos de visualização, como monitor, projetor e capacete, normalmente utilizados em ambientes fechados, a realidade aumentada não apresenta esta restrição com dispositivos misturadores, podendo ser usada em qualquer ambiente (fechado ou aberto), sendo, portanto, mais abrangente e universal.

As novas tecnologias estão surgindo para auxiliar nos estudos das geociências, de tal maneira que seja possível se obter novas possibilidades de representação espacial de um determinado objeto, ou meio físico, a ponto de correlacionar todos os elementos que o compõem e o conhecer de modo mais preciso e aproximado da realidade.

2.3.2 *Imagens panorâmicas 360°*

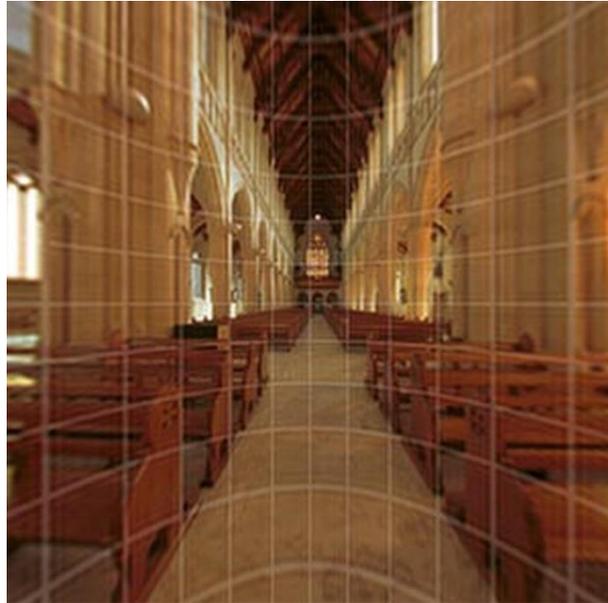
Uma imagem panorâmica visa apresentar um ambiente por meio de uma fotografia onde seja captada uma visão total do seu espaço físico, na vertical ou horizontal. Portanto, são capturadas várias fotografias em sequência para formar uma única imagem que representa o espaço de modo abrangente. Porém, como o objetivo é representar uma superfície curva em uma imagem plana ocorrem algumas distorções. Para tentar suavizar estas distorções existem diferentes tipos de projeções de imagens. As mais comuns são as projeções retilínea, *fisheye*, equiretangular e cilíndrica.

Segundo Mchugh (2005-2020), a projeção retilínea é a mais comum na obtenção de imagens panorâmicas. Esta projeção permite mapear todas as linhas retas de um espaço 3D real e as representar na imagem projetada. Ela tende a distorcer as imagens à medida em que o campo de visão se aproxima do observador, ou seja, próximo à borda da imagem. Portanto, não é recomendado obter imagens com ângulos de campo visual maiores que 120°. A Figura 22 apresenta um ambiente com imagem obtida por meio de projeção retilínea.

A projeção *fisheye* tem como objetivo criar um *grid* achatado onde a distância do centro deste *grid* é aproximadamente proporcional ao ângulo de visão real, produzindo uma imagem que seria semelhante ao reflexo de uma esfera metálica. Ela geralmente não é utilizada como um formato de saída para fotografias panorâmicas, mas pode, em alternativa, representar as imagens de entrada quando a lente da câmera é do tipo grande angular no modelo *fisheye*. As projeções *fisheye* são limitadas a ângulos verticais e horizontais de visão

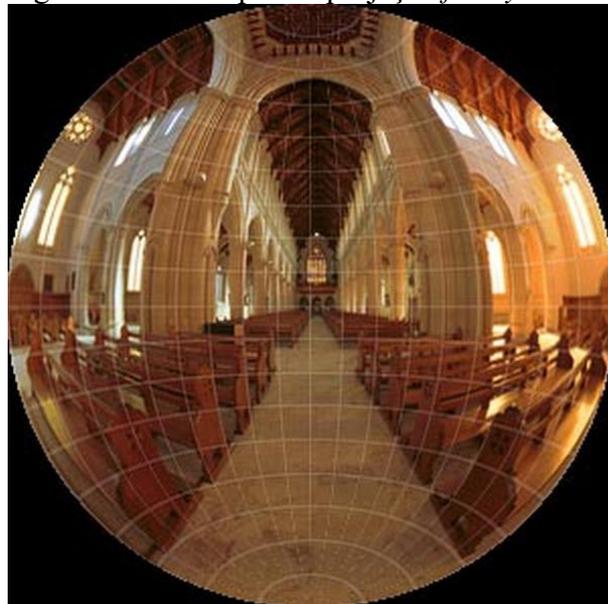
igual ou menor que 180° , produzindo uma imagem que se encaixa dentro de um círculo (MCHUGH, 2005-2020), como mostra a Figura 23.

Figura 22 – Exemplo de projeção retilínea.



Fonte: Panotools, (2021).

Figura 23 – Exemplo de projeção *fisheye*.



Fonte: Panotools, (2021).

A projeção equiretangular (esférica) mapeia a latitude e longitude de um globo esférico diretamente em coordenadas horizontais e verticais em um *grid* que apresenta uma largura duas vezes maior que a altura. A imagem vertical permanece vertical, já o eixo horizontal tende a ficar mais esticado à medida que se aproxima dos polos (MCHUGH, 2005-

2020). Projeções equiretangulares podem mostrar todo o ângulo horizontal de até 360 graus e o vertical de 180 graus (VALENTE, 2010). Essa projeção está representada na Figura 24.

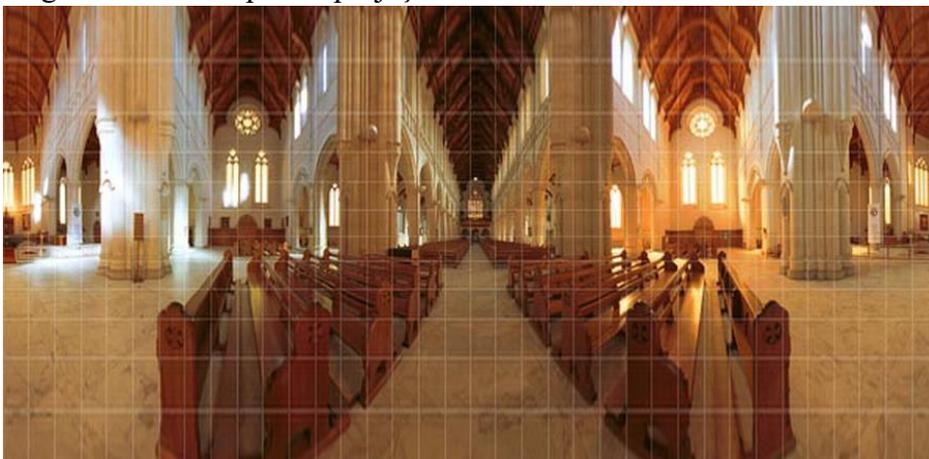
Figura 24 – Exemplo de projeção equiretangular, ou esférica.



Fonte: Panotools, (2021).

Já a projeção cilíndrica é semelhante à equiretangular, excetuando que os objetos das imagens ficam esticados também na vertical, à medida em que se aproximam dos polos norte e sul. Portanto, os objetos tendem a esticar infinitamente nos polos, não apresentando nenhuma linha horizontal na parte inferior e superior do *grid* achatado. É por esta razão que as projeções cilíndricas não são muito adequadas para as imagens com ângulos muito grandes de visão vertical. Projeções cilíndricas mantêm relativamente o tamanho dos objetos, em comparação com a projeção retilínea, porém isso ocorre por meio de linhas de renderização paralelas a linha de visão do observador (MCHUGH, 2005-2020). Um exemplo de projeção cilíndrica pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Exemplo de projeção cilíndrica.



Fonte: Panotools, (2021).

Demais projeções como Mercator, Estereográfica e Sinusoidal, possuem características semelhantes a algumas das projeções descritas anteriormente, sendo diferenciadas por perspectivas ou detalhamento. Por este motivo, elas não foram abordadas. Para a elaboração deste trabalho a projeção utilizada nas imagens foi a equiretangular, ou esférica, por permitir a obtenção de um resultado mais completo com relação à representação de um ambiente em 360° em uma plataforma virtual.

2.3.3 Ambiente virtual online

Segundo Zambaldi (2021), a programação pode ser definida como ponto chave crucial entre *hardware* e *software*, pois a sua aplicação é o que permite que um *hardware* (máquina) apresente de maneira mais clara e didática as suas funções, através dos *softwares*. Ou seja, todos os programas usados nos computadores são elaborados em uma determinada linguagem de programação com o intuito de facilitar a vida dos usuários leigos em relação a suas características internas. Portanto, a linguagem de programação consiste em um método de comandos padronizados com instruções específicas para serem executados pela máquina.

Existem variadas linguagens de programação com diversas aplicações, porém a mais utilizada para elaboração de plataformas *web* é a JavaScript, que juntamente com o HTML e CSS formam a tríade de tecnologias que compõem a internet, tendo sido utilizadas, ainda, para a elaboração da plataforma do ambiente virtual online deste trabalho.

O HTML (*HyperText Markup Language*) é uma linguagem de marcação de hipertexto que utiliza *tags* (etiquetas) para estruturar a exibição de textos, imagens, gráficos, enfim, todos os elementos que são apresentados como conteúdo informativo. Basicamente, é o “esqueleto” de uma plataforma, responsável pela sua organização e estrutura básica realizada por meio das “tags”, sinalizando onde e como cada elemento deve ser executado. A estrutura de um documento do tipo HTML é iniciada com “`<!DOCTYPE html>`”, e adicionadas as informações entre as tags “`<html>` e `</html>`”. Ou seja, `<` inicia a escrita, e `>` finaliza.

Entre as *tags* “`<head>` `</head>`” é adicionado o cabeçalho, para assim adicionar o título desejado entre as tags “`<title>` `<title>`”, já entre as *tags* “`<body>` `</body>`” é adicionado todo o conteúdo que irá compor o documento.

O CSS (*Cascading Style Sheets*) é uma linguagem de estilos, responsável pela apresentação visual das informações, ou seja, o *design*. A linguagem de marcação HTML é utilizada para apresentar o conteúdo estruturado, porém não realiza uma organização visual nos mesmos;

para isso é empregado o CSS, responsável pelas alterações de estilos do texto, fonte, cor, posição na página entre outras características estéticas. O CSS, quando escrito dentro de um código HTML, é configurado entre as tags “<style> estilos </style>”.

O JavaScript é uma linguagem de programação utilizada para dinamizar a página *web*, ou seja, é a aplicação do HTML e CSS de um modo interativo. A partir desta linguagem as informações e elementos elaborados são disponibilizados na plataforma *web*. Assim como o HTML e CSS, ela precisa ter em sua estrutura uma *tag* de abertura e outra de encerramento, escrita entre “<script> </script>”. Os dados da linguagem de programação JavaScript podem ser representados em arquivos com formato de notação chamado JSON, cuja finalidade é apresentar a formatação dos dados de modo fácil e comum a diversas linguagens. Os arquivos JSON são escritos entre chaves {}.

2.3.4 VANT, ARP, Fotogrametria e Modelo Digital

Segundo o glossário da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) pode ser definido como uma aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos, sejam eles aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos. Ainda segundo a ANAC, Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), é uma especificação de VANT, que possui uma estação de pilotagem remota.

