

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAÍRA SILVA MATOS

AS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL
E SUA CONDIÇÃO DE FERRAMENTA DE PRODUÇÃO
DE CONHECIMENTO GEOGRÁFICO

Rio de Janeiro

2023

MAÍRA SILVA MATOS

AS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL
E SUA CONDIÇÃO DE FERRAMENTA DE PRODUÇÃO
DE CONHECIMENTO GEOGRÁFICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Carla Bernadete
Madureira Cruz.

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

M433i Matos, Máira Silva
As imagens do Sensoriamento Remoto digital e sua
condição de ferramenta de produção de conhecimento
geográfico / Máira Silva Matos. -- Rio de Janeiro,
2023.
85 f.

Orientadora: Carla Bernadete Madureira Cruz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Geografia. 2. Produção de Conhecimento. 3.
Imagens . 4. Sensoriamento Remoto. 5.
Epistemologia. I. Cruz, Carla Bernadete Madureira ,
orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

MAÍRA SILVA MATOS

A IMAGEM DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL
E SUA CONDIÇÃO DE FERRAMENTA DE PRODUÇÃO
DE CONHECIMENTO GEOGRÁFICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia.

Aprovada em: 12/09/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Carla Bernadete Madureira Cruz (Orientadora)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof.^a Dr.^a Paula Maria Moura de Almeida
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Este trabalho é dedicado a todos os professores que atravessaram minha trajetória pela Geografia (ainda que ela não tenha sido como sonhei) e que me permitiram um engrandecimento de alma e uma visão de mundo espetacularmente rica, que marcarão a minha vida até o final de tudo e que jamais teria conseguido sem a dedicação e amor que deles presenciei dia após dia. Que esse trabalho seja, ao menos, uma demonstração dessa gratidão da importância que o gestar e cuidar da Ciência Geográfica tem na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Carla Madureira, que acreditou nas contribuições que minhas reflexões poderiam trazer, mesmo quando eu mesma falhei em acreditar ao longo da jornada. E que se dedicou não apenas a ser uma orientadora, mas uma cuidadora das pessoas e da minha humanidade, assim como o professor Rafael Barros, diante de uma pandemia que durou três anos e de necessidades e transformações decorrentes da materialidade da vida.

Agradeço aos meus colegas do núcleo de pesquisa Espaço, em especial João Vitor Marques, Felipe Gonçalves, Vandrê Viegas, Rita Cupertino, Diego Sperle, Raíssa Kalaf, Eduardo Lacerda e Luiz Felipe Furtado, pela pronta ajuda nos pedidos de socorro, pelos debates ricos sobre as fronteiras do conhecimento técnico em Sensoriamento Remoto e dilemas da Geografia no Brasil e, principalmente, pela constante lembrança de que devemos rir das adversidades e de nós mesmos, e medir os pesos das coisas na vida, afinal, como Arthur Cracknell, em 2019, escreveu na conclusão de um trabalho, onde a busca pelo resultado se mostrou complexa demais, *“life was too short and there were more interesting things to do with one’s time”*.

Agradeço aos meus pais, Jucimére e Beto, meu padrasto Neir, à minha irmã, Juliana, e aos meus cunhados, Kevem e Gustavo, por me permitirem consistentes apoio material e afetivo durante esse desafio, não por si próprio, mas por ele ter se desenrolado num momento da minha vida onde me encontrava sem perspectivas para construir autonomia material, já tendo um companheiro e um filho. A este companheiro, Thiago Berto, ao meu filho, Noah, também preciso agradecer, pois, apesar de muito da complexidade desse caminho se relacionar ao fato de já precisar dar conta de cuidar de uma família, eles me ensinaram sobre o que importa no final. Preciso somar a esse aprendizado também meu namorado, Pedro Naine, que em pouco tempo fincou raízes nesse substrato a família enquanto reflexo de de cuidado coletivo, não de hierarquização e individualismo, além de um tanto de amigos de círculos não acadêmicos do Rio de Janeiro e de São Paulo que se disponibilizaram a dar apoio de diversas formas, seja burocrática, emocional ou financeira, em especial Laura Andrade, com suas incansáveis revisões.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por permitirem o apoio material e imaterial para o desenvolvimento de pesquisa, ciência e tecnologia, que viabilizam o incansável desenvolvimento do conhecimento a partir de instituições públicas.

RESUMO

As imagens digitais do Sensoriamento Remoto são consideradas ferramentas de ponta na obtenção de informação e produção de conhecimento sobre fenômenos espacializáveis. Mas sua relevância, como todo produto humano, é um fenômeno socialmente construído, portanto este trabalho busca investigar a partir de que aspectos tais imagens ocupam este status privilegiado na produção de conhecimento geográfico. A partir de uma abordagem fenomenológica, compreendeu-se que este status vem, inicialmente, de uma relação profunda construída historicamente entre Geografia e imagens do alto, em especial as verticais, permeada pela cultura da visualidade como fonte de conhecimento. A isso é somada também uma complexidade técnica a partir do desenvolvimento progressivo de tecnologias de voo, imageamento e processamento, frutos de uma abordagem própria da Engenharia/Ciências Aplicadas de produção de conhecimento. Atualmente são indissociáveis a progressos computacionais e estatísticos cada vez mais avançados, fomentando uma confiabilidade naturalizada no potencial destas imagens *per se*, mas sua natureza técnico-metodológica também demonstrou inúmeras vezes ser capaz de abrir portas para conhecimentos cuja busca e produção seriam inviáveis sem sua existência. É a partir desta análise exploratória que se pretende, neste trabalho, contribuir para a compreensão da legitimidade do conhecimento como um processo dependente de escolhas, contextos e códigos, e que devem ser racionalizados e socialmente evidenciados, permitindo uma leitura crítica dos fenômenos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Epistemologia. Produção de conhecimento. Imagens. Geografia.

ABSTRACT

Digital images from Remote Sensing are considered cutting-edge tools for obtaining information and producing knowledge about spatializable phenomena. But its relevance, like every human product, is a socially constructed phenomenon, therefore this work seeks to investigate from what aspects such images occupy this privileged status in the production of geographic knowledge. From a phenomenological approach, it was understood that this status initially comes from a deep relationship historically built between Geography and images from above, especially vertical ones, permeated by the culture of visuality as a source of knowledge. Added to this is technical complexity resulting from the progressive development of flight, imaging and processing technologies, the result of an Engineering/Applied Sciences approach to knowledge production. Currently, they are inseparable from increasingly advanced computational and statistical progress, fostering a naturalized reliability in the potential of these images *per se*, but their technical-methodological nature has also demonstrated countless times to be capable of opening doors to knowledge whose search and production would be unfeasible without their existence. It is from this exploratory analysis that this work intends to contribute to the understanding of the legitimacy of knowledge as a process dependent on choices, contexts and codes, and which must be rationalized and socially highlighted, allowing a critical reading of the phenomena.

Keywords: Remote Sensing. Epistemology. Knowledge production. Images. Geography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Trabalho pré-escolar sobre os conceitos de mar sujo e mar limpo ..	16
Figura 2 –	Fragmentos de obras renascentistas sobre a história do mundo	19
Figura 3 –	Obra de Etienne Dupérac retratando Roma, <i>Nova Urbis Romae Descriptio</i> (1577)	22
Figura 4 –	Obra de Antonio Tempesta, <i>Recens prout hodie iacet almae urbis romae cum omnibus viis aedificiisque prospectus acuratissime delineatus</i> (1593)	23
Figura 5 –	Foto tirada a bordo da missão Apollo 17 (1972)	27
Figura 6 –	Caráter básico dos dados de imagem digital. (a) Imagem digital original de 500 linhas x 400 colunas, escala 1: 200.000; (b) Ampliação mostrando 100 linhas x 80 colunas da área de <i>pixels</i> próximo ao centro de (a), escala 1: 40.000. (c) Ampliação de 10 linhas x 8 colunas, escala 1: 4.000. (d) Números digitais correspondentes ao brilho de cada <i>pixel</i> mostrado em (c)	30
Figura 7 –	Imagens obtidas em bandas ópticas (a e b) e de RADAR (c e d) da mesma área de interesse	32
Figura 8 –	Principais técnicas de processamento de imagens segundo um modelo geral de divisão	33
Figura 9 –	Efeito da resolução espectral na identificação de alvos (estradas de terra) em áreas de relativa densa vegetação cujas dimensões são inferiores à resolução espacial de 30 m da imagem	39
Figura 10 –	Etapas gerais usadas para extrair informações temáticas de cobertura da terra de dados de sensores remotos digitais	42
Figura 11 –	Matriz de erro hipotética da classificação booleana de uma cena. Cada célula em azul é o número de pontos de controle e sua posição em linha corresponde a como a classificação os rotulou ...	45
Figura 12 –	Fontes de erro para produtos derivados de sensoriamento remoto .	48
Figura 13 –	Lei de Moore: o número de transistores em microchips dobra a cada dois anos?	55
Figura 14 –	Principais marcos na análise quantitativa de sensoriamento remoto	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEOBIA	<i>Geographic Object Based Analysis</i> - Análise Baseada em Objeto Geográfico
GIS	<i>Geographic Information System</i> - Sistema de Informação Geográfica
GWR	<i>Geographically Weighted Regression</i> - Regressão Geograficamente Ponderada
MAUP	<i>Modifiable Areal Unit Problem</i> - Problema da Unidade de Área Modificável
PDI	Processamento Digital da Imagem
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
REM	Radiação Eletromagnética
RFI	<i>Radio Frequency Interference</i>
RSBD	<i>Remote Sensing Big Data</i>
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
VHSR	<i>Very High Spatial Resolution</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	QUESTÕES E OBJETIVOS DA PESQUISA	13
2.1.	Objetivo geral	13
2.2.	Objetivos específicos	13
3.	IMAGENS DO ALTO COMO INSTRUMENTO DO SABER GEOGRÁFICO	15
3.1.	Imagens e Geografia	15
3.2.	A importância da Visão do Alto	21
4.	IDENTIDADE TÉCNICO-METODOLÓGICA DAS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL	29
4.1.	A Estrutura das Imagens Digitais de Sensoriamento Remoto	29
4.2.	Produzindo informações com Imagens Digitais	32
5.	AS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL E A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO: DISCUSSÃO	52
5.1.	Tecnologia como essência e o salto do Séc. XXI	52
5.2.	Destaques epistemológicos e tendências	59
5.2.1.	Imagem do Sensoriamento Remoto Digital como ferramenta de análise técnica	59
5.2.2.	Imagem do Sensoriamento Remoto Digital como representação	66
6.	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

É inegável que as imagens gráficas produzem efeitos poderosos na nossa percepção e compreensão do mundo. Na Geografia esse fenômeno pode ser observado com atenção especial, principalmente porque a história da Ciência Geográfica está fortemente ligada à história da produção de imagens do mundo e de sua representação pictórica (COSGROVE, 2008), seja para comunicar, orientar, mensurar ou contemplar aspectos do espaço geográfico, em especial imagens produzidas pelo ponto de vista elevado. Olhar do alto, de forma geral, não só tem relação com a necessidade de dominar a apreensão de uma totalidade espacial para além das nossas limitações fisiológicas, seja pela obtenção de informação racionalizada, seja pela necessidade de controle territorial, mas também com uma sensibilidade espacial própria da cognição humana, desenvolvida no manuseio de objetos tridimensionais (COSGROVE; FOX, 2010). A necessidade de compreender o espaço a partir desse ponto de vista deu origem ao ato de mapear, prática presente desde a pré-história, e que acompanhou, portanto, o desenvolvimento da humanidade desde seus primórdios (MENEZES; FERNANDES, 2013). Esse fato, e o posterior desenvolvimento da cartografia como técnica de fundamentação matemática, transformaram o mapa no principal recurso para informar sobre o espaço, sendo imprescindível à Geografia desde seu nascimento e que também veio se tornando mais presente no cotidiano das pessoas com o desenvolvimento das tecnologias da informação e da internet (MONMONIER, 2018).

Com o desenvolvimento quase simultâneo do voo (desde os primeiros balões) e da fotografia (entre o fim do século XVIII e início do século XIX) se alcança um novo referencial na apreensão do espaço e legitimidade de sua representação, uma vez que o ponto de vista, antes apenas desenhado e calculado a partir da abstração, agora aparecia em imagens semelhantes a como vemos a olho nu. Tais imagens, ao mesmo tempo em que produzem fascínio, são também cognitivamente familiares a quem as observa, mesmo que seja a primeira vez (COSGROVE; FOX, 2010). Especialmente pelo status de evidência que um registro fotográfico supõe, essa combinação de técnicas traz novas formas de assimilar intelectual e afetivamente imagens do mundo e com ele se relacionar, a partir de múltiplas abordagens, que dialogam e formam a complexidade do espaço, sua vivência e uso. Com o advento

das imagens orbitais e a consolidação do campo do Sensoriamento Remoto, esse referencial ganha novos contornos, uma vez que passa a ser possível imagear todo o globo terrestre a partir de sensores cujos parâmetros são conhecidos. Assim, o termo imagem, no campo das geotecnologias, passa a se referir à matriz digital de células que são a tradução visual de valores de energia refletidos ou emitidos pelos diversos materiais, sendo não apenas um recurso visual de interpretação do espaço, mas também uma fonte primária de dados sobre materiais e fenômenos na superfície terrestre (CASTILLO, 2009). Portanto as imagens digitais do Sensoriamento Remoto surgem inexoravelmente ligadas a um universo imagético previamente construído na Geografia, da visualidade como mecanismo do reconhecimento e controle do espaço, vinculada a uma perspectiva cara à apreensão do território, mas que também segue rumos mais elaborados no séc XXI.

O Sensoriamento Remoto Digital oferece a possibilidade de obter informações sobre a realidade da superfície terrestre a partir da leitura que se pode fazer das diferentes respostas com que cada material reage à incidência da radiação eletromagnética em seus vários tipos, não se limitando à pequena faixa do espectro visível. Isto abre um vasto leque de possibilidades na detecção e mensuração de fenômenos e materiais, inclusive os que não se podiam “enxergar” antes. No entanto, é fundamental compreender que, como toda técnica, o Sensoriamento Remoto Digital só faz sentido como mediador da produção de conhecimento dentro de uma construção epistemológica. É necessário, portanto, definir objetivos, resoluções, tipo e parâmetros do sensor, etapas de processamento matemático e estatístico dos dados. Sobretudo, deve-se ter o domínio de como um conceito, construído a partir da observação de um fenômeno, que carrega consigo as arbitrariedades de sua definição (como a vegetação, ou suas subdivisões) conseguirá se relacionar, considerando os parâmetros citados anteriormente e outros mais, com um amontoado de dados numéricos obtidos por um sensor e com os efeitos cognitivos e simbólicos dos aspectos imagéticos que uma imagem desse tipo incorpora enquanto representação. De modo algum, se podem tomar as imagens digitais do Sensoriamento Remoto como um produto acabado ou evidência óbvia. É certo que o uso de imagens orbitais trazem inovações, porém, assim como outras representações, ela precisa ser codificada e decodificada levando em consideração suas limitações e potencialidades enquanto tal.