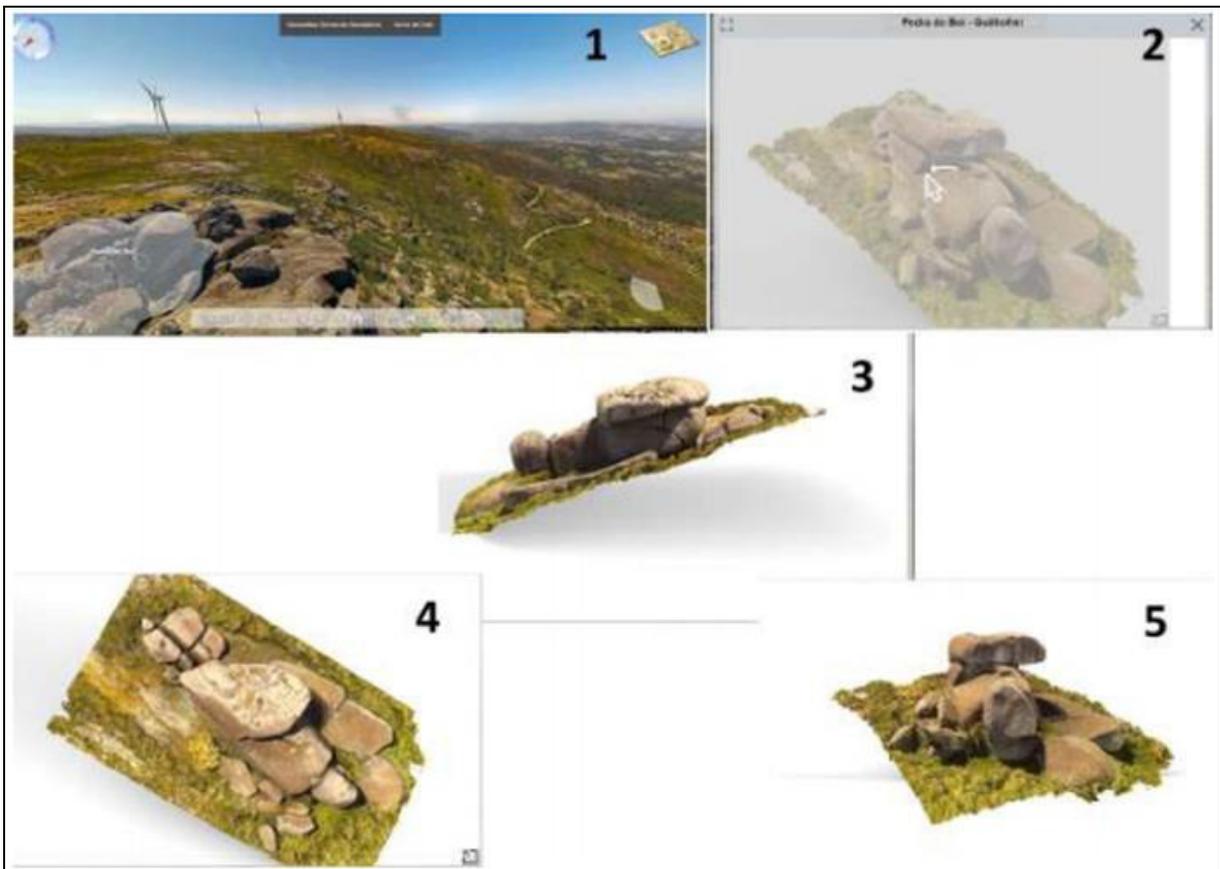
Tommaselli (2009) trouxe a definição etimológica para a palavra fotogrametria cujos radicais vêm do grego: *photon* [luz], *graphos* [escrita] e *metron* [medições], significando, portanto, medições gráficas executadas usando a luz. Ainda segundo o mesmo autor, embora originalmente a fotogrametria se ocupasse em realizar a análise por meio de fotografias, atualmente esta definição também engloba dados provenientes de sensores remotos. Segundo Martins (2018), fotogrametria também pode ser definida como a ciência de obtenção de informações confiáveis sobre as propriedades de superfícies e objetos, sem o contato físico com esses alvos, bem como a medida e interpretação destas informações.

Apesar da variedade de mecanismos de imageamento de superfícies já existentes, na última década os veículos aéreos não-tripulados têm se popularizado para aplicações diversas, desde veículos de comunicação e entretenimento, militares, científicos, ambientais, etc. “Os produtos gerados a partir dos dados remotos obtidos por VANTs facultam versatilidade da escala de análise e do recorte espacial a ser imageado, redução de custos no

processo de aquisição de dados, otimização de tempo e qualidade dos dados obtidos.” (SANTOS, 2017).

Um Modelo Digital pode ser definido como uma representação de um determinado alvo em uma escala menor. Seja ele Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Superfície (MDS), o seu objetivo é representar alvos presentes na área imageada. O que difere o MDT do MDS é que o primeiro tem como principal função representar apenas a topografia do terreno, enquanto o segundo representa a superfície com os elementos que a compõem, como vegetação e edificações. Um exemplo de modelo 3D em ambiente virtual está representado na Figura 26.

Figura 26 - 1 - Modelo 3D de Geoforma destacado; 2 - Interface apresentada ao adicionar pontos específicos (*HotSpots*); 3,4 e 5 - Exemplo das perspectivas possíveis ao rotacionar o modelo tridimensional.



Fonte: SANTOS, 2017.

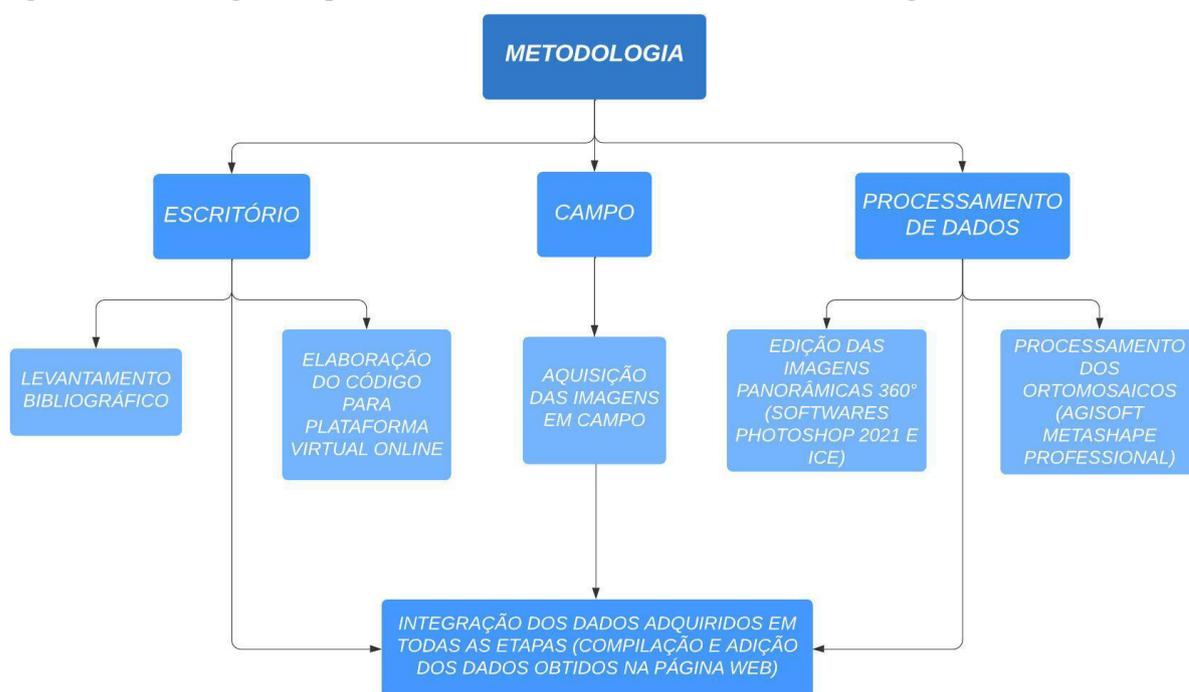
3 METODOLOGIA

A metodologia geral envolve quatro grandes etapas interligadas: escritório, campo, processamento dos dados e integração dos dados (Figura 27), onde foram pautadas e

realizadas etapas mais específicas, de acordo com o que compete a cada uma, visando facilitar a execução das atividades para alcance do objetivo proposto.

O desenvolvimento do trabalho além da parte de levantamento teórico, para melhor entendimento sobre as áreas abrangentes, contou com uso de diferentes *hardwares* (computador, câmera de aparelhos celulares e ARP) e *softwares* (ArcGis 10.6.1, *Photoshop* 2021, *Image Composite Editor* e *Agisoft Metashape Professional*) nos quais foram adquiridos e/ou processados os dados essenciais para execução do projeto.

Figura 27 – Fluxograma que ilustra como foi desenvolvida a metodologia do trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Escritório

Nesta etapa foi realizado todo o estudo teórico e elaborado o código para uso na plataforma virtual *online*. Apesar de essa etapa ser tomada como primeira parte do trabalho, ela também ocorreu simultaneamente com as demais etapas sempre que necessário.

3.1.1 Levantamento Bibliográfico

Consistiu em uma revisão bibliográfica de pesquisas já desenvolvidas com as temáticas abordadas neste trabalho, para melhor entendimento de definições, métodos e execução das metodologias em estudo. Portanto, por meio de pesquisas *online* em variadas fontes, foi possível agrupar informações e conhecimentos acerca de realidade aumentada,

modelagem tridimensional e geodiversidade, principalmente no que diz respeito à área de estudo, o GeoPark Araripe.

3.1.2 Elaboração da plataforma de ambiente virtual online

A elaboração de uma Interface de Programação de Aplicação (*Application Programming Interface-API*) ocorreu de maneira simultânea em todos os processos do projeto, estando em constante revisão e aplicação, por ser a maior responsável na execução do produto final.

Para a criação do código para a API, desenvolvida em linguagem JavaScript, foi usado como base a biblioteca para tour virtual ForgeJS, ou seja, essa biblioteca contém a estrutura principal do código para a plataforma do ambiente virtual, coube à autora realizar as modificações que julgou necessárias para adaptar ao que estava planejado. Tais dados sobre a composição do código fonte e suas modificações serão apresentados a seguir.

3.1.2.1 HTML

O documento HTML da aplicação segue a estrutura básica de documentos HTML composta pela instrução `<!DOCTYPE>` e pelas *tags* `<html>`, `<head>` e `<body>`.

Visto que o código foi reestruturado do código base do ForgeJS, optou-se por configurá-lo em português brasileiro, sendo assim a *tag* `<html>` recebe o atributo `<html lang = "pt-BR">`.

Dentro da *tag* `<head>` foram mantidas, em suma, a maioria das configurações padrão já fornecidas pelo código fonte da API. Ou seja, as *tags* `<meta>` foram todas mantidas na íntegra e sem modificações, à exceção da que contém o atributo `<meta author="" content="">` que delimita o autor do código teste modificado apresentado no repositório listado. Já a *tag* `<title></title>`, que permite definir o título do documento e será visto na aba (ou barra de título) do navegador, teve a adição de título genérico para a aplicação Tour Virtual - Geodiversidade, mas que pode ser modificado para novas aplicações. Logo em seguida são *linkados* os arquivos CSS, que serão aplicados mais a frente, junto de uma *tag* `<style>` que faz referência ao dimensionamento da janela de exibição da aplicação, conforme presente também no código fonte da API.

Dentro da *tag* `<body>`, por outro lado, é onde serão feitas as modificações majoritárias por parte do usuário para elaboração da ferramenta de Tour Virtual desejado,

visto que é onde são inseridos os *hotspots* de informação. Ainda assim, algumas frações do código fonte são mantidas sem alterações, sendo elas a *tag* `<div id = "container"></div>` no início do `<body>` para facilitar a estilização do arquivo CSS aplicado; e a aplicação das *tags* `<script>`, que permite a inserção de códigos JavaScript em uma página, possibilitando assim adicionar as bibliotecas base de construção da API, ThreeJS e Hammer.Js, a biblioteca da própria API, ForgeJS, além do seu código de inicialização, a partir da criação de uma variável, `var = visualizador`, que armazena a função base da API, `FORGE.Viewer()`.

Entre a *tag* `<div>` inicial, que contém o `<id = "container">`, e a primeira *tag* `<script>`, adicionada para importação das bibliotecas, é onde são adicionadas as configurações base dos *hotspots*. Cada *hotspot* é definido por uma `<div>` que precisa conter as propriedades `id=""`, contendo a identificação daquele *hotspot* (que deve ser a mesma atribuída no arquivo JSON para a cena no qual ele será inserido) e `class=""`, contendo a atribuição *hotspot* que permitirá o link com as configurações visuais do arquivo CSS. Dentro dessa `<div>` se adiciona uma *div* adicional com a atribuição da `class="hotspot-zone">`, também para englobar configurações gerais presentes nos arquivos CSS. A partir disso, o *hotspot* pode ser dividido em três blocos principais, que terão seu preenchimento variado a depender dos tipos disponíveis, são eles o Interruptor, o Container de Textos, Ícones etc., e a atribuição direta de conteúdo do *hotspot*.

3.1.2.2 CSS

Os documentos CSS utilizados no projeto foram *linkados* dentro da `<head>` do documento HTML, tratando-se do `main.css` e `normalize.css`. Ambos foram mantidos na íntegra e sem alterações, conforme o código-base da API.

O `main.css` é elaborado como apêndice natural da própria API, possuindo como principal função a configuração de estilos da janela de exibição da aplicação (*viewport*) e de todos os *hotspots* possíveis disponibilizados pela API. Sendo assim, para modificações de estilo mais profundas no estilo dos *hotspots*, para além das que são possíveis de serem realizadas dentro do documento HTML, é necessário mudar o conteúdo discriminado entre as linhas 449 e 886 do documento `main.css`.

O `normalize.css`, por outro lado, é um documento de elaboração externa de ampla utilização para projetos web de forma geral, surgindo como uma alternativa ao arquivo `reset.css`, que permite uma interoperabilidade da página entre navegadores diversos, dando consistência à estilização dos elementos HTML. O arquivo, portanto, preserva a estilização da

página adequando ao padrão de diversos navegadores, normaliza as estilizações e corrige possíveis falhas.

3.1.2.3 JSON

O documento JSON utilizado no projeto permite a declaração de diversas configurações para a customização do projeto. Seus elementos essenciais serão descritos a seguir.

A "camera": {} possui a posição inicial no qual a cena será aberta e nas suas limitações de movimentação. Essa configuração aparece no início do documento com as configurações globais da página, entretanto, pode ser configurada de forma específica para cada cena. Na configuração inicial, linhas 2 a 10, o objeto tem atribuído a ele um outro objeto denominado "fov": {}, sigla para *Field of view*, ou campo de visão, o qual se refere a área coberta pela câmera. No contexto da câmera global foram atribuídos visão padrão de 90 graus, e valores *zoom* mínimo e máximo de 50 e 120, respectivamente.

```
"fov":  
{  
  "default": 90,  
  "min": 50,  
  "max": 120  
}
```

A "story": {} se refere a seção principal do ForgeJS, pois é nesse tópico que serão descritos cada cena presente na página, sendo estas os elementos principais da aplicação. Neste objeto estão atribuídas as propriedades "uid", "name", "slug", "description", "default" e "scenes". Dentre estas, apenas "scenes" não consta como necessária na discriminação do objeto, segundo a documentação da API. Entretanto, é nela que serão atribuídas as informações que de fato são o intuito do site, então é possível considerá-la, também, como uma requisição. Importante ressaltar que no arquivo JSON disponibilizado foram mantidas as atribuições padrão que constam nos códigos fonte.

O "uid" se refere ao identificador único da cena, sendo muito útil principalmente na presença de diversos grupos de cena. O "name" se refere ao nome dada àquele "story" específico e o "slug" se refere ao conteúdo da URL que vem após o domínio do site, sendo assim, recomenda-se que este seja igual ao "name", sem espaços ou caracteres especiais e com todas as letras minúsculas. Isso porque o "slug" é uma fração importante na identificação de características da página gerada. A "description" define a descrição geral daquele "story" e o

“default” define a cena inicial padrão que será carregada ao iniciar a página, sendo assim, atribui-se a ele o “uid” desta cena.

```
"story":
{
  "uid": 90,
  "name": "Hotspots DOM Story",
  "slug": "hotspots-dom-story",
  "description": "This is sample of DOM hotspots",
  "default": "scene-0",
  "scenes": [...],
}
```

Já a propriedade “scenes” é definida por uma lista (*array*) de novos objetos que irão compor o “story”, sendo cada objeto inserido dentro dessa lista uma cena que irá compor a página. Em síntese, a “scenes” é onde serão armazenadas as composições 360° a serem representadas e suas configurações locais, além da definição do local dos *hotspots*. Esses objetos terão as propriedades “uid”, “name”, “slug”, e “description”, de forma semelhante ao que acontece no “story”. Além disso, terão também as propriedades “media”, “camera”, e “hotspot”.

```
"scenes":
[
  "uid": "scene-0",
  "name": "First scene",
  "slug": "first-scene",
  "description": "This is the first and only scene",
  "media": {...},
  "camera": {...},
  "hotspots": [...],
]
```

Em “media” serão adicionados o “uid”, o “type”, que precisa ser especificado entre “image”, “video” ou “grid”, e o “source”, que também é um objeto no qual serão definidos os parâmetros “format”, ou formato da imagem adicionada, equigranular (“equi”) ou cubemap (“cube”); e “url”, no qual se adiciona o caminho para o arquivo a ser adicionado.

```
"media":
{
  "uid": "media-0",
  "type": "image",

  "source":
  {
    "format": "equi",
    "url": "imagens/mountainpeak.jpg"
  }
},
```

Em “camera” é possível configurar a posição inicial em que a cena será exibida e adicionar possíveis restrições de movimento a ela. No código-fonte ele possui apenas uma propriedade “yaw”, que se refere à possibilidade de movimento em torno do próprio eixo, e constitui um objeto, que tem como propriedade base o “default”.

Por fim, têm-se os “hotspots”, também definidos por uma lista composta por objetos, no qual cada objeto corresponde a um dos *hotspots* que será inserido na cena que está relacionada a essa propriedade. Em síntese os *hotspots* são representações visuais, que podem conter praticamente qualquer tipo de informação, seja ela visual e até mesmo sonora. Essas mesmas representações podem permitir interações do usuário com o ambiente ou não. As propriedades do “hotspots” são “uid”, “interactive”, “type”, “dom” e “transform”.

A “uid” ocorre similar às adicionadas para os objetos passados, já a “interactive” assume uma propriedade booleana, assumindo valores de true ou false, sendo o hotspot em questão interativo ou não. O “type”, por fim, permite habilitar o tipo desse hotspot, por default ele é configurado como 3D, mas será utilizado o fornecido pelo código fonte “dom”, que permite a configuração total do elemento como uma propriedade adicional do objeto.

Em “dom”, são necessárias as propriedades “id”, “width”, “height”, “color”, “index” e “class”. “id” se refere a um identificador único daquele hotspot, “width” e “height” se refere a largura e altura do ícone do “hotspot”, “color” se refere a cor de fundo do elemento, “index” está relacionado a sua ordem em relação aos outros “hotspot” no eixo z e “class” é definido por uma lista, utilizada para trazer configurações do documento “main.css” para configuração da mídia do “hotspot”. A largura e altura do ícone podem ser configurados em pixel (px) ou, mais recomendado, na unidade tipográfica em.

3.2 Etapa de Campo

A atividade de campo aconteceu entre os dias 28 de junho a 07 de julho de 2021, em alguns dos geossítios do Geopark Araripe, na região do Cariri Cearense, durando um total de dez dias. Após o reconhecimento de cada geossítio, foi decidido realizar o levantamento fotogramétrico com a ARP em cinco dos nove locais. Esta decisão foi tomada em função do objetivo principal para estar em campo, que era adquirir as imagens panorâmicas 360° para construção do ambiente de realidade aumentada e fotografias verticais para processamento dos ortomosaicos, cuja meta só seria possível ser alcançada em locais com um espaço adequado e seguro para realizar o voo.

Por esse motivo, os geossítios Batateiras e Riacho do Meio não foram selecionados, já que estão localizados em uma área que possui uma floresta mais densa, o que dificultaria tanto o voo quanto a aquisição de imagens adequadas para o processamento e posterior visualização. Já o geossítio Pedra Cariri, não foi viável para o trabalho por não apresentar um afloramento ou até mesmo um local geográfico em boas condições para fotografar (Figuras 28 a 30). Por fim, não foi possível ir ao Parque dos Pterossauros, por não apresentar uma localização acessível.

Figura 28 – Placa de identificação da localização do geossítio Pedra Cariri.



Fonte: Autora (2021).

Figura 29 – O afloramento próximo à placa que indica o local do geossítio Pedra Cariri coberto por vegetação.



Fonte: Autora (2021).

Figura 30 – Pedreira próxima à placa de entrada do geossítio apresentando uma paisagem bastante antropizada.



Fonte: Autora (2021).

Com isso, os geossítios escolhidos foram: Pontal de Santa Cruz, Ponte de Pedra, Colina do Horto, Cachoeira de Missão Velha e Floresta Petrificada do Cariri, visitados nessa ordem.

3.2.1 Aerolevramento e aquisição das imagens para compor as panorâmicas 360°

Na obtenção de dados deste trabalho foi usada uma ARP, modelo DJI Mavic 2 Pro (Figura 31). Os levantamentos foram realizados em horários entre 9 h e 15 h, com o intuito de diminuir os impactos das variações dos ângulos dos raios solares durante o dia.

Figura 31 – ARP modelo DJI Mavic II Pro usada no levantamento.

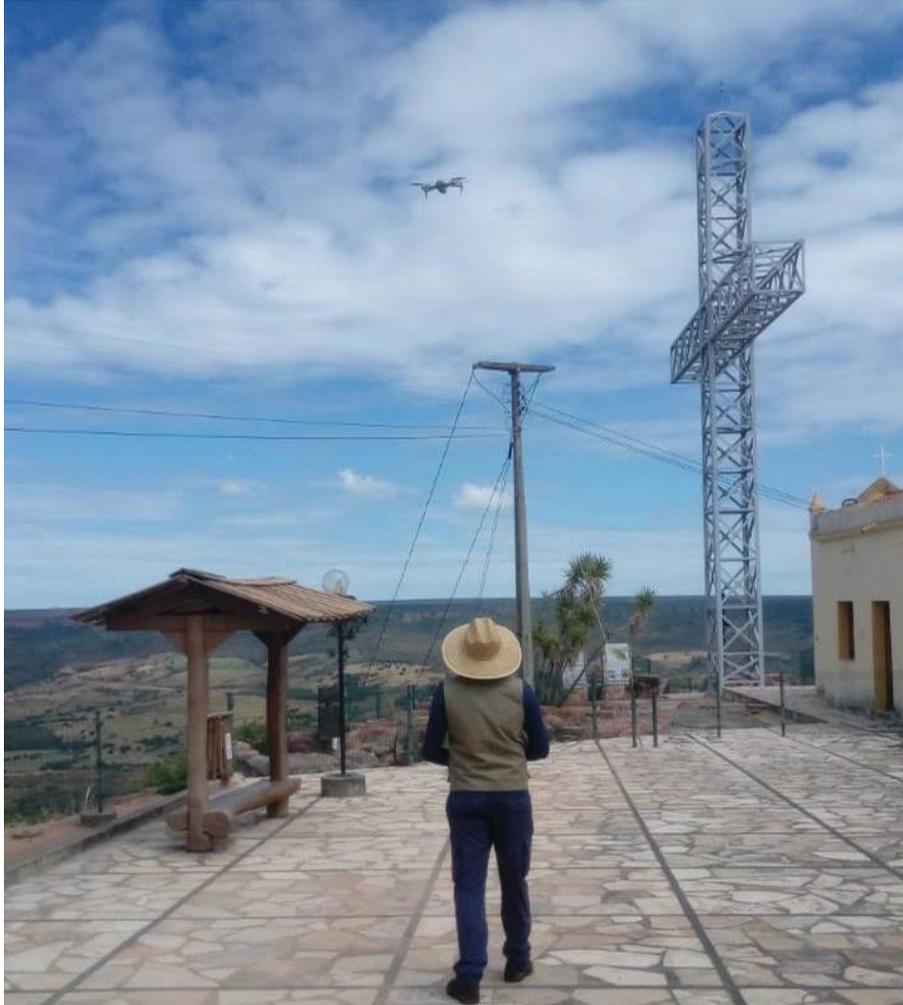


Fonte: Autora (2021).

Em cada geossítio foi realizado o voo para as imagens verticais e obtidas as imagens para compor a panorâmica 360°, de diferentes lugares/ângulos para ter uma melhor visualização do espaço como um todo.

Primeiramente, foram realizados aerolevamentos com visada vertical (Figura 32), adquirindo imagens com uma sobreposição frontal e lateral de 75% para posterior composição de ortomosaicos e elaboração de modelagem tridimensional. Após o aerolevamento programado, foram registradas fotografias para composição de uma imagem panorâmica 360° com uma sobreposição manual, aplicada de acordo com o deslocamento julgado adequado. Essas imagens foram adquiridas com inclinações de -30°, 0°, 30°, 45°, 60° e 90° com relação a uma orientação horizontal.

Figura 32 – Imagem representando o momento em que a ARP estava levantando voo para obtenção das imagens verticais.



Fonte: Autora (2021).

Para o geossítio Pontal de Santa Cruz as imagens panorâmicas 360° foram obtidas por meio de um voo manual, já nos demais geossítios foi constatado que seria interessante dar maior detalhamento de cada ambiente através da imagem panorâmica 360°, então, a aquisição das mesmas foi realizada tendo em vista uma perspectiva humana, onde uma pessoa segurou a ARP e foi girando devagar, no sentido horário e outra ficou fotografando, com o cuidado de relacionar um clique para cada passo dado, como mostra a Figura 33. Portanto, as fotos registradas apresentam os lugares sob um olhar humano.

Figura 33 – Representação de como as fotos para a panorâmicas 360° foram adquiridas.



Fonte: Autora (2021).

Cada geossítio também foi fotografado por uma câmera de aparelho celular com a intenção de ter uma maior opção de imagens para alimentar o banco de dados deste trabalho.