Para compreender como as questões epistemológicas da imagem do Sensoriamento Remoto Digital a tornam relevante dentro da Geografia iremos, primeiramente, investigar como esse produto está enraizado num substrato histórico e cognitivo onde a construção gráfica de imagens é uma prática chave ao nascimento da Geografia. Nesse momento será discutida a importância das imagens para a descrição e análise do espaço e que aspectos dessas imagens ganham destaque nessa estrutura. Em seguida iremos caracterizar as imagens produzidas e interpretadas em Sensoriamento Remoto Digital a partir de suas singularidades técnico-metodológicas. Por fim, pretendemos discutir decorrências epistemológicas dos aspectos discutidos anteriormente para compreender elementos particulares da conexão destas imagens com a produção de conhecimento sobre o espaço, levantando questões pertinentes a respeito da legitimidade do uso destas imagens.

O presente trabalho tem sua relevância construída a partir dos seguintes enfoques:

- a) Internamente, no âmbito da Geografia enquanto disciplina, o estudo se posiciona como contribuição na necessidade de compreender estudos geográficos de modo menos verticalizado no que tange a nichos temáticos da Geografia e mais integrado no que tange à práxis, pois pretende discutir a conexão íntima entre o uso de uma técnica e a forma como se pensa o espaço ou a própria Geografia enquanto objeto de estudo;
- b) Enquanto contribuição geográfica na reflexão sobre a legitimidade da produção do conhecimento, em especial a sob a ótica do momento atual, tema fundamental a ser discutido e revisto na contemporaneidade, quando há em curso não somente novas perspectivas críticas das consolidadas lógicas modernas, mas também um movimento de retrocesso anticientificista, que vem crescendo em múltiplos espaços;
- c) Enquanto reforço da necessidade de pesquisador/analista do campo do Sensoriamento Remoto Digital de que é fundamental compreender que as características das imagens de Sensoriamento Remoto atuam como blocos construtores da verdade espacial que se pretende a partir delas produzir, especialmente no contexto do domínio crescente da automatização de processos matemáticos e estatísticos via inteligência artificial e do paradigma do *big data*.

2. QUESTÕES E OBJETIVOS DA PESQUISA

Essa dissertação busca responder às seguintes perguntas:

- a) A partir de que aspectos as imagens do Sensoriamento Remoto Digital se conectam com a tradição do uso de imagens dentro da Geografia?
- b) O que caracteriza as imagens do Sensoriamento Remoto Digital, sua produção e uso como instrumentos fomentadores de saber geográfico?
- c) Que questões epistemológicas e fenomenológicas essas imagens e seu uso trazem para a produção de conhecimento sobre o espaço, em especial na Geografia

Para isso foram construídos os seguintes objetivos, geral e específicos:

2.1. Objetivo geral

Analisar o papel das imagens do Sensoriamento Remoto Digital e suas características na constituição de saberes geográficos e leituras do espaço, buscando evidenciar elementos, paradigmas e questões de pertinentes à sua produção e seu uso na obtenção de informação e construção de conhecimento sobre o espaço.

2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos foram elencados:

- a) Investigar o papel de imagens do alto, sejam elas oblíquas, verticais, ou até mesmo uma fusão das duas, na construção de conhecimento geográfico e na produção de sentido sobre o espaço a fim de compreender as bases epistemológicas que permitem uma naturalização da relevância das imagens de Sensoriamento Remoto Digital dentro da Geografia.
- b) Caracterizar as imagens do Sensoriamento Remoto Digital, analisando suas características particulares e novas questões epistemológicas a elas associadas, bem como compreender sua consolidação e transformação enquanto ferramenta de Geoinformação e seus impactos nas transformações

tecnológicas subsequentes

- c) Discutir fenômenos relacionados à consolidação do uso dessas imagens para a produção do conhecimento sobre o espaço, bem como refletir sobre sua conexão com a Ciência Geográfica e sobre a percepção do espaço através de forma geral.

3. IMAGENS DO ALTO COMO INSTRUMENTO DO SABER GEOGRÁFICO

3.1 Imagens e Geografia

Inicialmente parece justo que tenhamos que definir o que chamamos de imagem neste trabalho, e para isso, neste primeiro momento, tomemos a análise de Martine Joly (1996), pesquisadora francesa especializada em comunicação audiovisual, em sua revisão a respeito do tema e suas definições, que identifica que, de modo geral, imagens são definidas como aquelas mensagens visuais que tem como propriedade principal a analogia, a semelhança com alguma outra coisa.

Partindo dessa referência, a nós interessam aqui as imagens gráficas, construídas para apreciação da visão. Estas imagens nos são apresentadas desde nossos primeiros anos de vida, inclusive na educação formal e suas atividades de desenvolvimento, e moldam nossa forma de perceber os fenômenos e suas lógicas.

Ela é oferecida, no geral, como ferramenta sintética de descrição de elementos apresentados de forma sincrônica, permitindo associações de forma rápida e complexa, cujo exercício resulta na construção de modelos a respeito da realidade.

Uma ilustração emblemática dessa abordagem pode ser observada na Figura 1. Nessa figura, é retratado o produto de uma atividade educacional, onde a construção coletiva de imagens serve como veículo para a formulação de modelos representativos das concepções de mar poluído e mar limpo.

Figura 1 - Trabalho pré-escolar sobre os conceitos de mar sujo e mar limpo



Fonte: Registro de acervo da autora

Essa representação gráfica exemplifica a maneira pela qual as imagens não apenas complementam, mas também enriquecem nosso entendimento das ideias, permitindo uma expressão visual que transcende as limitações do discurso escrito. Portanto, à luz da contribuição de Joly e da observação da Figura 1, podemos apreciar o papel fulcral que se designa às imagens na construção de modelos conceituais e na promoção da compreensão da realidade que nos cerca.

Pensando nessas propriedades da imagem, percebemos que elas possuem um vínculo especial com a Geografia ao analisarmos sua história. De acordo com Gomes e Ribeiro (2013, p. 29) “a informação geográfica foi, desde seus primórdios, informação gráfica”, de modo que a própria elaboração de imagens do espaço, em seu devir, permite desvendar lógicas espaciais e levantar reflexões, criando peculiaridades nessa relação entre Geografia e imagens. E se entendemos que “a ideia de que a Geografia é uma apresentação do mundo não é nova” (GOMES, 2017, p. 62), isso implicaria dizer, pelo que já vimos, que as imagens tiveram papel fundamental nisso. Ainda oferecendo maior contextualização da importância científica da Cartografia, Cosgrove (2008) observa que, na cultura ocidental, que é de onde parte a reflexão sobre a fundação da Ciência Geográfica, a articulação do pensamento

de que o mundo oferece evidência visual de uma ordem ou *design* harmônico, tanto divina quanto secular, é herdada das civilizações grega e judaica. Destaca-se aqui a importância inicial dos estóicos, que se baseavam, em seus fundamentos principais, na visão de uma unidade harmônica do mundo, do cosmos (entendendo que a compreensão do universo, naquele momento tinha base geocêntrica), resultante da conexão das múltiplas partes aparentemente caóticas e diversas dos fenômenos naturais e humanos (GOMES, 2017). Junto disso tudo vem a preocupação com a descrição e o desenho da Terra e dos espaços terrestres, como visto em Estrabão (64 a. C. - 21 d. C.) e Ptolomeu (90-168 d. C.), principais figuras deste período para a Geografia, cada um à sua maneira¹, mas também em outros autores da época.

Um momento posterior em que se verifica novamente uma íntima relação entre imagens e conhecimento geográfico é no Renascimento, quando o resgate da filosofia e estética da antiguidade, a expansão das dinâmicas comerciais e descobertas técnicas e de novas terras conduziram a grandes transformações a partir do século XV. Um fator chave para compreender como o Renascimento fundou o pensamento moderno e, conseqüentemente, as formas de conhecer e apresentar o mundo, é a descoberta e difusão da Perspectiva Linear², inaugurando uma nova forma de representar e, portanto, de ver e entender, que carregava consigo a idéia da perfeição divina e o espírito das transformações do período, incluindo a busca pela objetividade e aproximação da realidade, atingidas por um afastamento abstrato do sujeito que olha. A percepção imagética, comprometida, na idade Média, em justapor todos os pontos de vista relevantes independente de relações espaciais físicas, passa a ser centralizada no olho de um observador, construindo uma lógica onde o sujeito é a medida das coisas, e o espaço passa a ser analisado em um jogo de posições e distâncias a esse observador central, lugar antes reservado a deus, agora trazida à luz pela matemática. Hillis (1994, p. 2, tradução nossa) observa que “durante o século XV uma ligação entre a percepção visual e o ato de conhecer ganhou expressão formal, assim como as técnicas visuais para representar e guiar o desenvolvimento dessa nova forma de conhecimento”. Ou seja, a perspectiva e seu grid (indissociável

¹ Para detalhes a respeito da forma como Estrabão e Ptolomeu conceberam seus projetos de construção do conhecimento geográfico consultar Gomes (2017).

² A Perspectiva Linear é a técnica de desenho matematicamente elaborada a partir do ponto de vista de um observador estático, buscando recriar profundidade e proporções percebidas tal qual a visão humana, cujo estudo é inserido por Leon Baptista Alberti, em 1436 (HILLIS, 1994)

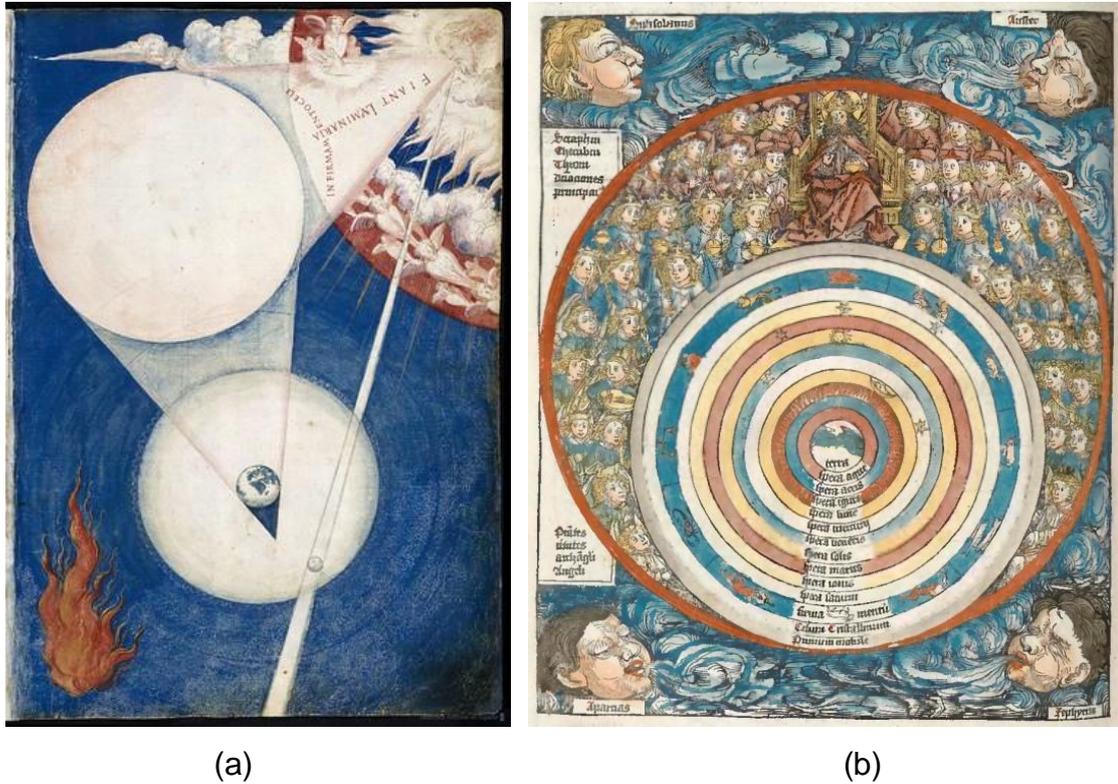
do papel do grid da cartografia, de acordo com o autor) se tornam aparatos intelectuais diretamente vinculados com a capacidade de entender e descrever a realidade de forma superior, correta e bela. Essa revolução técnica e simbólica, foi capaz de remodelar a metafísica da relação entre sujeito e espaço, onde a lógica do distanciamento e matematização do olhar se tornam aspectos básicos fundadores da objetividade.

A partir dessa nova dinâmica entre visão e conhecimento do real, a elaboração de imagens com a função de descrever os lugares de forma precisa e realista se tornava uma demanda crescente, bem como uma necessidade de controlar o espaço, onde medições, pinturas com o advento da perspectiva e representações cartográficas (ofício já associado à figura do geógrafo) se multiplicavam (CORRÊA, 2011), inclusive inicialmente inspirados nas produções resgatadas de Estrabão e Ptolomeu.

No início deste período as cosmografias se proliferam, ricas em material gráfico, buscando dar conta dessa descrição do mundo, retomando o vínculo com a ideia de ordem na unidade do universo. Antes de tudo, o apelo do cosmógrafo era para a visão, de modo que a ele cabia revelar a coerência dos fenômenos do mundo através do uso da geometria e da física, através das diferentes escalas (cosmografia, geografia e corografia). A imagem gráfica no Renascimento era, portanto, o produto mais refinado (e o meio de reflexão) a respeito do universo, uma vez que seu status era o de evidência descortinada e traduzida dos processos que movem a realidade.

A Figura 2 mostra como a ordem do cosmos é “revelada”, através de imagens que sintetizam e traduzem as leis que regem o aparente caos. Essas imagens são evidências concretas das confiança renascentistas de traduzir a complexidade do universo em formas visuais ordenadas.

Figura 2 - Fragmentos de obras renascentistas sobre a história do mundo: (a) criação do sol e da lua com a inscrição “que haja luzes no firmamento”, de *De Aetatibus Mundi Imagines* (As Eras do Mundo Ilustradas), de Francisco de Holanda (1545) e; (b) *Liber chronicarum* (conhecido como *Crônicas de Nuremberg*), de Hartmann Schedel (1493).