3.3 Processamento dos Dados

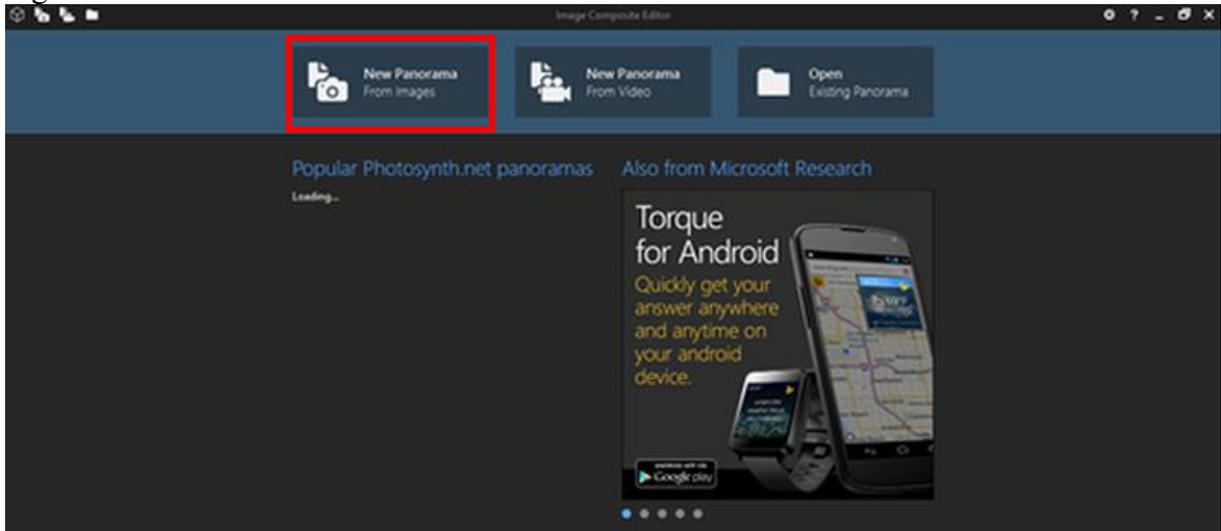
Os dados coletados em campo foram processados em três etapas, nas quais duas delas consistiram no tratamento das fotos para dar origem às panorâmicas 360°, e a outra, no processamento das imagens para gerar os ortomosaicos e modelos tridimensionais.

O tratamento das imagens foi realizado em um notebook apresentando um processador Intel®Core™ i5-7200U 2.5GHz, memória RAM de 8GB DDR4 e HD de 1TB. O processamento para as panorâmicas ocorreu em dois *softwares*: o *Image Composite Editor* (ICE), onde foi realizado o alinhamento, integração e ajustes nas fotos para formar as panorâmicas 360° e, em seguida, o *Photoshop 2021*, para aplicar filtros e editar as imagens buscando uma melhor qualidade nas mesmas. Já os ortomosaicos e modelos 3D foram gerados no *software Agisoft Metashape Professional*.

3.3.1 Processamento no ICE e Photoshop 2021

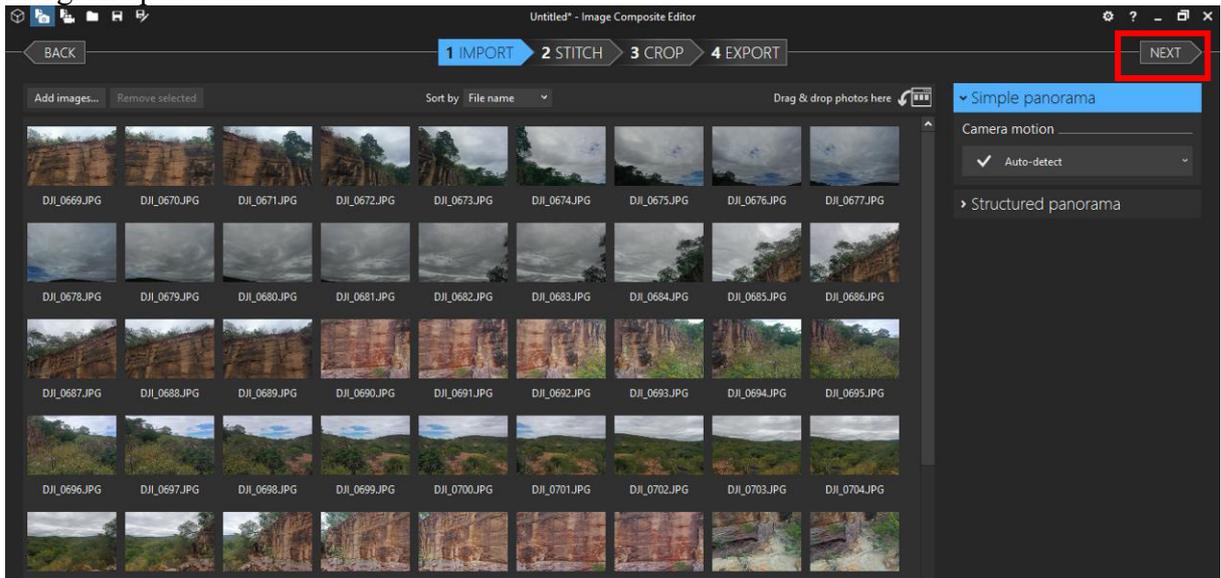
O primeiro passo para juntar as imagens nos diferentes ângulos (-30°, 0°, 30°, 45°, 60° e 90°) foi adicionar as mesmas no *software* ICE e aplicar o comando para prosseguir até a criação da imagem panorâmica. Na etapa *STITCH* foi selecionada uma projeção esférica com uma direção vertical (-90°) para a orientação, ou seja, aplicando uma vista ortogonal ao ambiente (Figuras 34 a 39). Por último, a imagem foi salva em o formato JPEG com uma qualidade alta.

Figura 34 – Janela inicial do software ICE.



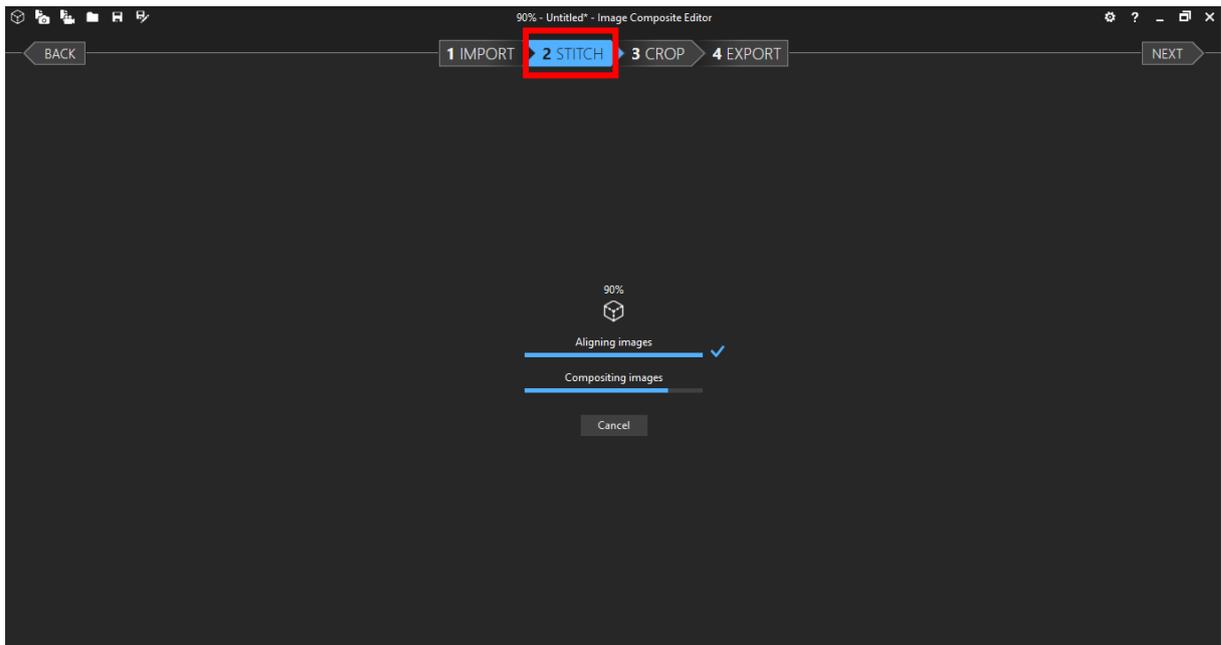
Fonte: Autora (2021).

Figura 35 – Importação das imagens para realizar a junção, alinhamento e geração da fotografia panorâmica 360°.



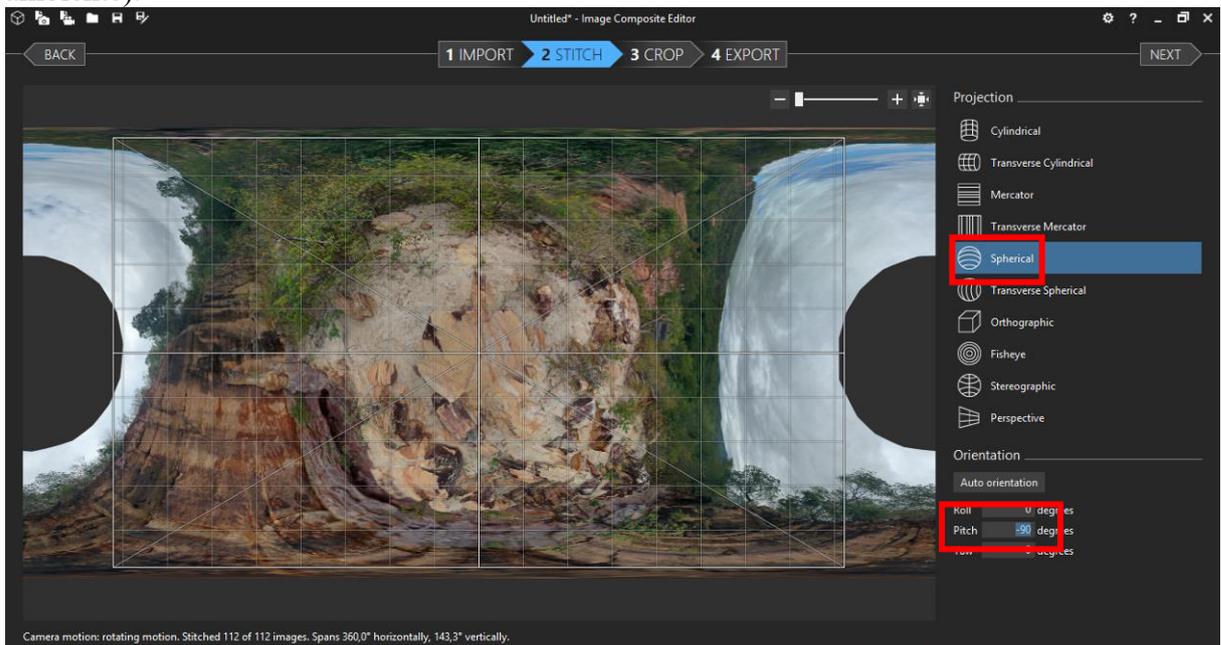
Fonte: Autora (2021).

Figura 36 – Alinhamento e junção das imagens.