Fonte: Holanda (1545) e Pleydenwurff, Hartmann e Wolgemut (1493)

Posteriormente, no século XVII, as cosmografias vão perdendo vigor, e mais destaque passa a ser dado às descobertas geográficas e a sua cartografia associada, produzida pela expansão marítima e a circum-navegação (COSGROVE, 1999).

Junto com a redescoberta de reflexões e produções da antiguidade, o Renascimento herda também a antiga necessidade de enxergar ordem no mundo, o que também se consolidou na forma como buscamos conhecimento ao longo da modernidade, influenciando e inspirando a produção científica e estética e, como consequência, a ação humana no espaço geográfico. Tal matriz lógica, a da ordem e harmonia do conjunto mundo, influenciou desde divisões territoriais de colônias até a arquitetura (COSGROVE, 2008), e as imagens sempre estiveram atuando como intermediador dessa relação sujeito-mundo.

Podemos entender, portanto, que existe um protagonismo da produção de imagens não só na criação de visões do/de mundo mas também na construção e consolidação da Ciência Geográfica em suas bases, que se consolidam por sobre a

gradual ampliação e complexificação da necessidade de informação sobre a identificação e análise do espaço enquanto ferramenta social de transmissão de conhecimento, o que conhecemos hoje como Geoinformação (CASTIGLIONE, 2022), tendo, assim, importantes permanências ao longo do desenvolvimento posterior da Ciência Geográfica. A partir dessa compreensão, Gomes (2017) discute a noção de Quadro Geográfico, uma seleção visual de um recorte espacial e de atributos/temas de interesse como instrumento de reflexão para o desenvolvimento do saber geográfico, onde a localização tem papel central na compreensão dos fenômenos e sua relação.

Hoje tal relevância das imagens dentro da Geografia é debatida tanto em suas potencialidades quanto em problemas decorrentes de seu uso e produção. Enquanto potencialidades poderíamos elencar a capacidade de visibilizar relações espaciais antes invisíveis (GOMES, 2017), organizar e, portanto, permitir expandir o conhecimento espacial, comunicar de forma sintética e simultânea, bem como ser fonte de pesquisa e reflexão a respeito da própria produção de significados e ações sobre o espaço. Ao mesmo tempo também são apontados problemas como a tendência do uso da imagem como evidência pura da realidade (ROSE, 2003; NOVAES, 2011; MASSEY, 2008), a carga ideológica empregada na concepção da imagem (MONMONIER, 2018) e problemas teóricos para a concepção de espaço, que acaba sendo tomado pelas mesmas características de sua representação (MASSEY, 2008).

Como já foi apontado, a redescoberta da perspectiva linear foi crucial para a construção de importantes transformações intelectuais e artísticas do Renascimento, influenciando não só a pintura de paisagens mas também a produção cartográfica. E a influência da visão do alto na construção de novas imagens do mundo (e também de um novo mundo) foi enorme, como demonstram as cosmografias, corografias, panoramas de cidades e a própria importância da cartografia ao longo da Modernidade. Uma vez que entendemos a centralidade da explicação de uma coerência e ordem das partes do mundo e das imagens descritivas para o surgimento e consolidação da Geografia, o afastamento e a imaginação geográfica são elementos chave desse exercício. Gomes (2013) observa que o distanciamento entre sujeito e objeto passa a ser um aspecto muito valorizado no sistema de representação da modernidade, construindo uma separação entre a observação meticulosa e a experiência cotidiana. O uso da perspectiva é, portanto, a manifestação gráfica que

fundamenta esse modo de pensar e que é por ele também alimentada ao longo do processo.

3.2 A importância da Visão do Alto

Nesse cenário, ver do alto significa ter o recurso necessário para ampliar o campo de visão e conseguir, através da geometria, decodificar e descrever a conexão ordenada dos fenômenos observados. De acordo com Cosgrove e Fox (2010, p. 11, tradução nossa):

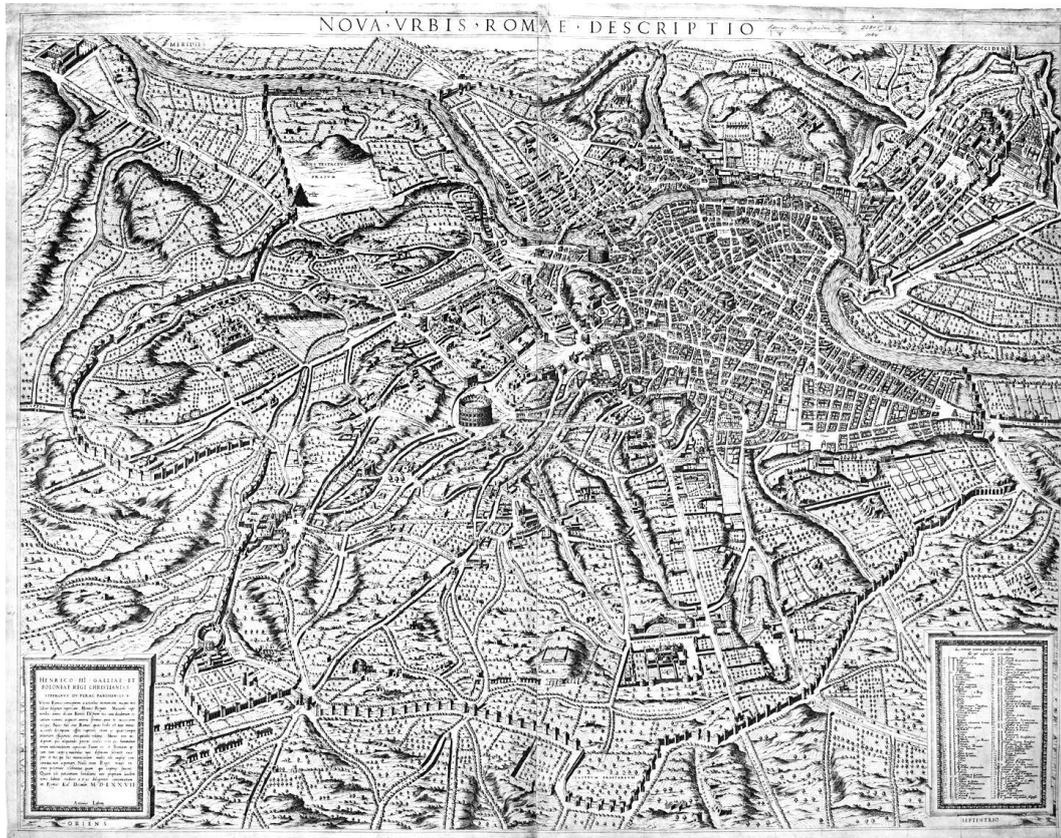
Dentre todas as visões que nós podemos obter de nosso macro-ambiente, incluindo sermos capazes de imaginar espaços por trás de coisas, a visão do alto está entre as mais úteis, posto que ela nos permite planejar com antecedência, nos posicionar no contexto maior do mundo e mapear um percurso tanto no espaço quanto no tempo.

A visão oblíqua (também descrito na língua inglesa como *bird's eye view*) e a vertical dividiram espaço nessa trajetória, e muitas vezes foram usadas em conjunto, como mostra a Figura 3, dependendo do objetivo³. Nesta figura, intitulada “Obra de Etienne Dupérac retratando Roma, *Nova Urbis Romae Descriptio* (1577)”, é combinada a visão oblíqua, para relevo, edificações e árvores, e a visão ortogonal, para os desenhos do território romano. A visão oblíqua teve uma relação principalmente com a visualização de cidades e pequenos recortes territoriais e paisagísticos, de escalas que poderíamos chamar de locais, muito utilizada em corografias (COSGROVE, 2008), uma das três escalas descritivas do universo de representação cosmográfico já citadas anteriormente, inspiradas nas obras de Ptolomeu, cuja função seria retratar paisagens e suas particularidades⁴.

³ Inclusive a imagem que tem sido identificada como o primeiro mapa do mundo, o de Çatalhöyük, mostra elementos de vista vertical misturados com um elemento que parece representar um relevo de destaque (COSGROVE; FOX, 2010)

⁴ As outras duas abordagens escalares seriam: a Geografia, trabalhos que descreveriam padrões de fenômenos que atuam em larga escala no planeta, como clima, distribuição das terras e dos mares e; Cosmografia, que trataria do sistema geocêntrico e sua relação com o firmamento (COSGROVE, 2008).

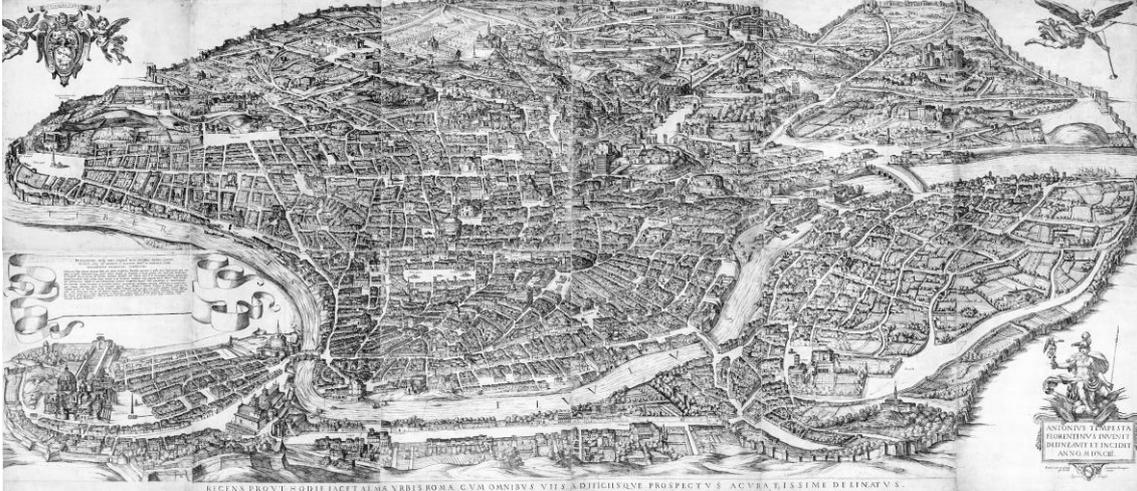
Figura 3 - Obra de Etienne Dupérac retratando Roma, *Nova Urbis Romae Descriptio* (1577)



Fonte: Dorrian e Pousin (2013)

A relação com essa escala aparece também em Michael Burry (2013), ao discutir mensagens transmitidas por diferentes representações que usam visão oblíqua da cidade de Roma, no último quartel do século XVI, em função do ponto de visada escolhido; também está presente na exposição de Jean-Marc Besse (2013) a respeito da obra de Alfred Guesdon na cultura visual do panorama no século XIX, como ilustrado na Figura 4, intitulada “Obra de Antonio Tempesta, *Recens prout hodie iacet almae urbis romae cum omnibus viis aedificiisque prospectus acuratissime delineatus* (1593)”, trazendo o retrato de Roma em perspectiva oblíqua, desta vez impulsionada pelo desenvolvimento conjunto do vó e da fotografia. Tais imagens tinham pouco valor para comerciantes e viajantes, e eram mais utilizadas em escritórios, bibliotecas, como objeto de valor estético, mas também para estratégias militares e para informar e sugerir compreensões gerais sobre os territórios, mas que durante o século XVIII foram sendo preteridas por produções com maior preocupação científica com a representação do relevo através de mensurações (COSGROVE; FOX, 2010).

Figura 4 - Obra de Antonio Tempesta, *Recens prout hodie iacet almae urbis romae cum omnibus viis aedificisque prospectus acuratissime delineatus* (1593)



Fonte: Dorrian e Pousin (2013)

Entende-se, portanto, que o uso da visão oblíqua se torna interessante nessa escala porque é onde existe apelo informativo, estético e simbólico na visualização de estruturas verticais, como relevo, edifícios e outras feições com as quais se pode estabelecer não apenas uma relação de valorização ou desvalorização entre aspectos da paisagem, a partir do jogo de perspectivas e pontos de visada, como também entre a paisagem e o observador. Em função da manutenção de uma perspectiva tridimensional, ainda que afastada, natural do ponto de vista horizontal do sujeito que observa, há uma facilidade na identificação de proporções e dimensões do “mundo real”, sendo a característica principal de sua legibilidade, que poderíamos evocar como uma tentativa de experiência expandida de reconhecimento de uma paisagem.

Já o papel da perspectiva vertical/ortogonal no desenvolvimento do sentidos sobre espaço é particularmente notável, tendo em vista que grande parte das imagens graficamente elaboradas a partir desse ponto de vista foram construídas basicamente a partir de um referencial imaginário, virtual, matematicamente construído ou não, e que dependeu totalmente, até recentemente, de uma abstração da percepção fisicamente viável para o ser humano. Confiamos a esse olhar abstrato grande parte do que acumulamos e produzimos sobre o espaço até hoje, tal seu potencial de nos dizer algo sobre relações espaciais, consolidado pelo refinamento da educação visual nascida no Renascimento e perpetuada durante a modernidade. Um olhar que, diferente do oblíquo, oferece uma visão que prioriza posições e proporções em área e visão de todas as feições de um recorte espacial a partir de uma “mesma distância” (sem planos de proximidade), a partir do qual, podemos decodificar matematicamente

relações espaciais entre elementos de interesse e suas posições e geometrias distribuídas em superfície.

A Cartografia é a representante original dessa prática e tem sua história absolutamente imbricada com a história da Ciência Geográfica, produzindo o tipo de imagem mais frequentemente associado ao conhecimento geográfico, o mapa, a ponto de o entendermos como o arquétipo da representação em Geografia (MASSEY, 2008) ou, ainda, como o Quadro Geográfico por excelência (GOMES, 2017). A história de sua existência remonta ao início da própria história da humanidade e, como já indicado anteriormente, teve seu primeiro grande impulso na Grécia da antiguidade (MENEZES; FERNANDES, 2013). Mapas são construídos por um processo de generalização, que, numa análise técnica atual, inclui seleção, classificação, simbolização, dentre outros processos, que definem como se dará sua comunicação. Sua confecção é vinculada à necessidade aparentemente primordial de registrar e transmitir informação sobre o mundo conhecido e até mesmo mundos apenas idealizados, como, por exemplo, o Paraíso⁵. Isso inclusive nos diz mais sobre o ato de mapear do que a simples construção de informação “objetiva”: mapear é um ato de ordenamento do espaço para dar sentido a uma totalidade espacial, a partir de simplificações e símbolos para dar certa legibilidade e interpretação e, assim, nos orientarmos dentro da ordem do mundo (tanto pela informação apresentada quanto pelos aspectos culturais que fundamentam os símbolos), que pode envolver aspectos físicos, ideológicos, afetivos, etc. E, se concordamos com essa reflexão, parece sensato concluir que muito desse entendimento vem da característica do ponto de vista ortogonal daquilo que entendemos como mapa.