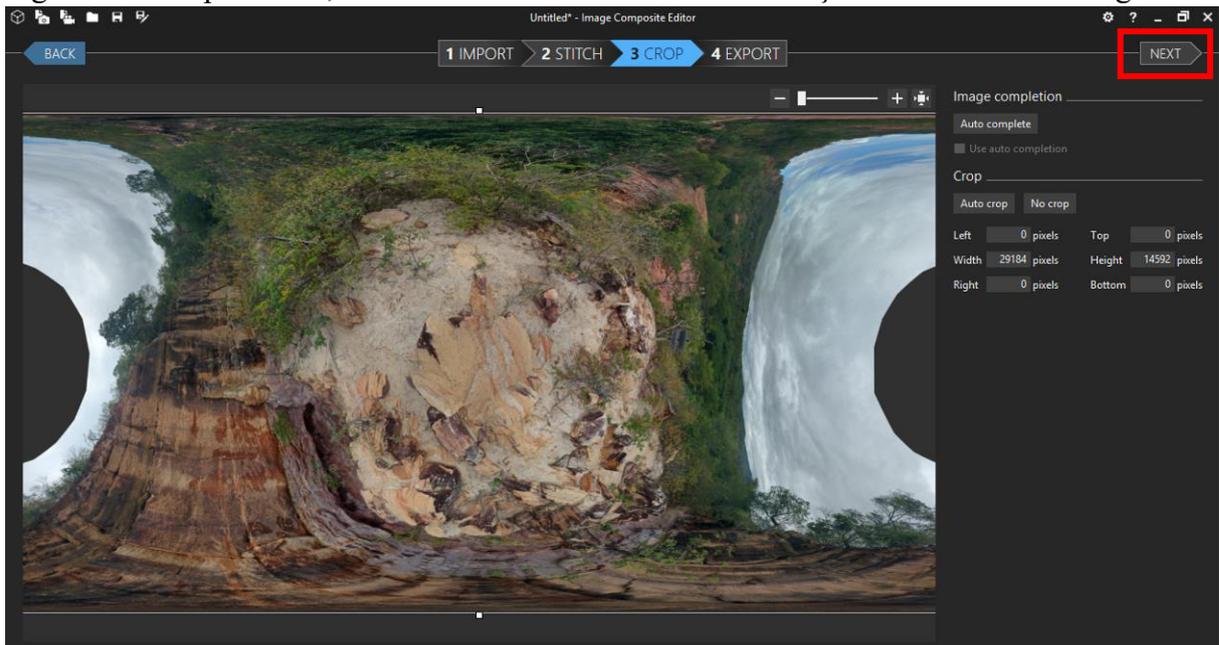
Fonte: Autora (2021).

Figura 37 – Selecionada a projeção *Spherical* com um *pitch* -90° (direção ortogonal ao ambiente).



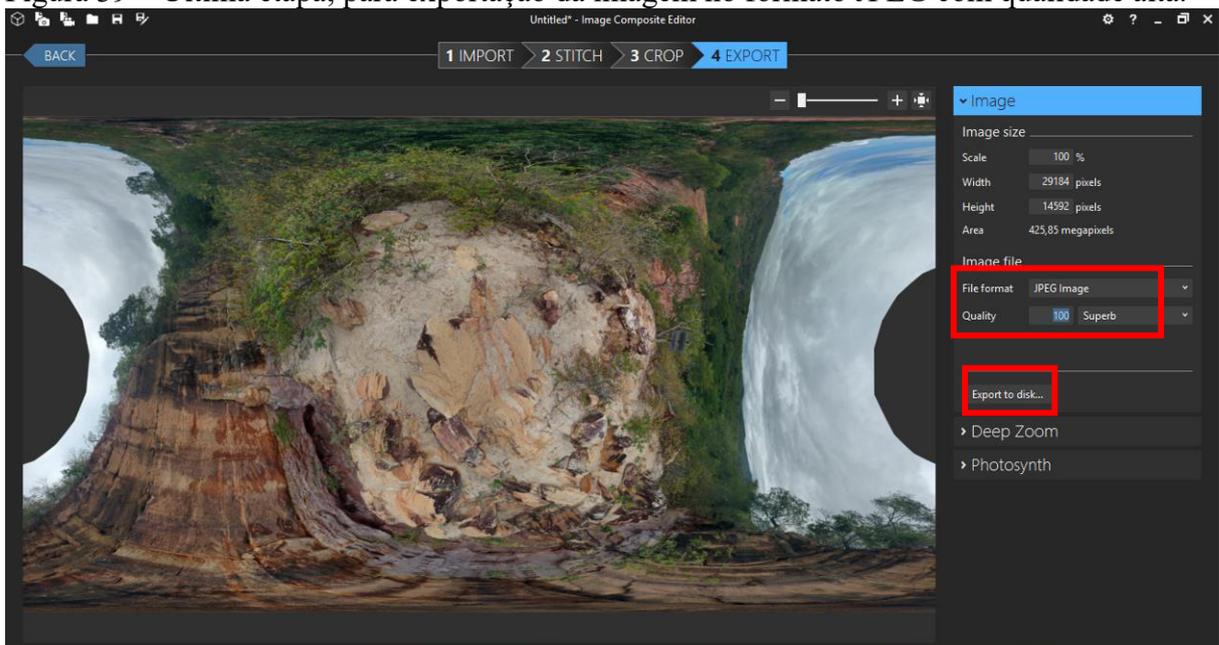
Fonte: Autora (2021).

Figura 38 – Etapa CROP, onde não foi feita nenhuma modificação no tamanho da imagem.



Fonte: Autora (2021).

Figura 39 – Última etapa, para exportação da imagem no formato JPEG com qualidade alta.



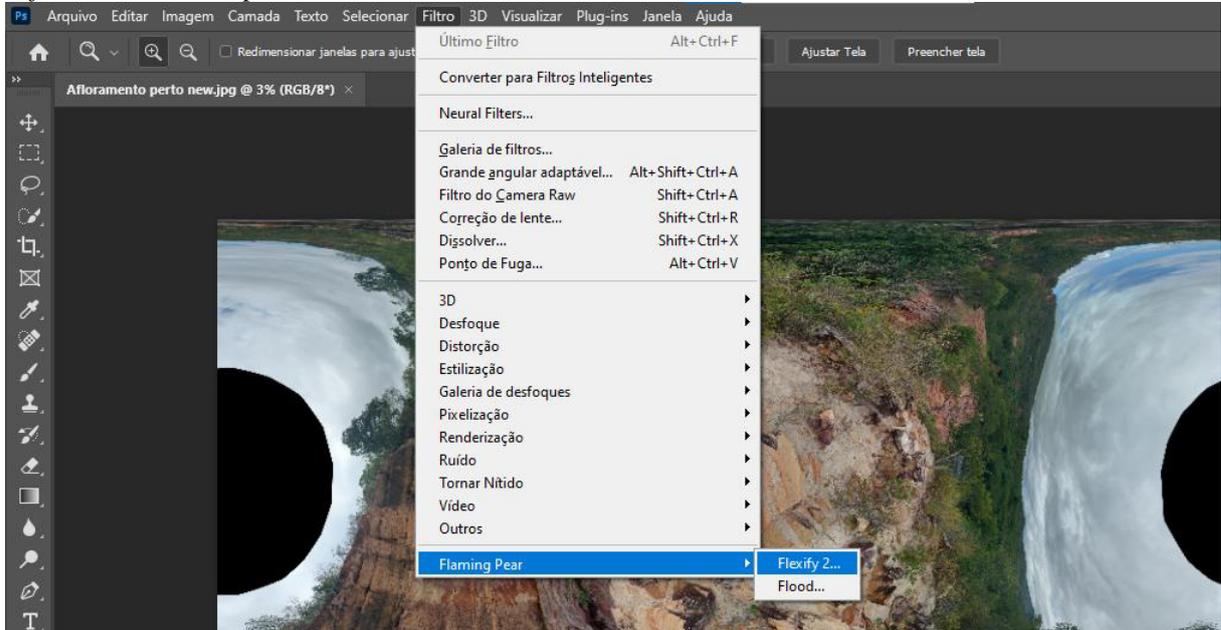
Fonte: Autora (2021).

Foi detectada a existência de um espaço vazio nas laterais da imagem gerada. Trata-se da região do céu, que ficou com esta aparência devido à falta de imagens em inclinações adequadas para preencher esse espaço.

Após a criação da foto panorâmica, ela foi tratada no *software Photoshop 2021* aplicando o filtro *Flaming Pear Flexify 2*, no qual a imagem que estava em projeção esférica foi reorientada na aba latitude, até que a linha do horizonte ficasse reta, como mostram as

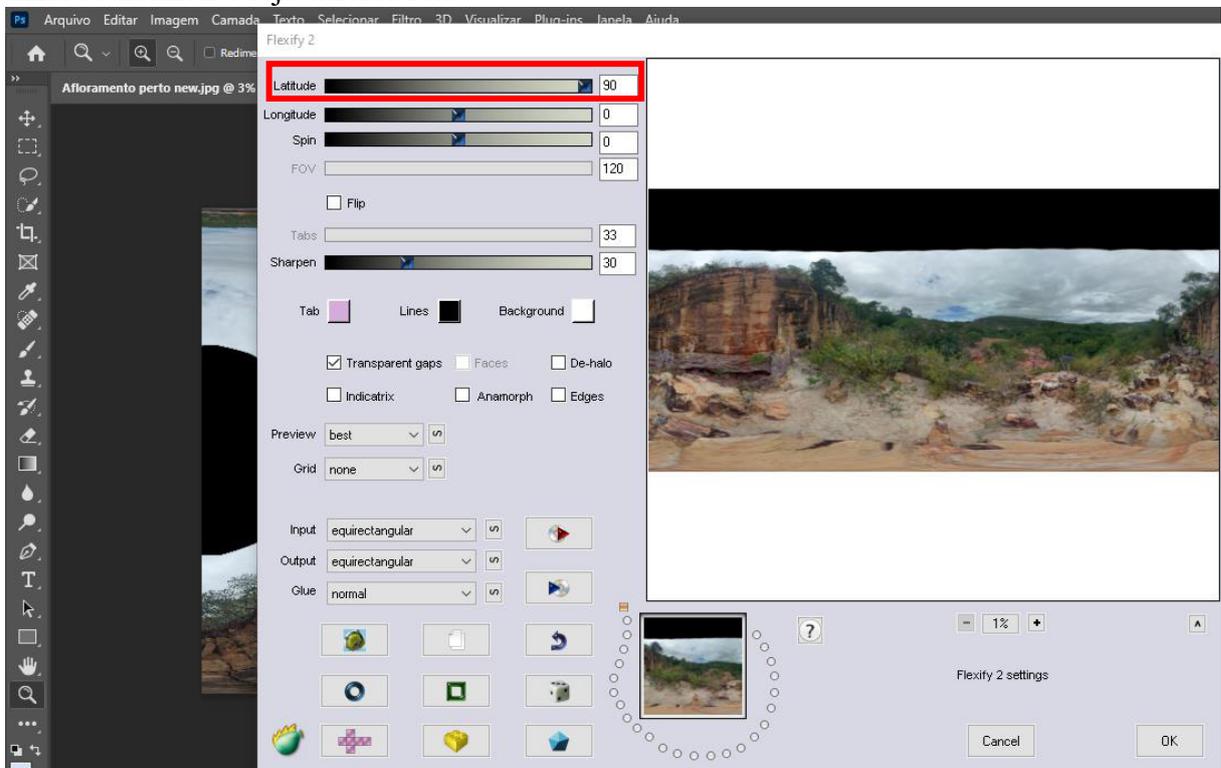
Figuras 40 a 42. A partir daí foram feitos preenchimentos nas regiões que ficaram lacunas e aplicados efeitos de restauração e edição de imagens quando necessários (Figura 43).

Figura 40 – Filtro *Flaming Pear Flexify 2* que irá ser aplicado na imagem panorâmica, no software *Photoshop 2021*.



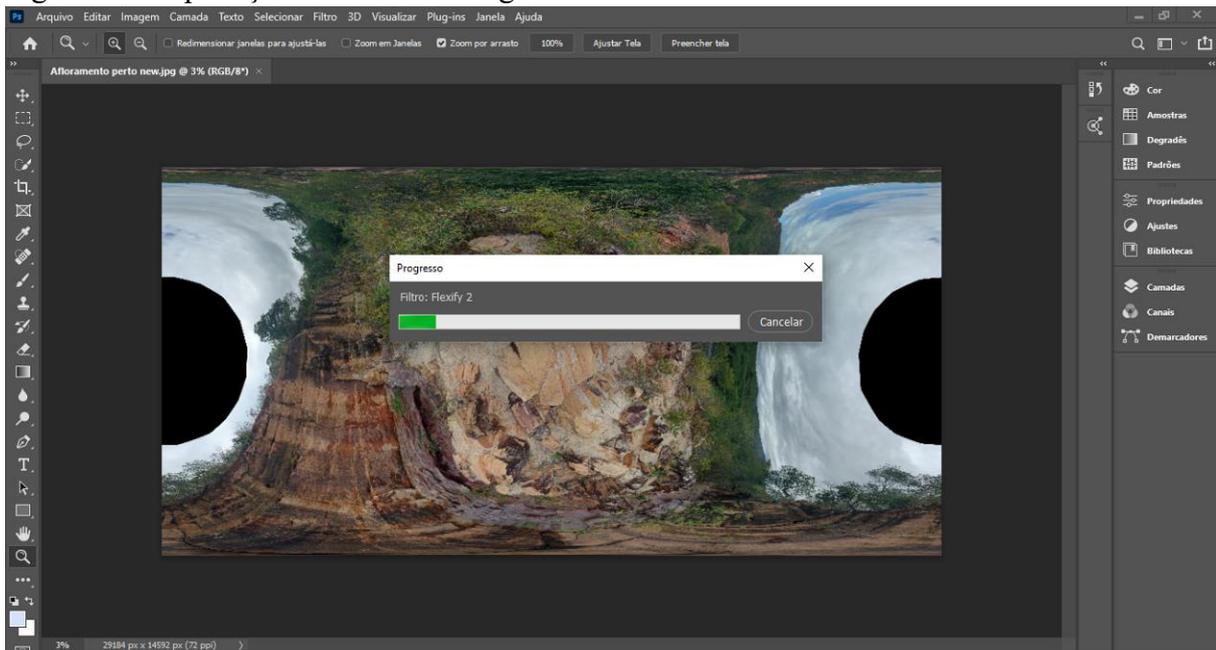
Fonte: Autora (2021).