A consolidação da Cartografia como ciência veio num momento em que se compreendia uma objetividade neopositivista dos fenômenos mapeáveis e da construção da prática de mapear (FERNÁNDEZ; BUCHROITHNER, 2014), onde o estudo da semiótica ganha destaque na fundação epistemológica da Cartografia, como a contribuição significativa de Jacques Bertin na década de 80 (MENEZES; FERNANDES, 2013). Uma particularidade relevante mencionada pelo autor é a necessidade de compreender a cartografia como sistema monossêmico (ou, se numa outra leitura, um sistema de intenção monossêmica) de representação gráfica, ou

⁵ Ver o capítulo de Alessandro Scafi intitulado *Mapping Eden: Cartographies of the Earthly Paradise* em Cosgrove (1999).

seja, onde os significados dos signos são informados previamente à leitura do mapa, demonstrados pela legenda, em busca da padronização de sua leitura.

Ainda oferecendo maior contextualização da importância científica da Cartografia e seus produtos pictóricos, vale acrescentar que novas perspectivas pós-modernas trouxeram posteriormente e trazem até hoje a preocupação sobre a autoridade e aparente estabilidade do espaço transmitida pela sua representação cartográfica, posto que "o mapa de uma geografia não é aquela geografia, mais do que a pintura de um cachimbo é um cachimbo"⁶ (MASSEY, 2008, p. 160), alimentando o estudo e revisitação da Cartografia, como a própria assunção da monossemia. Para Harley (1988; 1992, *apud* MASSEY, 2008) as regras e códigos presentes na comunicação cartográfica convencional, construída sob uma lógica ocidental e seus significantes, acabam por operar como tecnologia do poder. Numa outra abordagem, essa também é uma das questões levantadas por Monmonier (2018), pois entende que, para além de arbitrariedades técnicas e estatísticas e erros humanos que frequentemente se apresentam, as decisões e generalizações feitas num mapa sempre refletem o julgamento do cartógrafo sobre a importância relativa das características mapeadas (o que se destaca, como se destaca e o que fica de fora), bem como são experiências estéticas que sensibilizam de alguma forma. Compreende-se, inclusive, a Cartografia como uma intersecção entre ciência, técnica e arte (FERNÁNDEZ; BUCHROITHNER, 2014).

Se o mapa, como estratégia de representação a partir da visão ortogonal imaginada, possui uma trajetória tão densa na significação e construção do espaço, o advento das imagens produzidas pelo desenvolvimento simultâneo do voo e da fotografia produziram "efeitos fenomenológicos poderosos" nesse contexto (COSGROVE; FOX, 2010, p. 9, tradução nossa). O voo materializa finalmente o ponto de vista tão calculado e desenhado por séculos, e a fotografia captura e congela uma imagem da aparência de um recorte espaço-temporal tal qual é captada pelo aparelho visual humano, ou seja, que consideramos "real", revelando padrões antes apenas inferidos, muitos deles nem mesmo imaginados ou possíveis de se captar a olho nu.

⁶ Massey faz menção a uma das obras de uma série chamada *Traição das Imagens*, de René Magritte, que apresenta a pintura de um cachimbo com a inscrição "Ceci n'est pas une Pipe" (isto não é um cachimbo), produzida entre 1928 e 1929 (LACMA, 2019).

Diferente do mapa, a foto aérea (posteriormente incorporada como uma prática de Sensoriamento Remoto) capta todos os elementos adjacentes “visíveis” pelo sensor na superfície da terra e isso já traz um aspecto interessante de comparação: pela primeira vez, a visão do alto antecede a seleção de temas no fluxo cognitivo, ao menos em parte. Tudo que se pode ver numa foto, imagem gerada pela faixa visível do espectro eletromagnético, está disponível para visualização, justaposto, e é possível analisar a paisagem como ela se apresenta aos olhos, congelada, pelo tempo que for necessário, tudo isso sem legenda. Temos a impressão de que, de certa forma, há maior neutralidade na seleção daquilo que é percebido. Podemos dizer, a partir desta perspectiva, que a associação entre voo e fotografia criou produtos culturais que, além de permitir uma visão de uma totalidade do espaço, como o mapa, acaba sendo entendida, em grande medida, como evidência objetiva imparcial, e se diferencia do mapa pela polissemia de sua produção, consequentemente desenvolvendo questões epistemológicas particulares associadas às suas características técnicas.

A mudança da escala do espaço apresentado nas fotografias no final do século XX, mostrando o planeta por inteiro, traz consigo novo apelo: o impacto gerado pelas primeiras fotos do planeta Terra pairando no espaço trouxeram grande impacto simbólico na produção de discursos sobre o espaço global. Para muitos que nasceram com televisores ligados em suas casas e a difusão ininterrupta de imagens fabricadas como fenômeno cotidiano, pode ser difícil achar notável uma simples foto como a exposta na Figura 5, tirada a bordo da missão Apollo 17, em 1972, emblemática por ser a primeira foto conhecida da esfera terrestre. Mas ali o planeta é visto finalmente “como ele é”, isolado no vasto espaço, sem graticula, nomes, limites políticos, e descentralizado das referências espaciais ocidentais, uma composição muito diferente do que se entendia até então nas representações cartográficas e pictóricas do globo. Novos significados, tanto de unidade orgânica e fragilidade quanto de conexão e circulação global ilimitada, florescem (COSGROVE, 2001) e, de certa forma, também nos remetem a permanências. De acordo com Corrêa (2011), para Cosgrove o contínuo desenvolvimento tecnológico e o controle do espaço permitem continuidade de propósitos estabelecidos desde o Renascimento, assim como a relevância estética e simbólica das imagens produzidas, difundidas amplamente. Assim tais imagens se tornaram o ápice da visão da humanidade como grande

irmandade global, remetendo também a valores de harmonia e unidade estóicos, cuja compreensão depende do exercício da contemplação.

Figura 5 - Foto tirada a bordo da missão Apollo 17 (1972)



Fonte: NASA Johnson Space Center (1972)

Experiências corporificadas da visão do alto nos ajudam também a entender como esse ponto de vista associado à observação da “realidade” da superfície à distância e a olho nu e cria uma relação mais íntima do indivíduo com um dado território ou paisagem, podendo impactar afetiva e simbolicamente a percepção deste, o que conduz, conseqüentemente, a uma nova racionalização também deste recorte espacial.

Budd (2009, p. 11, tradução nossa), ao investigar relatos a respeito da experiência do voo, cita que “para Langewiesche (1954:178), a aeronave proveu uma perspectiva mais íntima de um país”. Já Frank White cunhou o termo *overview effect* para nomear a mudança de visão de mundo consistentemente encontrada em astronautas de missões espaciais que tiveram distância e imersão suficiente na experiência para contemplar e refletir sobre sua percepção, frequentemente vinculada

a sua conexão com o planeta, sua unidade, sua fragilidade, consciência de coisas mais importantes que problemas vindos das diferenças humanas (WHITE, 2014).

É claro que estas contribuições dizem respeito a uma experiência vivenciada com todo o corpo fisicamente distanciado do solo e até do planeta, vinculado ao fenômeno de superação das competências naturais dos nossos corpos e nos conectado ao sentimento de compreensão harmônica da totalidade permitido pelo distanciamento extremo, criando uma sensação de atingir um status de singularidade e superioridade perceptiva. No entanto, não é exatamente isso que imagens do alto buscaram evocar e simular na sua história? Afinal, a apreensão visual acaba sendo o sentido chave neste processo de vivência corpórea acima do solo. E, pelo que já foi discutido até o momento, parece claro que quanto mais distante passou a ser possível enxergar a superfície à semelhança da visada a olho nu, maior o recorte com o qual o sujeito se sente capaz de se relacionar afetiva e simbolicamente, o que faz da escala espacial um tópico claramente muito relevante não apenas para as necessidades de mensuração, mas para compreender possíveis relações entre sujeito e o espaço ao longo do tempo.

Podemos concluir, a partir do exposto, que as imagens do alto, em especial as verticais, conquistaram um lugar privilegiado enquanto mediadoras da produção do conhecimento a partir de um processo material-histórico, através do qual lhe é atribuída a função de descrever a superfície da terra, suas dimensões e feições através do valor da objetividade associada à matemática e ao distanciamento (abstrato ou físico), e que esse processo precisa ser levado em consideração enquanto ponto de partida epistemológico do fomento da relevância de imagens do Sensoriamento Remoto Digital como ferramentas legítimas de produção de conhecimento geográfico através dessa função.

Para obter um maior aprofundamento na investigação do status particular das imagens digitais do Sensoriamento Remoto, é necessário, a partir deste ponto, buscar compreender como o processo particular de sua produção, envolto em avanços tecnológicos e computacionais, elevou o status desse tipo de imagem como fonte de conhecimento científico sobre o espaço, refinando a análise sobre de que modo as características técnicas próprias deste produto contribuem para moldar sua essência particular como meio de transmissão de geoinformação e sua consequente pertinência para produção de conhecimento geográfico.

4. IDENTIDADE TÉCNICO-METODOLÓGICA DAS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL

4.1 A Estrutura das Imagens Digitais de Sensoriamento Remoto

Ainda que tenha havido o desenvolvimento de sensores acoplados em satélites para fins militares antes da década de 70, é em 1972 que é lançado o primeiro satélite destinado à observação da Terra para fins de pesquisa e monitoramento, o ERTS-1, missão posteriormente rebatizada de Landsat, e que teve vários outros exemplares lançados, abrindo finalmente as portas para o estabelecimento do campo do Sensoriamento Remoto que, com o tempo, foi tomando forma enquanto ciência. O Sensoriamento Remoto, enquanto técnica amplamente aplicada em várias áreas, diz respeito à coleta de dados por um sensor distante do objeto de interesse. No que tange ao conhecimento espacial, o Sensoriamento Remoto é tido hoje como

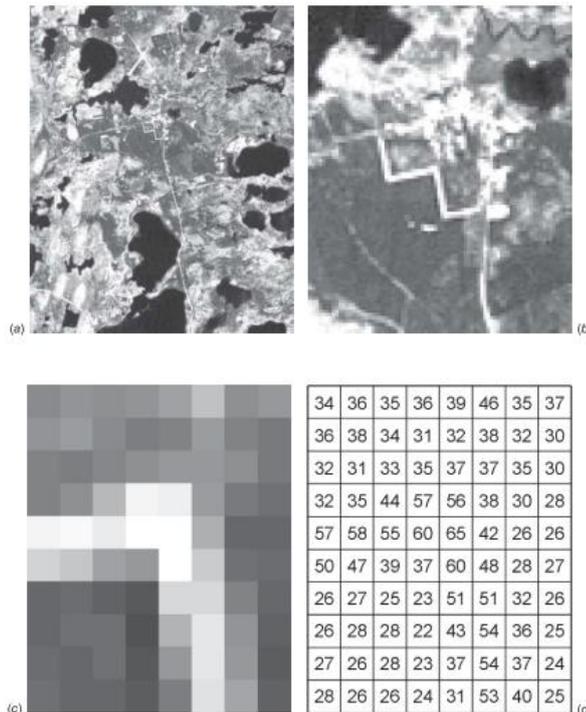
[...] uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e da medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES, 2012, p. 3).

Atualmente, dentro do campo das geociências, há sensores remotos que trabalham coletando dados variados, inclusive não imagéticos, como a nuvens de pontos obtida pelo *laser scanning*, porém pode-se dizer que o centro nervoso do Sensoriamento Remoto é a produção e interpretação de imagens digitais, principalmente de plataformas orbitais, mas também a partir de plataformas aerotransportadas e até Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). A consolidação do Imageamento orbital inaugura um novo momento na história das imagens do mundo, em especial as verticais. Os produtos do Sensoriamento Remoto Digital diferem das fotos aéreas principalmente pela forma de adquirir a imagem: o filme fotográfico, tipicamente usado nas fotografias aéreas tradicionais de câmera analógica, cumpria duas funções simultaneamente: a de detectar, pela reação química, os níveis de energia refletidos por cada alvo e sua composição material, quanto a de registrar em imagem. Já os sensores imageadores captam os sinais elétricos correspondentes aos níveis de energia refletida ou emitida pelos alvos (JENSEN, 2009) e são exibidos como imagem em outro meio, para leitura digital. O produto pictórico, a imagem, passa a ser algo mais amplo: toda fotografia é imagem, mas nem toda imagem é fruto do

processo físico da fotografia. A partir de progressos tecnológicos, o método digital de produção de imagens passou a dominar o campo do Sensoriamento Remoto, expandindo possibilidades de imageamento, além de agilizar análises através do processamento de máquina, o que permitiu novas questões, metodologias e paradigmas a serem explorados. Aspectos materiais-históricos deste processo serão abordados no capítulo seguinte.

Tal registro pictórico, onde a decodificação matemática e estatística dos processos físicos passa a ser o elemento base da obtenção de dados, é feito como número digital numa "matriz bidimensional de elementos pictóricos discretos, ou *pixels*" (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015, p. 31, tradução nossa), as menores unidades formadoras de uma imagem digital (Figura 6).

Figura 6 - Caráter básico dos dados de imagem digital. (a) Imagem digital original de 500 linhas x 400 colunas, escala 1: 200.000; (b) Ampliação mostrando 100 linhas x 80 colunas da área de *pixels* próximo ao centro de (a), escala 1: 40.000. (c) Ampliação de 10 linhas x 8 colunas, escala 1: 4.000. (d) Números digitais correspondentes ao brilho de cada *pixel* mostrado em (c).



Fonte: Lillesand, Kiefer e Chipman (2015).

Essa estrutura de captação e registro traz uma nova perspectiva para o uso de imagens: se une à interpretação visual a análise estatística de valores digitalmente registrados. No campo do Sensoriamento Remoto, a palavra "imagem" toma um sentido diferente do que foi tomado inicialmente neste trabalho, sendo designada

especialmente a este tipo de registro típico obtido por sensores. Como as imagens digitais verticais de Sensoriamento Remoto são a imensa maioria dos produtos gerados e usados nesse campo para produção de conhecimento, neste capítulo, a palavra imagem será usada sempre para fazer referência a este grupo.

Na literatura, de forma geral, é possível encontrar mais de uma forma de classificar sistemas imageadores a partir da natureza física do imageamento. Zhu *et al* (2018), baseado em imageadores orbitais, divide-os em três tipos: óptico, térmico e de radar, divisão similar à adotada por Jensen (2009). Estes tipos de sensores também podem ser encontrados em sistemas aerotransportados, como os VANTs (PÁDUA *et al*, 2017), principalmente pela gradual miniaturização de sistemas eletrônicos complexos. Para os fins deste trabalho vale usar uma divisão mais simples, como a adotada por Lillesand, Kiefer e Chipman (2015) e Novo e Ponzoni (2001), em dois grandes grupos:

a) Sensoriamento Remoto eletro-óptico

Sensores que geram imagens a partir de detecção de Radiação Eletromagnética (REM) com o uso de lentes e espelhos, abrangendo de 0.3 to 14 μm , o que inclui ultravioleta, luz visível e infravermelho próximo, médio e também termal; O Sol é a principal fonte de energia nesse tipo de imageamento, mas também calor emitido por outras fontes na superfície da terra, no caso de detectores termais. São imageadores majoritariamente passivos, ou seja, apenas recebem a radiação já emitida e refletida e fazem sua detecção.

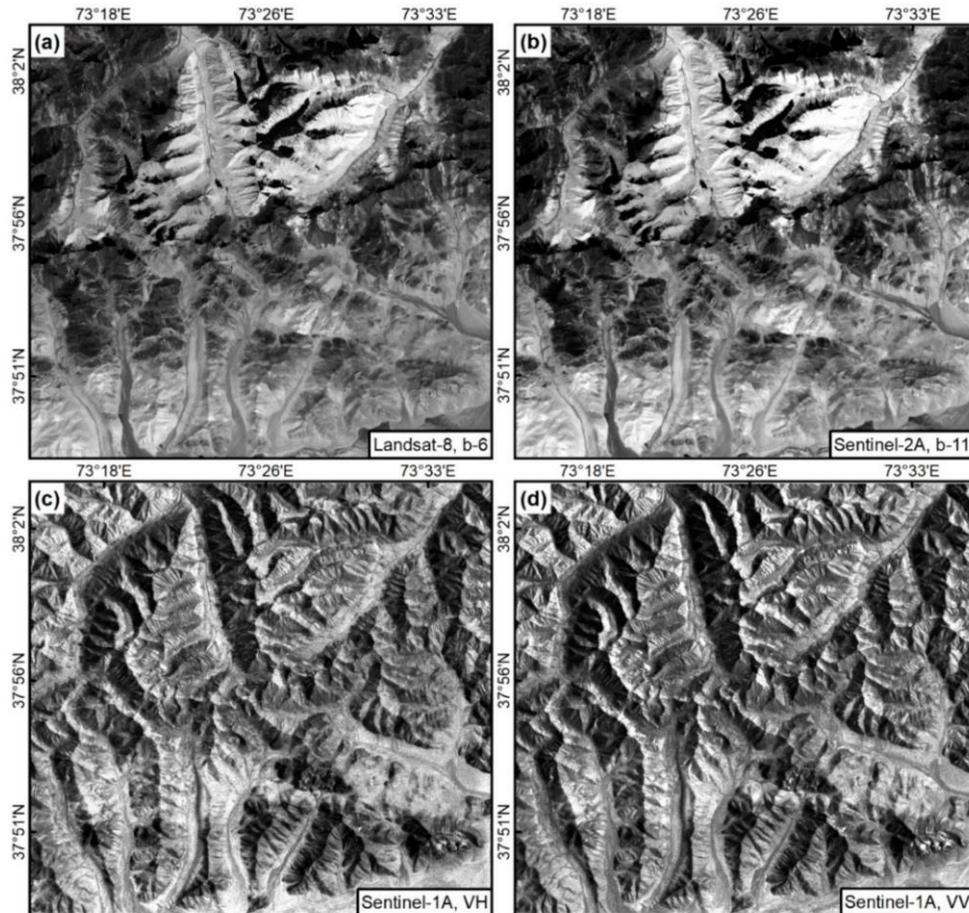
b) Sensoriamento Remoto de RADAR

Do inglês "*Radio Detection and Ranging*", que é um sistema de sensoriamento remoto majoritariamente ativo (ou seja, com sensores que emitem um tipo de energia para os alvos e recebem o retorno desta energia após interação com os alvos), a partir de microondas (de 3 a 10 cm de comprimento).

Cada um desses dois sistemas imageadores funciona a partir de dinâmicas físicas diferentes e, portanto, a natureza técnica da produção e a análise das imagens que deles deriva é diferente. Como cada um destes sistemas é um universo complexo e podem ser aprofundados de formas muito específicas, este capítulo não tem o papel de revisar e descrever todos os aspectos técnicos de cada uma destas lógicas. A preocupação aqui é elencar aspectos técnicos e metodológicos comuns às imagens

digitais de ambos os sistemas, e que sejam relevantes para a compreensão dos meios pelos quais as imagens digitais na Terra permitem (ou não) produzir informação e conhecimento.

Figura 7 - Imagens obtidas em bandas ópticas (a e b) e de RADAR (c e d) da mesma área de interesse



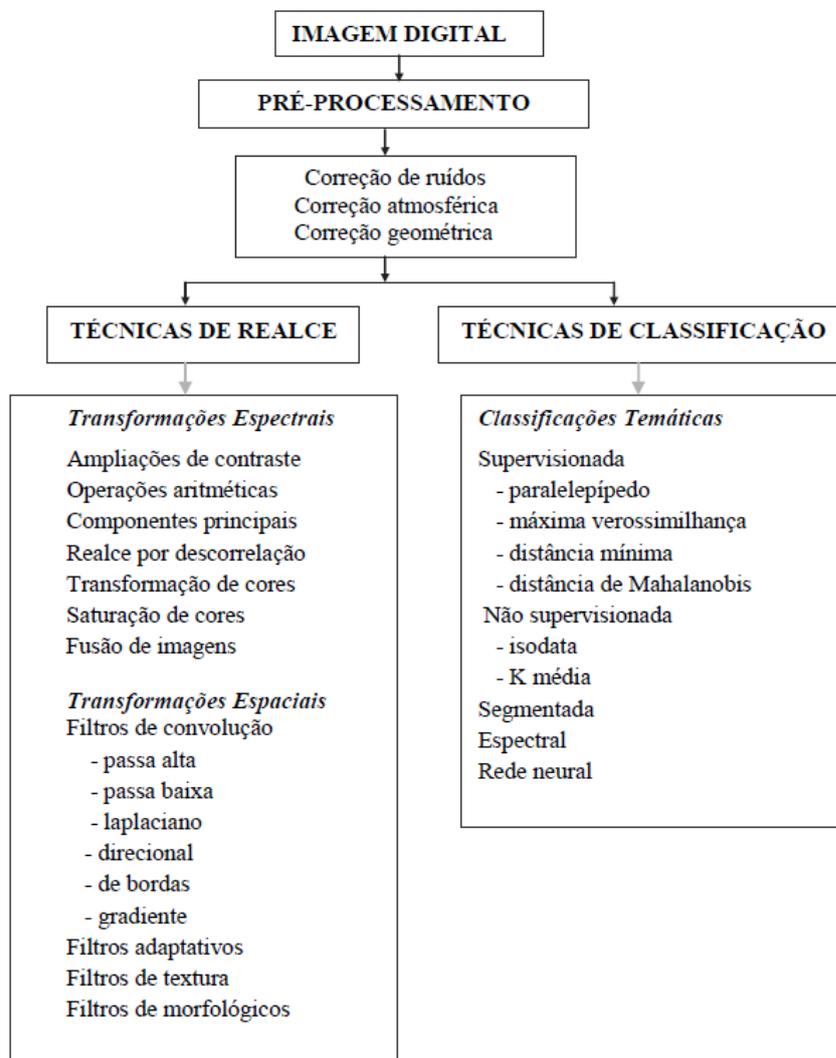
Fonte: Javhar *et al* (2019)

4.2. Produzindo informações com Imagens Digitais de Sensoriamento Remoto

A fim de produzir informação a partir dessa estrutura imagética de forma técnica/científica essa imagem precisa passar por etapas de Processamento Digital da Imagem (PDI), como mostra a Figura 8, que são operações matemáticas que visam não apenas corrigir as distorções mencionadas (pré-processamento), mas também facilitar a inspeção visual e, em última instância, permitir a detecção e identificação de grupos de *pixels* que possam ser associados a classes de interesse que representem feições/objetos no terreno (classificação). É importante reforçar que a variedade de questões a serem respondidas associada à variedade de aspectos técnicos dos

sensores e das imagens faz com que não haja um procedimento padronizado para o PDI, posto que cada necessidade analítica irá precisar de um certo conjunto de aspectos técnicos (MENESES; ALMEIDA, 2012). Portanto, é primordial que o analista busque dominar essas necessidades específicas, desde a elaboração conceitual que compõe as hipóteses até as características técnicas adequadas para que a imagem obtida possa se relacionar com os conceitos assumidos.

Figura 8 - Principais técnicas de processamento de imagens segundo um modelo geral de divisão



Fonte: Meneses e Almeida (2012)

Vale destacar que as técnicas e tecnologias em Sensoriamento Remoto estão em constante e rápida evolução, portanto a Figura 8, que aborda as principais técnicas de PDI, atualmente já não consegue oferecer um estado da arte das principais técnicas de cada etapa. Além disso, como muitos métodos e técnicas se desenvolvem

no âmbito de estudos de fenômenos de natureza específica ou sensores específicos e, somado a isso, está o rápido desenvolvimento computacional, tem se mostrado complexo encontrar revisões sistemáticas que dêem conta das técnicas disponíveis na atualidade.

O pré-processamento pretende dar conta de correções de fenômenos decorrentes da produção dessas imagens, gerando alterações tanto visualmente como nos valores das diferentes dimensões de interesse registrados em cada *pixel*. Hoje há cálculos de correção variados e até disponibilização de imagens já corrigidas em suas fontes de aquisição, mas não para todos os casos de uso, e é fundamental compreender que esses efeitos existem e que os valores expressos por imagens corrigidas por qualquer método irão possuir uma alteração matemática, que, no processo de melhorar a aproximação dos valores esperados de reflectância das superfícies, irá também deixar uma distorção residual. Também aqui Há mais de uma forma de agrupar estes efeitos⁷, mas, para os fins deste trabalho utilizaram-se três principais categorias, seguindo a organização lógica de Meneses e Almeida (2012):

- Interferências Atmosféricas

A atmosfera e a matéria que a compõem altera a energia que é refletida pelos alvos na sua trajetória até o sensor. Os efeitos possíveis dependem do sensor, de condições climáticas e também astronômicas, mas o que importa dizer é que os fenômenos e a matéria entre sensor e superfície terrestre irão interagir com a radiação, levando a um resultado que não corresponde aos alvos de superfície apenas, mas à combinação de interações de superfície e de atmosfera com a REM. Afeta principalmente imagens produzidas por sensores ópticos.

- Interferências Geométricas

A relação posicional entre ângulo de incidência/retorno da radiação na superfície e ângulo do sensor podem causar uma série de efeitos, como distorções radiométricas (brilho diferente para o mesmo alvo), speckle (espécie de ruído típico de imagens de RADAR), sombra (ausência/redução drástica de retorno de sinal para o sensor) ou mesmo deslocamento da posição de feições/alvos (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015). Para imagens de

⁷ Pode-se encontrar essas interferências ou necessidades de correção também divididas apenas entre Interferências Geométricas e Interferências Radiométricas

RADAR, que são obtidas de forma oblíqua, até mesmo a resolução espacial é variável numa mesma cena, pela dependência desse ângulo de visada.

- Interferências de Ruído

Imagens podem apresentar falhas originadas por interferências ou falhas dos equipamentos imageadores, formando até alguns padrões visuais. Há um caso especial no imageamento por RADAR em função de vários equipamentos eletrônicos, além dos imageadores, utilizarem várias frequências de ondas de rádio, o que pode causar interferência na produção da imagem caso haja proximidade das frequências/bandas utilizadas, a RFI (*Radio Frequency Interference*), principalmente nas bandas de baixa frequência como L e P (TAO *et al*, 2019). Inclusive a expansão das tecnologias que dependem dessas ondas agravam o problema, sendo necessárias revisões internacionais periódicas a respeito da alocação de frequência, bem como elaboração de estratégias de detecção e mitigação de interferências (MISRA; MATTHAEIS, 2014).

Além dessas necessidades de pré-processamento há mais uma variedade de elementos que podem precisar de atenção, como otimização de elementos pictóricos da imagem para facilitação da interpretação visual, fusão de imagens para melhorar a resolução espacial, aritmética de bandas, criação de mosaicos de várias cenas e até composição de uma única imagem usando várias datas diferentes da mesma área para reduzir presença de nuvens/sombras, e outros processos, como mostra a Figura 8, mas eles podem variar conforme o caso. Vamos nos ater aos processos centrais de qualquer imagem, que visem determinar que tipo de informação pode ou não ser legítima

Após garantir que a imagem passou pelas correções necessárias, já é possível encaminhá-la para a etapa de classificação. A classificação ocupa a posição central da interpretação e produção de informação da imagem do Sensoriamento Remoto. A classificação tem como propósito separar cognitivamente os pixels desta imagem em grupos diferentes, a partir de suas propriedades, atribuindo a cada grupo possíveis classes, com o objetivo de identificar feições no espaço geográfico, a partir da criação de correlação de padrões da imagem a estas classes finitas, onde interessam sempre dois tipos de variáveis: categorias e variáveis quantitativas (LIANG; WANG; JIANG,

2020). Nesse sentido, o primeiro ponto relevante a se destacar é que a base da compreensão e análise de qualquer imagem de Sensoriamento Remoto Digital advém dos parâmetros do sensor.