Figura 41 – Modificação realizada com relação reorientação da latitude na imagem até que a linha do horizonte seja exibida reta.



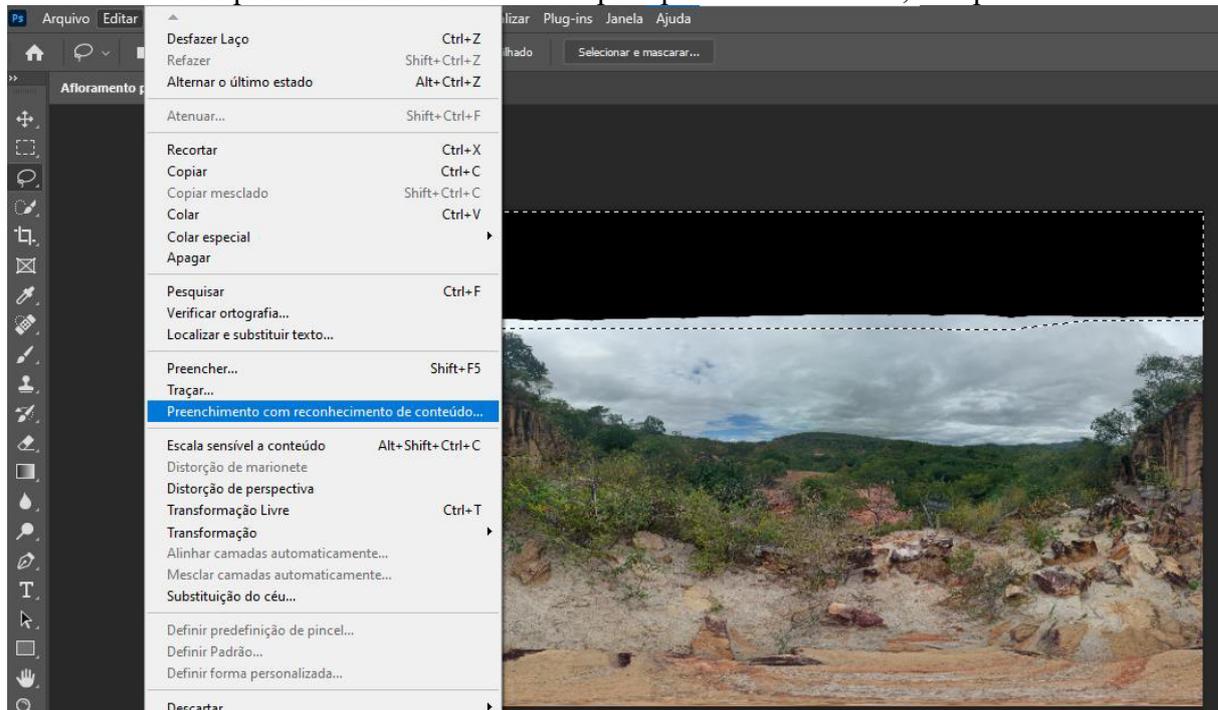
Fonte: Autora (2021).

Figura 42 – Aplicação do filtro na imagem.



Fonte: Autora (2021).

Figura 43 – Após aplicar o filtro modificando a latitude para apresentar a linha do horizonte, é usado o efeito de preenchimento de conteúdo para preencher a lacuna, completando o céu.

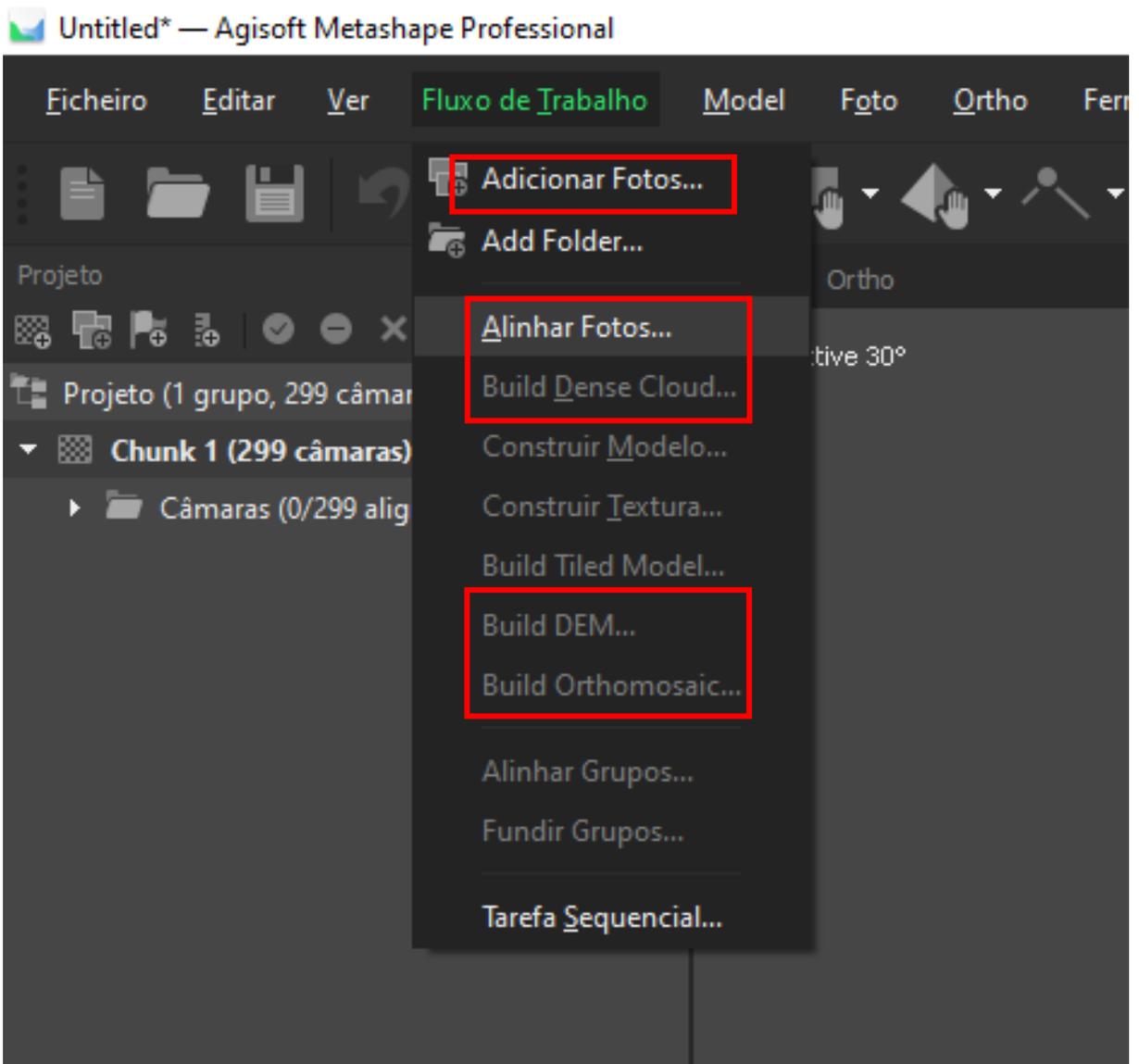


Fonte: Autora (2021).

3.3.2 Agisoft Metashape Professional

No *software* Agisoft Metashape foram processados os ortomosaicos e modelos tridimensionais, utilizando o sistema de coordenadas UTM, com *datum* SIRGAS2000, zona 24S, e aplicando as funções conforme o fluxo de processamento do programa. A Figura 44 apresenta as ferramentas que foram aplicadas às imagens para obter os resultados desejados.

Figura 44 – Em Fluxo de Trabalho, estão todas as etapas que foram aplicadas nas imagens para geração dos ortomosaicos. Cada etapa é desbloqueada assim que a anterior for realizada, ou seja, é processo sequencial.



Fonte: Autora (2021).

3.4 Integração dos Dados

Após o processamento, foi realizada a compilação de todos os dados obtidos e adicionados a API para produzir o tour virtual. Na API, Forge.JS, o *tour* ocorre por meio de um observador central que pode acessar as informações adicionadas ao redor. As informações ao redor do observador são cenas dos geossítios vistos de diferentes perspectivas.

A integração das informações sobre geodiversidade e as imagens panorâmicas tem como finalidade correlacionar os elementos de maneira prática e lúdica, para auxiliar no entendimento das feições geológico-geomorfológicas da área e sua história.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os cinco geossítios onde foram realizados os levantamentos fotográficos, aplicou-se os mesmos tratamentos nas imagens para confecção da panorâmica 360° e ortomosaicos. Quatro deles tiveram resultados satisfatórios, porém no geossítio Colina do Horto não foi possível concluir os processos até a etapa final (a aplicação na plataforma *online*). Os ortomosaicos foram selecionados para compor a página inicial do ambiente virtual de cada um.

O fato das imagens empreitadas, para gerar a panorâmica 360°, terem sido capturadas por um VANT dificultou um pouco os resultados finais, uma vez que o mesmo não realiza captura de imagens em uma inclinação inferior a -30° em relação a linha do horizonte. Portanto, não foi possível obter imagens verticais com os ângulos -45°, -60° e -90°, que iriam totalizar uma visão de 180° em imagens na vertical, sendo necessário preencher as lacunas que ficaram por meio das tecnologias dos *softwares* de edição de imagens. O preenchimento dos espaços vazios, na imagem panorâmica 360°, causado pela falta de imagens em algumas inclinações, foi realizado no *Photoshop* 2021, de maneira que mantivesse a composição original da paisagem. Apesar disso, ao adicionar as imagens finais ao código foi possível verificar que existia uma textura diferente ao mudarmos a visão no sentido do céu, pois embora o efeito do preenchimento seja bom, ele não substituiu adequadamente o uso de imagens em todas as direções.

Os resultados finais de todo o processamento para cada um dos geossítios será discutido a seguir.

4.1 Geossítio Floresta Petrificada do Cariri

Neste geossítio foram registradas fotos de três perspectivas diferentes para gerar imagens panorâmicas 360° e criar o ambiente de realidade aumentada, de maneira a representar, em 360°, o local de entrada da Floresta Petrificada, um afloramento rochoso próximo à entrada e outro mais distante, seguindo a trilha principal (Figuras 46 a 48). O ortomosaico, obtido pelo processamento das imagens de voo vertical, como mostra a Figura 45 é a imagem inicial apresentada na plataforma.

Figura 45 – Ortomosaico mostrando uma vista ortogonal a uma área que abrange o geossítio Floresta Petrificada do Cariri.



Fonte: Autora (2021).

Figura 46 – Imagem panorâmica 360° representando a entrada da Floresta Petrificada do Cariri.



Fonte: Autora (2021).

Figura 47 – Afloramento próximo a entrada do geossítio, localizado à esquerda do observador.



Fonte: Autora (2021).

Figura 48 – Afloramento mais distante da entrada, seguindo em frente pela trilha.



Fonte: Autora (2021).

4.2 Geossítio Cachoeira de Missão Velha

Para este geossítio foram geradas imagens panorâmicas 360° que apresentam o ambiente em cinco perspectivas: a entrada da cachoeira, uma cena vista da pequena barragem, e as demais mostrando o geossítio de ângulos diferentes (Figuras 50 a 54). Em seguida foi gerado o ortomosaico para adicionar ao código na API (Figura 49).

Figura 49 – Ortomosaico do geossítio Cachoeira de Missão Velha.



Fonte: Autora (2021).

Figura 50 – Imagem panorâmica 360° para a entrada da Cachoeira de Missão Velha.



Fonte: Autora (2021).

Figura 51 – Panorâmica 360° tirada a partir da pequena Barragem.



Fonte: Autora (2021).

Figura 52 – Representação da Cachoeira vista do lado direito, próximo à entrada.



Fonte: Autora (2021).

Figura 53 – Vista da Cachoeira de um lado mais a nordeste da entrada.



Fonte: Autora (2021).

Figura 54 – Vista do geossítio de um lado praticamente paralelo a entrada.