Para imagens de sensores eletro-óptico é de conhecimento geral que os atributos da imagem que definem seu potencial de obtenção de informação são principalmente as quatro resoluções de uma imagem (JENSEN, 2009), cuja combinação criará um sistema lógico representacional, que servirá para criar correlações com feições. De forma simplificada, podemos descrevê-las como:

- Resolução Espacial: define a área mínima da superfície terrestre que o *pixel* da imagem digital irá representar na imagem, e tem relação direta com a questão da visibilidade *versus* escala de observação ou representação.
- Resolução Espectral: é o conjunto dos intervalos de comprimentos de onda que podem ser cobertos pelo sensor e sua divisão em bandas ou canais. Todo material terá uma resposta espectral diferente em cada banda, portanto quanto mais bandas e maior o intervalo total coberto mais complexo tende a ser o conjunto de valores que separam os materiais.
- Resolução Radiométrica: define em quantos níveis de cinza (brilho) as respostas espectrais podem ser divididas, permitindo maior ou menor diferenciação entre os valores registrados para cada material em cada banda.
- Resolução Temporal: se refere à frequência com que é feito o registro de imagem de uma área. Dependendo dessa frequência pode-se permitir desde a criação de uma composição mais “limpa” devido à presença de nuvens, “costurando” cenas de datas diferentes, até usar as variações de resposta no tempo como um fator de análise de fenômenos, como em estudos de detecção de mudanças ou ciclos vegetais.

No caso de imagens de RADAR as resoluções temporal e espacial também importam, embora esta última tenha uma origem bem diferente das eletro-ópticas⁸,

⁸ De acordo com Meneses e Almeida (2012) “O elemento ou célula de resolução espacial de um radar de visada lateral é controlado por dois parâmetros independentes:

- i) o comprimento do pulso, que é determinado pela duração de tempo t que a antena emite os pulsos de energia;
- ii) a largura angular do feixe do pulso enviado pela antena.” havendo então duas resoluções espaciais a considera: a Resolução em Alcance (Range) e a Resolução Azimutal.

mas, além disso, há outros parâmetros específicos que formam a essência dos dados que, em síntese (JENSEN, 2009; LILLESAND; CHIPMAN; KIEFER, 2015; NOVO, PONZONI, 2001; ARSET, 2017) são:

- Polarização: transmissão e recepção de microondas pode acontecer em duas orientações em relação à superfície dos materiais, de forma vertical ou horizontal, onde a combinação entre transmissão e recepção gera 4 possibilidades utilizadas pelas seguintes siglas, onde a primeira letra designa transmissão e a segunda recepção: HH, VV, HV ou VH. A polarização provê informações sobre propriedades geométricas verticais e horizontais das feições, auxiliando na compreensão de certas propriedades físicas, definir graus de penetração e diferenciação nas feições compostas por diferentes materiais.
- Ângulo de incidência das ondas: as microondas têm grande comprimento de onda, portanto parâmetros geométricos alteram características diversas de resposta do sinal (retroespalhamento) pelas possibilidades de penetração/reflexão de as diferentes geometrias podem permitir, ainda que sejam compostas pelo mesmo material.
- Frequência e comprimentos de onda: funciona com a mesma lógica da resolução espectral para imagens eletro-ópticas, ou seja, define a variedade disponível de bandas/canais (intervalos de comprimento de onda) lidas pelo sensor .
- Constante Dielétrica: além de parâmetros do sensor, é necessário compreender esta propriedade dos materiais, que é uma medida que indica reflexividade e condutividade dos materiais e que pode variar dependendo de condições ambientais. Particularmente útil na sua interação com características geométricas para determinar a intensidade do retorno do sinal, podendo indicar propriedades físicas das feições de materiais.
- Rugosidade da superfície: como já mencionado, parâmetros geométricos importam muito para o imageamento com microondas, e a interação do sinal

com as diferentes rugosidades e geometrias podem também alterar valores de resposta do sinal ainda que feitos do mesmo material, pela forma como as ondas são refletidas/dissipadas pela geometria da superfície. Portanto também é um parâmetro da superfície que precisa ser adicionada aos parâmetros do sensor para decodificação da imagem.

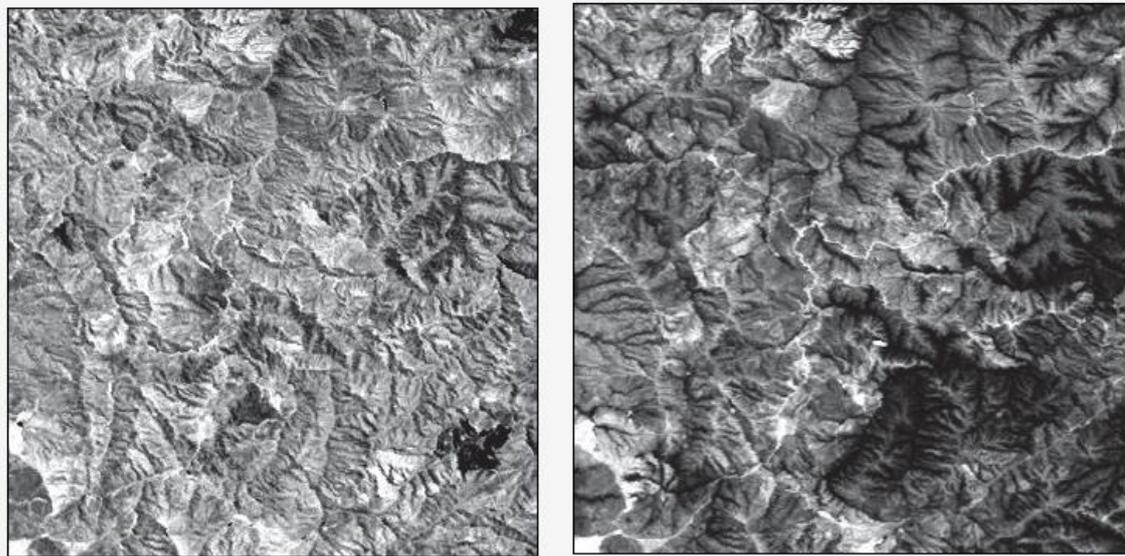
Como cada sistema sensor terá seu conjunto de parâmetros, cabe ao analista dominar seu objeto de estudo e buscar conhecimento empírico acumulado sobre sensores e adequações possíveis a temas de estudo para compreender que combinação oferece as condições necessárias à sua análise. Há ainda fenômenos variados que podem ocorrer no domínio dessas resoluções ou na sua interação que devem ser levados em consideração.

Meneses e Almeida (2012) citam o exemplo de identificação de estradas com largura inferior à resolução espacial em função do alto contraste permitido pela resolução espectral (Figura 9) onde:

Devido ao tamanho dos *pixels* ser de 30 por 30 metros, eles integram as áreas da estrada e da vegetação marginal, constituindo um *pixel* mistura que define um valor qualquer de reflectância. Tal valor não será nem o valor puro da reflectância da estrada e nem o da vegetação. Mas como na banda do visível a estrada tem uma alta reflectância, muito superior à reflectância da vegetação, o valor médio da reflectância do *pixel* mistura⁹ se aproximará mais do valor da reflectância da estrada do que da vegetação.[...] Tal efeito de contraste apresenta-se como uma *aparente melhoria* na resolução espacial da imagem (grifo nosso)

⁹ A essa mistura de respostas espectrais no *pixel* pode-se dar o nome de *mixel* (*mixed pixel*) (BHATTA, 2013).

Figura 9 - Efeito da resolução espectral na identificação de alvos (estradas de terra) em áreas de relativa densa vegetação cujas dimensões são inferiores à resolução espacial de 30 m da imagem



Banda no infravermelho próximo

Banda no visível

Fonte: Meneses e Almeida (2012)

Cabe ressaltar ainda que, de modo geral, um parâmetro “menor” (de menor complexidade/detalhamento) não tem relação direta com uma pior qualidade do dado ou inadequação da imagem. Alguma resolução ser menor pode atender melhor a certos objetivos de análise, onde alguma resolução muito alta pode dificultar os mesmos objetivos ou ser absolutamente irrelevante. Absolutamente tudo depende da capacidade do ou da analista de compreender se seu objeto de estudo pode ser descrito pela codificação/decodificação do sensor na sua relação com os materiais.

A descrição da classificação como processo/fluxo de trabalho em Sensoriamento Remoto não é um conteúdo com abordagem universal nem em artigos de revisão e nem em livros de referência que tratam sobre o tema, o processo pode ser dividido de várias formas. É possível encontrar formas variadas de compartimentar logicamente as técnicas de classificação (MENESES; ALMEIDA, 2012) ou as orientações para a tomada de decisão num fluxo de trabalho. Uma referência muito utilizada é a de Jensen (2009), que destaca principais categorias no que tange à compreensão básica de métodos adequados para a classificação:

a) Uso de estatística Paramétrica, Não-paramétrica e/ou Não Métrica:

- Métodos Paramétricos: métodos adequados para dados distribuídos de forma normal (normalidade estatística) e que depende de parâmetros.
- Métodos Não-Paramétricos: adequados a dados que não são normalmente distribuídos e sem a suposição de que obedecem a parâmetros que definem essa distribuição de valores
- Métodos Não-Métricos: adequados para dados categóricos, nominais ou ordinais, mas também podem ser usados em dados com valores reais.

b) Uso de lógica de classificação Supervisionada ou Não-Supervisionada

- Classificação Supervisionada: adequada para quando existe um conhecimento prévio da identidade e localização de feições/coberturas da superfície e, portanto, a(o) analista é responsável por apontar ao *software* amostras representativas destas coberturas que se pretende classificar (amostras de treinamento).
- Classificação Não-supervisionada: se adequa ao oposto, quando não são conhecidos previamente aspectos das feições a serem classificadas. Portanto o trabalho de reconhecimento de padrões e agrupamento por semelhança/homogeneidade é feito pelo computador, a partir de critérios especificados pela(o) analista. Este, posteriormente, analisa os agrupamentos, faz ajustes necessários e os organiza em classes.

c) Uso de Lógica de Classificação *Hard* ou *Soft*:

- Lógica *Hard*: a diferenciação entre agrupamentos/classes é feita por cortes rígidos de intervalos de valores (intervalos excludentes)¹⁰
- Lógica *Soft*: chamada comumente de lógica *Fuzzy*, os valores dos intervalos dedicados a cada agrupamento/classe não são excludentes, permitindo que uma menor parte desses intervalos tenham a

¹⁰ Também chamada de lógica booleana.

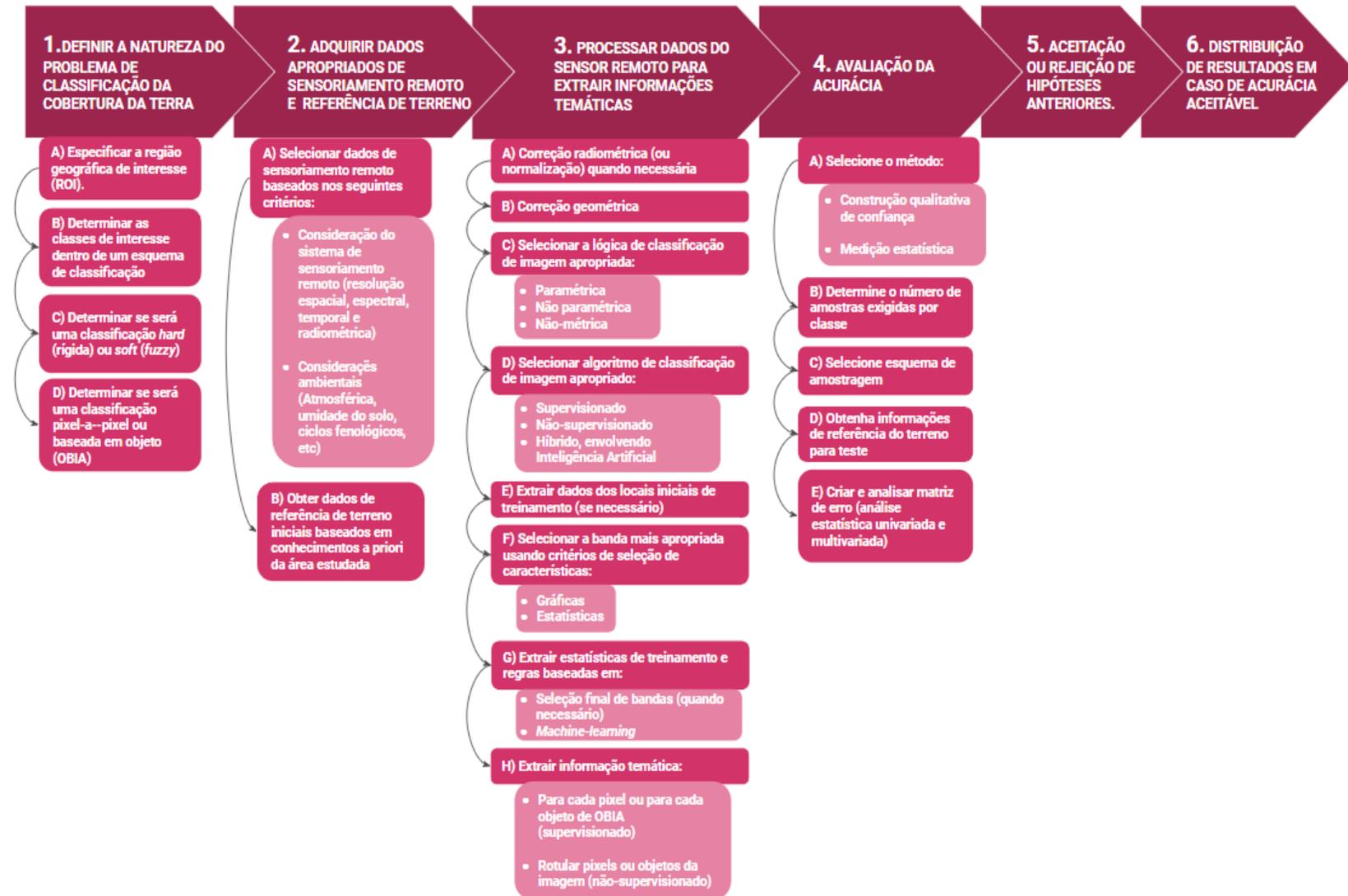
probabilidade de estar presente também em outra classe, de forma que cabe.

d) Uso de classificação *pixel-a-pixel* ou baseada em objeto

- Classificação *Pixel-a-Pixel*: classificação onde apenas as respostas espectrais de cada *pixel* individualmente é considerada para definir limites entre classes.
- Classificação Baseada em Objeto: utiliza padrões espectrais (valores de resposta espectral de cada *pixel*) e padrões espaciais (relação do *pixel* com seu entorno) para classificar a imagem. Baseia-se em dois passos: a) segmentação da matriz raster em objetos discretos e b) classificação destes objetos (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

O autor também descreve um esquema lógico geral para a extração de informação temática da imagem, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Etapas gerais usadas para extrair informações temáticas de cobertura da terra de dados de sensores remotos digitais



Fonte: adaptado de Jensen (2009)

Vale mencionar que existe uma variedade de produções em Sensoriamento Remoto que utiliza o conceito de Reconhecimento de Padrão (*Pattern Recognition*) no lugar de do termo “classificação”, como um conceito mais objetivamente focado na atividade de distinguir padrões de resposta, uma vez que “classificação” pode ser pensada como duas atividades diferentes:

- a) A definição de *classes* em que se pretende dividir um grupo de objetos e;
- b) A alocação de objetos em classes pré-existentes (TSO; MATHER, 2009).

Assim, os autores exemplificam explicando que a *Classificação Supervisionada* é, na verdade, uma *Identificação Supervisionada*, posto que a classificação, no sentido da definição das classes, já foi decidida antes da análise da imagem.

Utilizando essa abordagem, uma forma de separar a análise das imagens que pode ser interessante para facilitar o delineamento metodológico adequado para cada estudo é pensar no na obtenção de informação da imagem a partir de três cenários de complexidade diferentes com relação às dimensões envolvidas:

- a) Reconhecimento de Padrões Espectrais: quando se observa apenas a resposta espectral de cada *pixel* para a detecção e identificação de temas de interesse, ou seja, classificação *pixel-a-pixel*.
- b) Reconhecimento de Padrões Espaciais: quando, além das respostas espectrais, interessa também observar a relação de cada *pixel* com seu entorno, buscando padrões nessa relação espacial que auxiliem na detecção e identificação de temas de interesse.
- c) Reconhecimento de Padrões Temporais: quando, além das respostas espectrais, com ou sem reconhecimento de padrões espaciais, interessa também observar a variação de respostas ao longo do tempo, buscando nessa variação padrões que auxiliem na detecção e identificação de fenômenos ou de mudanças sofridas para uma feição de interesse.

Lillesand, Kiefer e Chipman (2015) diferenciam os dois primeiros, porém Jensen (2009) dá destaque separado à análise multitemporal, o que permite construir essa abordagem conceitual, como demonstra, por exemplo o estudo de Mou,

Bruzzone e Zhu (2019, p. 925), cujo objetivo é propor um algoritmo que é treinado “para aprender uma representação conjunta de *características espectrais-espaciais-temporais* em uma estrutura unificada para detecção de mudanças em imagens multiespectrais”, dividindo arquitetura de classificação em duas partes, uma de reconhecimento de padrões espectral-espacial e a outra que processa a dimensão temporal.

É relevante mencionar que imagens de RADAR, hiperespectrais e análises multitemporais podem apresentar alguma especificidade ou possibilidade a mais a ser considerada na arquitetura de classificação e podem ser apresentadas como casos especiais para melhor compreensão (JENSEN, 2015). De qualquer modo, a pesquisa na literatura demonstra que cada vertical estudada no campo do sensoriamento Remoto se torna um nicho de desenvolvimento metodológico pelas particularidades do relacionamento entre imagem e arcabouço teórico sobre certos fenômenos, como Sensoriamento Remoto da Vegetação.

Como parte final da classificação, é essencial a avaliação dos erros envolvidos no processo. A presença do erro é algo inerente à produção de geoinformação a partir de qualquer suporte de representação e, no caso das imagens digitais do Sensoriamento Remoto, a avaliação de acurácia é o procedimento que visa quantificar e ter controle dos erros envolvidos na classificação, e ocorre ao final deste processo. A forma mais básica de avaliação de acurácia temática é a Matriz de Erro ou Matriz de Confusão, como mostra a Figura 11, uma tabela que compara duas fontes de informação:

a) *pixels* ou polígonos derivados da classificação; e

b) amostras de referências de terreno coletadas nos mesmos pontos com as mesmas coordenadas, onde as células da diagonal demonstram a quantidade de convergência da mesma classe entre as amostras de referência e pontos classificados (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2015).

A partir da matriz de erro podem-se obter uma variedade de informações e outras medidas, sendo possível determinar acurácia geral, de cada classe, separar

erros de comissão e de omissão¹¹, etc. É importante mencionar que, ao localizar os exatos pontos a serem comparados, normalmente se analisam os oito *pixels* que circundam este *pixel* para que se possa entender se é necessário rotulá-lo baseado na dominância desses *pixels* ao redor.

Figura 11 - Matriz de erro hipotética da classificação booleana de uma cena. Cada célula em azul é o número de pontos de controle e sua posição em linha corresponde a como a classificação os rotulou. Os números em vermelho são classificações equivocadas dos pontos de controle. Lê-se, por exemplo: “dos 60 pontos da classe ‘prédio’ 49 foram classificados corretamente, 5 como estrada e 6 como outros”. A soma de todos os pontos é 192, enquanto a soma das classificações corretas (diagonal) foi 162, permitindo o cálculo da Acurácia Geral. Outras medidas derivadas são demonstradas em seguida. Para compreender melhor o cálculo do índice Kappa consultar Jensen (2015).

		Pontos de Controle de cada classe			Total por Linha
		Prédios	Estradas	Outros	
Classes atribuídas na classificação	Prédios	49	4	5	58
	Estradas	5	54	4	63
	Outros	6	6	59	71
Total por Coluna		60	64	68	192
Acurácia Geral: $162/192 = 84.4\%$					
Acurácia de Produtor: mede o erro de omissão (exclusão) por classe Prédios = $49/60 = 82\%$ Estradas = $54/64 = 84\%$ Outros = $59/68 = 87\%$					
Acurácia de Usuário: mede o erro de comissão (inclusão) por classe Prédios = $49/58 = 82\%$ Estradas = $54/63 = 84\%$ Outros = $59/71 = 87\%$					
Coeficiente Kappa de Concordância (κ) $[192(162) - 12340] / (36864 - 12340) = 76.5\%$					

Fonte: Adaptado de Jensen (2015)

¹¹ Erro de omissão é quando dados de referência ficam excluídos da classe à qual deveria pertencer e erro de Comissão se refere ao oposto, quando se inclui numa classe pontos que não deveriam ter sido incluídos (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Jensen (2009) aponta que o ideal para avaliação de acurácia seja localizar pontos de referência no terreno da área de estudo e preferencialmente que essas amostras sejam coletadas o mais próximo da aquisição da imagem possível (para análises de tempo presente), No entanto nem sempre isso é viável e uma alternativa é utilizar como apoio uma outra imagem, esta de mais alta resolução espacial e/ou espectral e de data próxima às cenas classificadas. Além disso, há esquemas lógicos para configurar formas estatisticamente mais adequadas de selecionar amostras para a avaliação de acurácia. Cabe ressaltar que muitos trabalhos usam apenas os *pixels* de treinamento da própria classificação de imagem para determinar a acurácia e esse método tende a produzir acurácias mais altas que amostras randômicas de terreno (JENSEN, 2009). Lillesand, Kiefer e Chipman (2015, p. 578, tradução nossa) apontam que calcular a matriz de erro

[...] com base nos mesmos dados usados para treinar o classificador (em um processo de classificação supervisionado) ou com base nos mesmos dados usados como orientação para o analista ao atribuir clusters espectrais a classes de informação em uma classificação não supervisionada [...] pode ajudar no processo de refinamento do conjunto de treinamento, mas indica pouco sobre o desempenho do classificador em outros lugares.

A aceitação do resultado depende de como se avalia a Matriz de Erro. A acurácia geral pode ter sido considerada baixa, mas as classes de interesse podem ter uma acurácia maior. Existe um consenso sobre o percentual de acurácia de 85% como uma referência de corte para o uso das classes ou de toda a classificação como de forma geral, e, sobre isso, Jensen (2015, p. 563, tradução nossa) resume algumas contribuições:

A pesquisa inicial de sensoriamento remoto enfatizou a obtenção de produtos de mapas temáticos derivados de sensoriamento remoto que eram aproximadamente 85% (ANDERSON *et al*, 1976). Foody (2008) aponta que a precisão do alvo amplamente utilizada de 85% pode ser pessimista e muito restritiva quando comparada a outros campos de atuação. Pontius e Millones (2011) sugerem que não é necessário se preocupar com um padrão universal de precisão porque não está relacionado a nenhuma questão de pesquisa ou área de estudo específica.

Sobre o potencial da matriz de erro Comber *et al* (2012) apontam que, embora ela seja amplamente utilizada, sua forma de uso está muito relacionada ao método booleano de classificação, enquanto o método *Fuzzy* tem demonstrado resultados que

descrevem mais fielmente os padrões do terreno. Além disso, ela não oferece a possibilidade de avaliar a acurácia distribuída espacialmente, o que configura uma certa limitação para um produto cujo foco é a análise espacial. Os autores alegam que vários esforços têm sido feitos na direção de explorar e validar métodos que permitem avaliar a distribuição espacial de erros, mas cujos avanços são comumente ignorados, e propõem a Regressão Geograficamente Ponderada (*Geographically Weighted Regression - GWR*), podendo ser aplicada tanto na lógica booleana quanto na *fuzzy*.

Pensando num contexto mais amplo de uso, Lunetta *et al* (1991) identificaram possíveis fontes de erro deste a aquisição dessas imagens até sua integração com Sistemas de Informação Geográfica para geração de produtos de informação geográfica, o que é o destino mais comum das imagens derivadas do Sensoriamento Remoto. Como mostra a Figura 12, o erro pode e vai acontecer em várias etapas, além de se acumular. No entanto, os autores observam que o erro, embora possa ser medido em cada etapa, geralmente é avaliado apenas no fim de um processo maior, como no caso da acurácia da classificação.

Figura 12 - Fontes de erro para produtos derivados de sensoriamento remoto



Fonte: Adaptado de Lunetta *et al* (1991) e Jensen (2015)

O tema do erro se conecta também com a questão da capacidade dos próprios modelos refletirem a realidade mais ou menos precisamente e, de acordo com Bhatta (2013), um paradigma útil para a análise em Sensoriamento Remoto é pensar em ordens de modelos, que definem o quão mais ou menos diretamente ligadas estão as medidas de radiação e os objetos conceituais de interesse, discutido por Quenzel (1983 *apud* BHATTA, 2013), onde quanto mais complexo o modelo mais distante se torna a conexão entre as duas entidades.

Para além da compreensão dos componentes básicos de uma imagem de Sensoriamento Remoto Digital e dos mecanismos necessários para dela produzir informação geográfica, é importante destacar também paradigmas e temas que atravessam este processo de classificação, influenciando, portanto, na compreensão de limites e potencialidades das imagens como fontes produtoras de informação.

a) MAUP e a questão da Escala:

É sabido que a Escala enquanto problema e seus diversos usos é uma das questões caras à Geografia e que na Cartografia seu debate se manifesta principalmente no sentido de razão numérica entre medidas do terreno e do desenho. De modo geral, podemos dizer que esse termo se relaciona com a visibilidade, relevância e hierarquia de fenômenos (no terreno, em representações, na tomada de decisão, etc). No Sensoriamento Remoto Digital o principal ponto de partida vem do paradigma da imagem como campo de valores, vinculada à classificação *pixel-a-pixel*, fazendo surgir o Problema da Unidade de Área Modificável (MAUP - *Modifiable Areal Unit Problem*) de Openshaw (1984 *apud* WU; LI, 2009), que diz que o resultado de uma análise espacial pode variar dependendo das unidades geográficas utilizadas, portanto, a própria identidade das classes de interesse são dependentes da estrutura do suporte imagético, e essa dependência deve ser levada em consideração, sob o risco de não ser possível obter informação legítima sobre determinadas classes. Marceau, Howarth e Gratton (1994), por exemplo, demonstraram que classes diferentes podem ter escalas ideais diferentes para serem apropriadamente identificadas e medidas. Dessa forma o desenvolvimento de diversas questões e métodos para lidar com questões de escala continuam sendo relevantes independente dos avanços metodológicos (ZHANG; ATKINSON; GOODCHILD, 2014), pois a escala é uma dimensão primordial para atribuição de sentido qualitativo ou quantitativo de imagens de visão vertical.

b) Paradigma do GEOBIA

Demandas por produção de conhecimento sobre fenômenos com impacto global e suas conexões e o rápido desenvolvimento de tecnologias de imageamento e processamento de imagem permitiram o surgimento de imagens com resoluções cada vez maiores, com impacto especial na resolução espacial. É nesse contexto que surge a GEOBIA (*Geographic Object Based Analysis* - Análise Baseada em Objeto Geográfico), cujo objetivo é fornecer métodos automatizados para a análise das imagens de altíssima resolução espacial¹². Há aqui uma mudança de paradigma, pois

¹² Altíssima Resolução Espacial ou *Very High Spatial Resolution*, cuja sigla (VHSR) é comumente usada para se referir a esse tipo de imagem na literatura internacional. Por altíssima resolução espacial Castilla e Hay (2008) sugerem menos que 5 m, permitindo essa inversão da lógica de correlação entre *pixels* e objetos de interesse.

nessas altíssimas resoluções espaciais o *pixel* passa a ser menor do que a maioria do que se pode considerar objetos numa cena, portanto utilizando um outro modelo conceitual de dados da imagem como conjunto de objetos. Neste modelo é necessário primeiro uma fase de segmentação, dependente de uma escala, para criação de polígonos que representem estas entidades a serem separadas e, depois, é feita a classificação, a partir de regras pré-definidas, utilizando não apenas a informação espectral contida na imagem, mas também características texturais, espaciais e topológicas, a partir das quais se podem correlacionar a classes complexas e hierarquizáveis (LANG, 2008). O aspecto que mais caracteriza a GEOBIA é sua conexão essencial com a cognição e expertise humana (CHEN *et al*, 2018), pois as etapas do GEOBIA pretendem simular a cognição visual humana no reconhecimento de padrões, seja para superar limitações da classificação *pixel-a-pixel*, seja pelas consequências da altíssima resolução espacial. Por isso um desenvolvimento metodológico que surge como tendência relevante para o futuro desta metodologia é a criação de Ontologias, que são “uma especificação explícita e formal de uma conceituação compartilhada (GRUBER, 1993 *apud* RAJBHANDARI *et al*, 2018, p. 154, tradução nossa), utilizando linguagem reconhecível por máquina.

c) Paradigma da Inteligência Artificial

A profusão de dados de Observação da Terra e sua crescente complexidade estimularam conexões com métodos de Inteligência Artificial, como em áreas da Visão computacional e a produção de ontologias, já citada anteriormente. Mas é o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) que tem causado o maior impacto no Sensoriamento Remoto, usado ao longo de toda a cadeia de processamento de imagens, de compressão até previsão (TUIA *et al*, 2023). O Aprendizado de Máquina pode ser usado tanto para classificações supervisionadas quanto não supervisionadas, mas seu diferencial tem sido notado principalmente quando existe pouco conhecimento teórico prévio, mas um grande volume de dados, podendo envolver muitas variáveis (LARY, 2016). Sua vantagem normalmente está em lidar melhor com observações mais heterogêneas e não lineares, que não são muito bem processadas pela estatística tradicional, de forma que tem sido recomendada para análises que envolvam a dimensão temporal (LI *et al*, 2015). Dessa forma a classificação *pixel-a-pixel* e suas limitações foram demonstradas tanto nos debates a respeito de escala quanto no desenvolvimento do GEOBIA, e passa a ter um

status renovado, permitindo análises inovadoras dentro do modelo conceitual de dados do tipo campo contínuo.