Fonte: Autora (2021).

4.3 Geossítio Ponte de Pedra

No geossítio Ponte de Pedra foram registradas fotos de quatro perspectivas: a entrada do geossítio, o mirante, uma vista superior da ponte e uma vista frontal. Porém, só foi possível finalizar o tratamento em duas para disponibilização na plataforma: a vista superior e frontal da ponte, mostradas nas Figuras 56 e 57. Já o ortomosaico para adicionar à plataforma foi gerado sem problemas, assim como os dos geossítios anteriores (Figura 55).

Figura 55 – Ortomosaico da área do geossítio Ponte de Pedra.



Fonte: Autora (2021).

Figura 56 – Vista superior da Ponte de Pedra.



Fonte: Autora (2021).

Figura 57 – Ponte de Pedra vista de frente.



Fonte: Autora (2021).

Para as cenas que não foram concluídas, os problemas encontrados ocorreram na finalização da montagem da imagem panorâmica 360°. Com relação ao mirante a dificuldade foi na sua geração no *software* ICE, pois houve um deslocamento de imagem, que, mesmo excluindo algumas imagens, não pôde ser resolvido, como apresenta a Figura 58. Já para a cena da entrada do geossítio não foi encontrado o mesmo problema. Nele, a etapa da montagem da panorâmica no ICE foi finalizada, porém, não foi possível aplicar o filtro

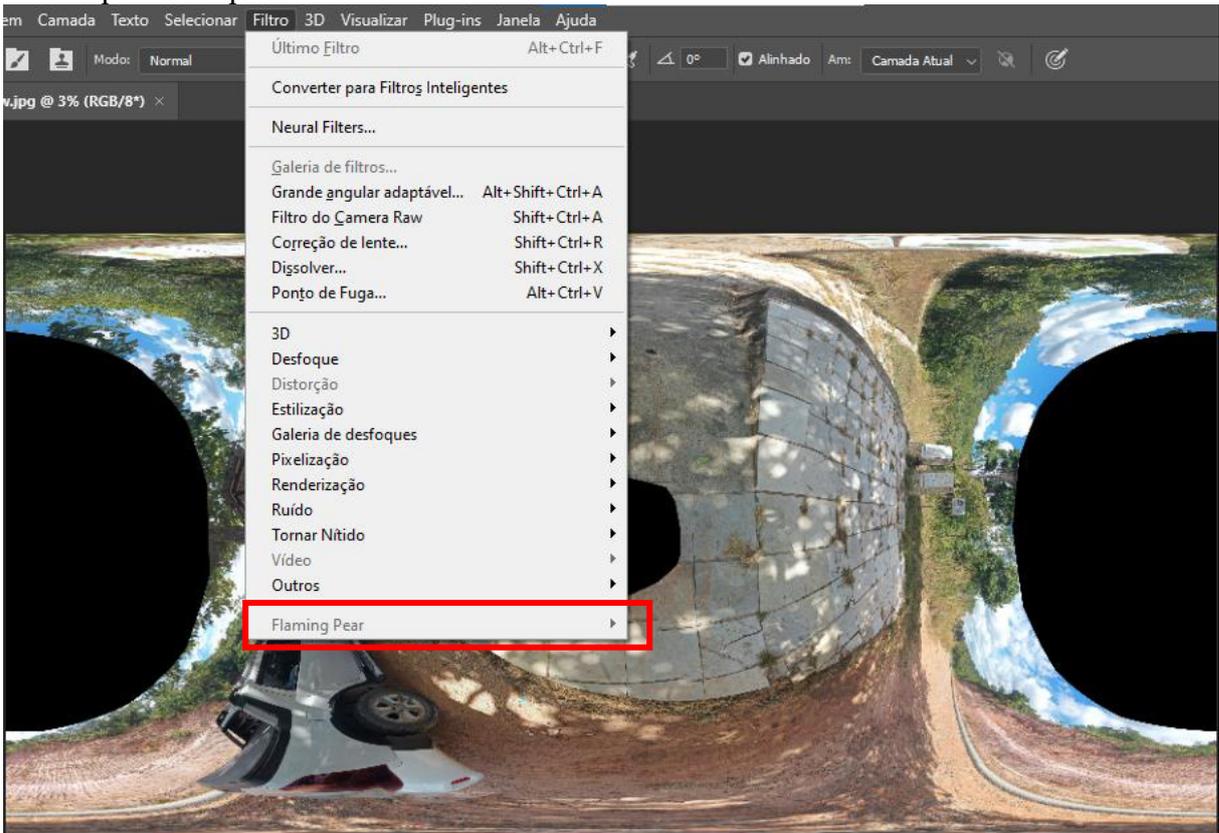
Flaming Pear Flexify 2, no software *Photoshop*, o que impediu a alteração na imagem para visualização da linha do horizonte paralela ao observador (Figura 59).

Figura 58 – Mirante da Ponte de Pedra com deslocamento, etapa do *software* ICE.



Fonte: Autora (2021).

Figura 59 – Imagem da entrada da Ponte de Pedra que não foi finalizada no *photoshop* pois não foi possível aplicar o filtro.



Fonte: Autora (2021).

4.4 Geossítio Pontal de Santa Cruz

Com relação a este geossítio foram realizadas imagens de três perspectivas diferentes. Como o diferencial dele é sua localização e altitude de destaque no relevo, as

imagens foram todas tiradas para garantir uma visão externa do mesmo, apresentando ao observador uma vista aérea/superior do geossítio com todos seus componentes. Portanto, foram tiradas fotos aéreas do lado esquerdo, lado direito e algumas com perspectiva do mirante que tem no local. As panorâmicas 360° das laterais podem ser vista nas Figuras 61 e 62, a seguir. A Figura 60 apresenta o ortomosaico do geossítio.

Figura 60 – Ortomosaico do geossítio Pontal de Santa Cruz.



Fonte: Autora (2021).

Figura 61 – Pontal de Santa Cruz visto pelo lado direito.



Fonte: Autora (2021).

Figura 62 – Pontal de Santa Cruz visto pelo lado esquerdo.



Fonte: Autora (2021).

Já as imagens obtidas para confecção da panorâmica 360°, com a posição do observador no mirante que existe no local, não foi possível finalizar o processo no *Photoshop*. Como só foram obtidas imagens com até -30° de inclinação com relação a horizontal, as lacunas que ficaram na cena nesse caso não foram preenchidas, por existirem componentes na paisagem que não puderam ser replicados na imagem apenas com o efeito de preenchimento por reconhecimento de conteúdo do ambiente (Figura 63).

Figura 63 – Aplicação do efeito de preenchimento por reconhecimento de conteúdo na cena do Mirante do Pontal de Santa Cruz (1). Ficaram lacunas na parte superior da cruz metálica que não pôde ser reestruturada apenas com a aplicação do efeito, gerando uma imagem com deslocamento e falhas (2).



Fonte: Autora (2021).

4.5 Geossítio Colina do Horto

Neste local foram registradas fotos de alguns ambientes que compõem o geossítio Colina do Horto, como o do entorno da estátua, com uma cena em frente ao casarão do Pe. Cícero e, outra do mirante, onde é possível observar a cidade de Juazeiro do Norte. Outras ainda, foram tiradas do Santo Sepulcro, para mostrar a junção de geologia e elementos históricos e de religiosidade que constituem o lugar.

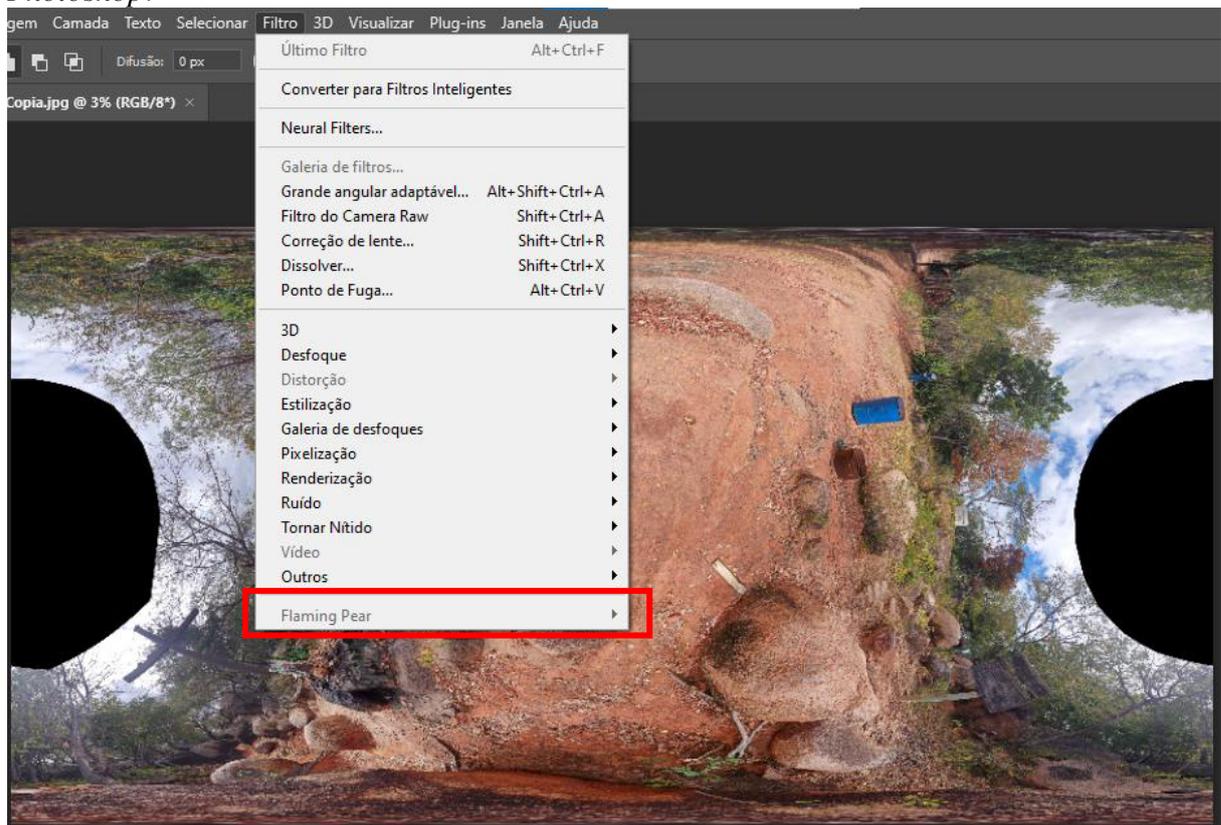
Porém, na etapa de processamento dessas imagens foram encontradas várias dificuldades. A primeira foi na junção das mesmas para formar a panorâmica no *software* ICE. Em algumas das cenas as imagens ficaram com deslocamento, que após análise foi possível excluir aquelas que estavam causando o problema permitindo à finalização na etapa do ICE. Já na etapa do *software Photoshop*, a aplicação do filtro *Flaming Pear Flexify 2* não foi finalizada nenhuma das cenas (Figuras 64 e 65).

Figura 64 – Uma imagem que exemplifica um deslocamento encontrado na hora da junção das imagens.



Fonte: Autora (2021).

Figura 65 – Um exemplo para não aplicação do filtro *Flaming Pear Flexify 2* no software *Photoshop*.

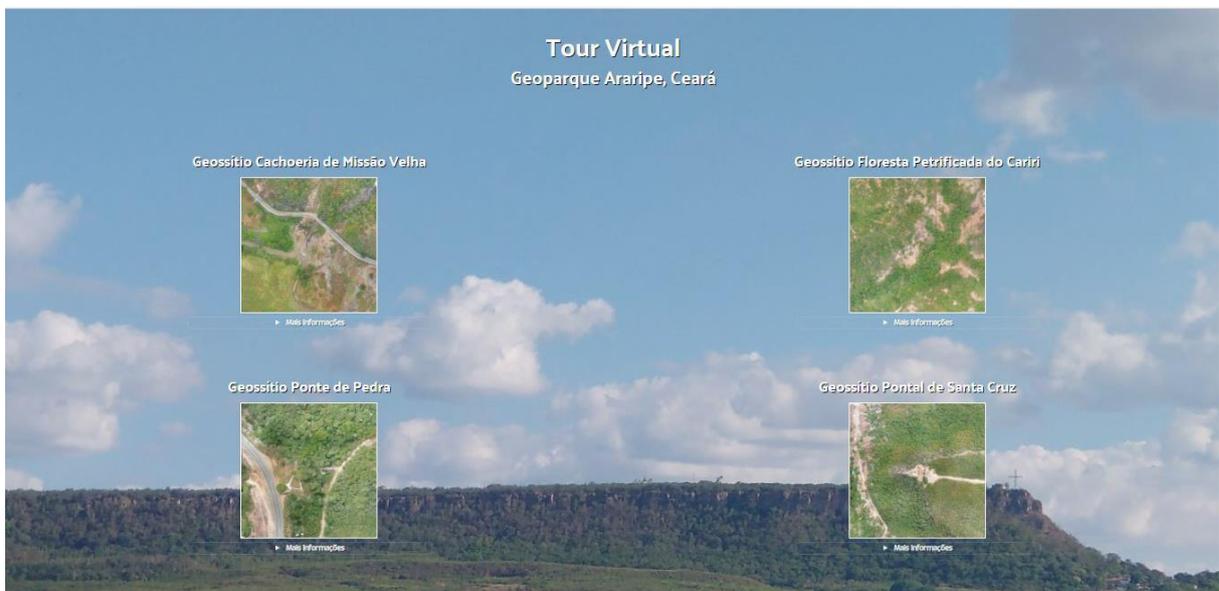


Fonte: Autora (2021).

As informações sobre cada geossítio foram elaboradas de acordo com os dados coletados no levantamento bibliográfico realizado para compor este trabalho. A fim de compilar todos os dados e proporcionar um acesso facilitado dos usuários à visualização dos geossítios, foi criado um *link* de acesso à plataforma de tour virtual *online*, disponível em: <https://maynaramaciel.github.io/Tour-Geodiversidade/>.

As figuras 66 e 67 a seguir mostram como ficou a página inicial da plataforma.

Figura 66 – Imagem apresentando como ficou a página inicial.



Fonte: Autora (2021).

Figura 67 – Imagem da página inicial com as informações sobre cada geossítio.



Fonte: Autora (2021).

Os modelos tridimensionais não foram adicionados à plataforma elaborada para exibir a realidade aumentada, pois os mesmos exigem outro tipo de *framework*, com maior complexidade, capaz de reproduzir de maneira fiel os modelos.

Algo que é relevante ressaltar é a dificuldade encontrada para conseguir processar os dados e obter as imagens panorâmicas 360°, para todos os geossítios. Isso ocorreu devido os *softwares* utilizados nesse processo exigirem um computador com maior capacidade de processamento, além de melhores configurações de memória RAM e placa de vídeo. Como a máquina usada para este trabalho foi um notebook com um processador Intel®Core™ i5 e uma memória interna de 8GB, o tempo para processar os dados foi bastante significativo, o que possivelmente teria sido menor com uma máquina com melhores configurações. Com isso, é importante destacar que para maior agilidade em busca do resultado final equipamentos com um processador mais potente teriam sido mais eficientes.

5 CONCLUSÕES

O GeoPark Araripe possui um valor científico, histórico e cultural que representa a geodiversidade do país, mais precisamente do estado do Ceará, contribuindo para a compreensão da evolução do planeta Terra. Reconhecer a importância da preservação dessa história e divulgação desses fatos em ambientes de fácil acesso por meio das novas tecnologias foi essencial para o desenvolvimento deste projeto, no intuito de difundir o conhecimento sobre este patrimônio.

Apesar das dificuldades para realizar o processamento dos dados, principalmente pela falta de imagens verticais e de uma maior capacidade de *hardware*, a maioria das imagens panorâmicas 360° foi gerada de modo que ficasse fiel ao ambiente, com uma boa qualidade. Já para aquelas em que não foi possível finalizar o processamento, podem ser apontados como fatores: a sua aquisição e/ou montagem da panorâmica 360° no *software* ICE.

A maneira como as imagens foram adquiridas em campo, onde a rotação 360° horizontal não foi realizada por um equipamento que permitisse uma precisão certa em todas as imagens, como por exemplo, um tripé, e sim por uma pessoa segurando a ARP e realizando a rotação, gerou um deslocamento em algumas delas, o que pode não ter interferido no momento da junção das imagens em si, em alguns casos, mas aplicar a projeção esférica e o *pitch* ortogonal pode ter provocado distorções que atrapalharam a execução do filtro no *software Photoshop*.

Para a elaboração dos ortomosaicos e modelos tridimensionais a dificuldade encontrada foi não ter um computador com *hardware* de maior potência, pois as imagens obtidas no voo da ARP possuem uma qualidade alta e exigem uma máquina com uma melhor configuração. Os modelos tridimensionais exigem uma API única e diferente da elaborada para o ambiente de realidade aumentada, com tecnologias adequadas onde os mesmos possam ser executados de modo fiel ao que foi processado, por esse motivo eles não foram adicionados junto com as imagens panorâmicas 360° na página *web* criada. No entanto, pretende-se tornar esses modelos acessíveis ao público geral no futuro, seja pela elaboração de uma plataforma própria ou adequação da API de realidade aumentada para acomodar esses dados.

Na plataforma de realidade aumentada elaborada, com base na *framework* pré-existente Forge.js, foram feitas adaptações para adicionar as imagens do ortomosaico como página inicial bem como os dados de geodiversidade. Porém, ela ainda está em estágio inicial.

A existência dessa biblioteca para utilizar como base facilitou bastante o processo, mas a elaboração de um site mais sofisticado exigiria um maior conhecimento sobre linguagem de programação e por consequência um tempo maior de dedicação e estudo. A página *web* ficará disponível para acesso do público em geral pelo link aqui adicionado, mas pretende-se vinculá-lo ao site do Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE), ou ainda do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Baseado nos objetivos propostos e levando em consideração as limitações impostas, o presente trabalho apresentou um resultado satisfatório em apresentar alguns dos geossítios do GeoPark Araripe em realidade aumentada por meio de uma plataforma de *tour* virtual *online*. Embora não tenha sido possível representar todos os geossítios, acredita-se que o objetivo foi cumprido através dos que foram finalizados, apresentando os ambientes a partir de diferentes ângulos e com as informações necessárias que contam a história de cada um, contribuindo com a propagação e divulgação da geodiversidade existente na região do Cariri cearense.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Glossário do Núcleo de Letras e Proficiência Linguística**. [Rio de Janeiro], [200-]. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig_por/tr1324.htm. Acesso em: 16 de maio de 2021.
- ALENCAR, Felipe Freire et al. **GEOSSÍTIO COLINA DO HORTO: SEUS MINERAIS, ROCHAS E RELEVO AOS OLHOS DE PADRE CÍCERO, GEOPARK ARARIPE, CEARÁ**. Anais 28º Simpósio de Geologia do Nordeste, Aracaju, ano 2019, n. 147/537, 2019.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, maio/nov. 2007.
- ASSINE, M. L. *et al.* Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências: Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 3-28, 2014.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da sedimentação a colisão continental Brasileira**. 2007. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Brasília - IG, [S. l.], 2007.
- BALLERINI, Rafaella. **HTML, CSS e Javascript, quais as diferenças?**. Alura, 25 fev. 2021. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/html-css-e-js-definicoes>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- BEURLIN, K. **A geologia da Chapada do Araripe**. Anais Academia Brasileira de Ciências, v. 34, n. 3, p. 365-370, 1962.
- BRILHA, J. (2005). **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica**. Palimage Editores, Viseu.
- BRILHA, J. (2015). **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. 8. ed. Geoheritage, p. 119-134, 2016.
- CHAGAS, D. B.; ASSINE, M. L.; FREITAS, F. I. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, 2007.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geodiversidade do Brasil, escala 1:2.500.000**. Legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p.
- DELGADO, I. M. et al. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Textos, Mapas & SIG**. Brasília: Cprm, 2003. p. 227-334.
- FERREIRA, J. R. S. **Realidade Aumentada - Conceito, Tecnologia e Aplicações: Estudo Exploratório**. 2014. 89 f. Dissertação de Mestrado - Universidade da Beira Interior, Faculdade Engenharias, Covilhã, PT, 2014.

GASPARY, J.; ANJOS, N. F. R. **Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte: Ceará.** Recife: SUDENE, 1964. p. 25. (Hidrogeologia, 3).

GLOBAL GEOPARKS NETWORK (Europa). European Geoparks (org.). **Geoparks: History.** [S. l.], 2022. Disponível em: http://www.europeangeoparks.org/?page_id=637. Acesso em: 28 jan. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (CE). GEORPARK ARARIPE. **Geopark Araripe: Histórias da Terra, do Meio Ambiente e da Cultura.** 1. ed. Crato, CE: Secretaria das Cidades; URCA, 2012: Governo do Estado do Ceará, 2012. 167 p. v. unico. ISBN 978-85-65425-05-6.

HASHIMOTO, A. T.; APPI, C. J.; SOLDAN, A. L.; CERQUEIRA, J. R. **O neo-Alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 118- 122, 1987.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana Brasília,** 1994.804p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 1994.

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada.** (ed.) Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Petrópolis, RJ, 2007, p. 2-21.

LEITE, Gabriel. **O que é JSON?.** Alura, 30 jul. 2020. Disponível em: https://www.alura.com.br/artigos/o-que-e-json?gclid=Cj0KCCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rBBgqK7ymHersLp8_El00z79-ujY3R-XkhCSdL6eIejAb5U1HxI7qAaAqD9EALw_wcB. Acesso em: 2 ago. 2021.

LIMA, H. M., et al. **Origem, significado petrogenético e idade dos ortognaisses Terra Nova: registro de magmatismo alcalino transtensional neoproterozoico no domínio da zona transversal da província Borborema.** Geochimica Brasiliensis, v. 29, n. 2, p. 70-86, 2016.

LIMA, M. R. **Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana - Cretáceo do Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 116-121, 1979.

MARTINS, J. D. B. **MONITORAMENTO DE ÁREAS COM OCORRÊNCIA E RISCO DE DESASTRES COM APOIO DE TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO.** 2018. 121 p. Dissertação de Mestrado - Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

MUCHGH, Sean. **PANORAMIC IMAGE PROJECTIONS.** Cambridge in Colour, 2005-2020. Disponível em: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-projections.htm>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PANOTOOLS (org.). **Projections.** [S. l.], 2 ago. 2021. Disponível em: <https://wiki.panotools.org/Projections>. Acesso em: 7 set. 2021.

PONTE, F. C.; APPI, C. J. **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. Anais. Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, v. 1, p. 211-226

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. **Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe**. Recife: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1996. 68 p

RENATO, Flávio. **O que é fotografia panorâmica**. [S. l.]: TechTudo, 2012. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2012/04/o-que-e-fotografia-panoramica.ghtml>. Acesso em: 24 jun. 2021.

RED GEOLAC (org.). **O QUE É O GEOLAC?**. [S. l.], 2022. Disponível em: http://www.redgeolac.org/index_pt.html. Acesso em: 28 jan. 2022.

SANTOS, I. de O. **NOVAS METODOLOGIAS PARA REPRESENTAÇÃO GEOESPACIAL E VALORIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE: INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS, RECURSOS ONLINE E REALIDADE AUMENTADA**. 2017. 268 f. Tese de Doutorado (Mestra em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2017.

SCHOBENHAUS, C. **Geoparques: Conceito da Unesco**. [S. l.]: SGB-CPRM, 2021.

Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Geoparques-5414.html#:~:text=Conceito%20da%20Unesco,prote%C3%A7%C3%A3o%2C%20educa%C3%A7%C3%A3o%20e%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

SHARPLES, C. **Concepts and Principles of Geoconservation**. Tasmanian Parks & Wildlife Service, Austrália, 2002.

SILVA, M. A. M. **Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 53-63, 1988.

SOARES, R. C. **A Bacia Sedimentar do Araripe**. [S. l.], 2021. Disponível em: http://geoparkararipe.urca.br/?page_id=2114. Acesso em: 25 abr. 2021.

SOARES, R. C. **Paleontologia da Bacia do Araripe**. [S. l.], 2022. Disponível em: http://geoparkararipe.urca.br/?page_id=2119. Acesso em: 29 jan. 2022.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2021.

UNESCO (org.). **UNESCO: Global Geoparks**. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

UNESCO (org.). **ARARIPE UNESCO GLOBAL GEOPARK (Brazil)**. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth->

sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks/brazil/araripe/. Acesso em: 30 abr. 2021.

URCA (CE). GEORPARK ARARIPE (org.). **Geopark Araripe: Geossítios**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://geoparkararipe.urca.br/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P., Babinski, M. **U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions**. *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 267-288, 1995.

ZAMBALDI, Leonardo (org.). **O que é Programação e qual a sua importância para o futuro digital?**. [S. l.]: I Do Code, 2021. Disponível em: <https://idocode.com.br/blog/programacao/o-que-e-programacao/>. Acesso em: 3 ago. 2021.