Podemos concluir, portanto, que é a partir da combinação complexa das estruturas e particularidades técnico-metodológicas das imagens abordadas acima que elas podem cumprir seu propósito enquanto ferramenta, que seria, de acordo com Castiglione (2018), servir de prótese intelectual para mediar a produção de geoinformação, ou seja, informação de caráter geoespacial. Vale ressaltar que esta, como toda informação, de acordo com a elaboração de Wersig (1996 apud CASTIGLIONE, 2018), estaria subordinada ao conhecimento enquanto seu instrumento, que serve para compartilhar, instruir e orientar em direção a este. Considera-se também que a informação pode se caracterizar por uma formatação específica para atender a estas funções, o que é especialmente valioso para o conhecimento de caráter geográfico, visto a importância histórica da síntese imagética em sua relação com a informação geoespacial. Ressalta-se a particularidade de que essa síntese imagética já não tem como objetivo principal apenas a apreciação visual humana, mas principalmente a análise por meio de aparatos de poder computacional e estatísticos otimizados para uma produção mais acurada e mais complexa de geoinformação, que sirva aos propósitos de transmitir e produzir conhecimento sobre o espaço. Partindo dessa compreensão, faz-se necessário discutir o processo social e material a partir do qual estas imagens do sensoriamento remoto se conectam a essa relação geoinformação-conhecimento.

5 AS IMAGENS DO SENSORIAMENTO REMOTO DIGITAL E A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO: DISCUSSÃO

5.1 Tecnologia como essência e o salto do Séc. XXI

O Sensoriamento Remoto, desde as fotografias aéreas, é um campo cuja origem está intimamente conectada a demandas militares, posto que tanto o desenvolvimento de plataformas de voo para fotografia e o desenvolvimento de técnicas de interpretação de fotos aéreas estão intimamente conectados à objetivos de guerra. O desenvolvimento do Sensoriamento Remoto Digital não foi diferente, outros tipos de sensores, como radar e termal, também devem seu desenvolvimento a essa origem, durante a Segunda Guerra Mundial (MOORE, 1979). Muito da expansão das tecnologias de satélites para imageamento da Terra tem relação com a corrida espacial da Guerra fria, e o primeiro ramo científico onde o sensoriamento remoto passou a ser usado com sucesso foi na Meteorologia. Por volta do final da década de 70 as tecnologias digitais passaram a substituir as baseadas em fotografia, tornando-as obsoletas, não significando, no entanto, que havia *software* ou *hardware* disponível para operações digitais ou até mesmo visualização do dado digital (CRACKNELL, 2019). A expansão do Sensoriamento Remoto comercial, já de caráter digital, passa a acontecer durante a década de 90, a partir do surgimento do satélite francês SPOT-1, podendo ser considerada atualmente uma indústria multimilionária (PARKS, 2005).

Fica claro, portanto, que o desenvolvimento do Sensoriamento Remoto está intrinsecamente ligado a uma demanda de conhecimento aplicado, que tem sua origens na tecnologia, também discutida sob o termo “engenharia” (AUYANG, 2005; BUCCIARELLI, 2003), ou seja, vinculada à compreensão de problemas práticos, sua resolução através de produtos funcionais e projeção de futuro.

Explicitar o tipo de arcabouço epistemológico e material (Tecnologia/Engenharia ou Ciência) que dá origem e alimenta de forma majoritária o Sensoriamento Remoto Digital parece relevante pois

[...] estes não são tempos normais. Os avanços na tecnologia, particularmente nas tecnologias de informática, comunicação e processamento de informações, varreram e abalaram o mundo da política, do

comércio, dos negócios, da engenharia e até mesmo do ensino de engenharia.

[...]

As mudanças em curso vão além de aprender a colocar estas novas “ferramentas” em uso no trabalho, pois há uma mudança generalizada na natureza e na organização da prática da engenharia e da vida profissional. As ferramentas e métodos de computação tornaram-se cada vez mais sofisticados e poderosos, de modo que a ênfase no trabalho muda do cálculo e da análise para a criação de modelos e para a criação do mundo. [...] A ecologia industrial significa que as fronteiras em torno do produto já não podem ser tão impermeáveis aos interesses dos “estranhos”. O *design* de “software aberto” reconhece explicitamente a legitimidade de outros, a jusante, para contribuir para o *design*, questionando a ideia de um “produto acabado”, bem como desafiando as normas tradicionais que regem a “propriedade”. Questões éticas e de segurança permeiam o processo de *design*, infiltrando-se na estrutura fundamental da análise científica e instrumental (BUCCIARELLI, 2003, p. 3-4, tradução nossa).

Tanto Auyang quanto Bucciarelli, bem como outros intelectuais da Tecnologia/Engenharia, deixam claro que são abordagens do conhecimento autônomas, com mecanismos próprios de produção de conhecimento, seus problemas e potencialidades também diferentes, mas interdependentes, e sem relação hierárquica de importância (AUYANG, 2005). Portanto parece relevante reconhecer que a ascensão e consolidação do Sensoriamento Remoto Digital na sociedade e, conseqüentemente, a importância que suas imagens tem hoje para centenas ou milhares de temas e usos, se definem ontologicamente muito mais no recorte histórico-material-epistemológico da Tecnologia/Engenharia (onde uma das características, inclusive, é ter um vínculo muito mais imediato com investimentos, em grande parte industriais, comerciais e políticos), responsáveis por oferecer produtos funcionais que cada vez mais rápido moldam a sociedade e a interação dos indivíduos com o mundo de forma coletiva e até íntima.

O início do Século XXI, já profundamente movimentado por esse novo momento no campo da Tecnologia descrito por Bucciarelli (2003), testemunhou avanços tecnológicos em relação à velocidade de conexão com a *internet*, gráficos 3D, bancos de dados e expansão da computação em nuvem, o que causou grande impacto nos campos relacionados à produção de informações geográficas, permitindo lidar com grande volume de dados digitais de forma simples e rápida, bem como customizar análises e a exposição de resultados de formas inovadoras. Este desenvolvimento de tecnologias digitais foi crescendo de forma a ser inviável quantificar, mas obedecendo ao que o que se conheceu como Lei de Moore (JENSEN, 2015; CRACKNELL, 2019; KILDAY 2018), que previa que a quantidade de

transistores por microchips dobraria entre 18 e 24 meses, aumentando a capacidade de processamento digital, como de fato vem sendo demonstrada na prática (Figura 13).

Com isso o Sensoriamento Remoto, cuja identidade hoje já é considerada implicitamente digital, se vê com o desafio de lidar com um aumento da complexidade e volume dos dados, em função de sucessivos lançamentos de sensores orbitais de diversas resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas, o que passa a estimular progressos no apoio à obtenção, armazenamento, processamento, compartilhamento e visualização de dados sobre o planeta. Tal processo de transformações no Sensoriamento Remoto tem sido reconhecido como grande impulso para revolucionar o papel da informação geográfica para a ciência, economia e sociedade de forma geral (CRAGLIA *et al*, 2008), fazendo surgir demandas por novas abordagens e métodos de análise nesse campo, e que retroalimentam o desenvolvimento tecnológico.

Na esteira dessa nova realidade, acompanhada do crescente interesse pela compreensão das transformações terrestres, surgiram debates a respeito da efetivação de uma “Terra Digital”, termo popularizado por um discurso de Al Gore, em 1998, e parcialmente realizado em 2005 pelo lançamento da plataforma Google Earth, que passava a oferecer imagens orbitais de alta resolução, acessíveis a qualquer pessoa com um computador pessoal e *internet* banda larga (GOODCHILD *et al*, 2012). A plataforma se apresentou para além da visualização de imagens (que já é considerada como um grande acontecimento, pela estrutura exigida para processar *petabytes* de dados instantaneamente, contando com mudanças de zoom e representações tridimensionais), disponibilizando também ferramentas de personalização e criação que permitiam a manipulação de arquivos vetoriais e outros recursos simples por qualquer pessoa.

O efeito na comunidade científica foi imediato e palpável. Aqui estava uma tecnologia prontamente acessível que poderia ser usada para apresentar dados e resultados científicos [...] de forma visual e de fácil digestão para colaboradores e um público em geral que a considerava gratuita, rápida, e divertida (GOODCHILD *et al*, 2012, p. 11088, tradução nossa).

Tal efeito se torna ainda mais crítico com o desenvolvimento da plataforma Google Earth Engine, que utiliza o processamento em nuvem para combinar seu grande catálogo de imagens orbitais (incluindo *datasets* especiais, para fins analíticos) com a disponibilidade de ferramentas de análise prontas e também customizáveis, permitindo estudos e observações singulares na história das transformações do espaço, de forma rápida, interativa e acessível (GORELICK *et al*, 2017), dispendo do

processamento em nuvem. Apesar de apresentar limitações como falta de modelos e métodos dedicados a domínios, limites computacionais, inflexibilidade dos modelos existentes, ausência de dados de interesse, importação e exportação de dados e outros, a plataforma tem sido considerada como uma referência para desafios centrais na obtenção informação de RSBD, como desenvolvimento e uso de métodos utilizando inteligência artificial e de computação em nuvem (YANG *et al*, 2022).

Somado a esse processo, a rápida expansão do aporte de dados geográficos a partir de sensores variados contribuiu para conectar rapidamente o campo da informação geográfica digital ao paradigma que tem se chamado de *big data* (GOODCHILD *et al*, 2012). Esse termo está vinculado ao ritmo acelerado de produção e registro de dados de todos os tipos pela sociedade, bem como à sua diversidade, e volume. Principalmente com a chegada de redes sociais e *smartphones* e políticas que permite disseminação, coleta, venda e uso destes dados, as atividades diárias de cada pessoa estão sendo registradas em milhares de aplicativos diariamente, a ponto de serem utilizadas com eficiência desde atividades comerciais até de segurança (DRAGLAND, 2013). No entanto, apesar de hoje existir a capacidade de *hardwares* e de *softwares* de mensurar, registrar e processar dados digitais dos mais diversos tipos, há mais dados circulando diariamente do que as iniciativas atuais conseguem aproveitar de fato. Um relatório do *International Data Corporation* (IDC) de 2014 apontava que:

De 2013 a 2020, o universo digital crescerá por um fator de 10 – de 4,4 bilhões de gigabytes para 44 bilhões. Mais que dobra a cada dois anos.

[...]

Em 2013, apenas 22% da informação no universo digital seria candidata à análise, ou seja, útil se fosse etiquetada (na maioria das vezes, sabemos pouco sobre os dados, a menos que sejam de alguma forma caracterizados ou etiquetados – uma prática que resulta em metadados); menos de 5% disso foi realmente analisado. Até 2020, a percentagem útil poderá crescer para mais de 35%, principalmente devido ao crescimento de dados de sistemas embarcados (IDC, 2014, p. 2, tradução nossa).

Isso tem relação principalmente com a existência e crescimento de dados não estruturados, ou seja dados que não possuem nenhuma estrutura particular de organização que os permita ser classificados ou ter atributos bem definidos e buscáveis por requisições em bancos de dados, e que tem ocupado a maior parte do universo digital, crescendo a taxas cada vez maiores (EBERENDU, 2016), e que para a obtenção de informação geoespacial, assim como em outros segmentos, trazem

oportunidades de enriquecimento da informação, porém impõem o desafio de desenvolver métodos capazes de organizar e explorar conteúdos destes dados.

Revisando características e desafios de pesquisa utilizando *Big Data*, Li *et al* (2016, p. 1, tradução nossa) acrescentam que

O *big data* foi sugerido como uma fonte predominante de inovação, concorrência e produtividade (MANYIKA *et al*, 2011) e causaram uma mudança de paradigma na investigação orientada por dados (KITCHIN, 2014). [...] Por outro lado, os benefícios do *big data* para a sociedade são geralmente limitados por questões como privacidade, confidencialidade e segurança dos dados.

Laney (2001 *apud* LI *et al*, 2016) propôs 3 dimensões características da identidade de dados típicos do momento do *Big Data*: Volume, Velocidade e Variedade (3Vs), mas outras dimensões já foram adicionadas por outros pesquisadores e instituições de tecnologia ao longo do tempo (LEE, 2017). Li *et al* (2016) argumenta que para o universo do *big data* geoespacial, podem ser consideradas as seguintes dimensões, principalmente:

- a) Volume: descreve a quantidade de dados e seu peso para sua manipulação;
- b) Variedade: descreve tipos de dados envolvidos, como imagens, textos, mapas, ou seja, variáveis na sua estrutura;
- c) Velocidade: descreve a rapidez com que os dados são gerados, por diversas fontes;
- d) Veracidade: a variação no nível de confiabilidade do dado em função das alta variedade, velocidade e volume de produção;
- e) Visualização: descreve a possibilidades de uso para avaliação visual como ferramenta de obtenção de informação;
- f) Visibilidade: descreve a possibilidade dos dados serem disponibilizados facilmente para acesso e processamento.

Atualmente já é utilizado o termo *Remote Sensing Big Data* (RSBD) (MA *et al*, 2015; XU *et al* 2022) para fazer referência ao status do volume e complexidade de dados acumulados em décadas de sensoriamento Remoto, desde a multiplicação de plataformas e sensores que já lançados, o aumento de resoluções, em especial espaciais, espectrais e temporal, além da multiplicação de produtos raster diretamente gerados por imagens orbitais e mantidos em bases de dados online para pesquisas. E como já ficou claro, o termo *big data* traz consigo aqui também desafios

principalmente ligados à Tecnologia da Informação e à Ciência da Computação, pois a capacidade de gerar estes dados está muito à frente das possibilidades existentes de utilizá-los ou compreender seu potencial.

Yang *et al* (2017) identificaram onze desafios principais para a implementação do RSBD, incluindo armazenamento, transmissão, análise, arquitetura e qualidade de dados. Além disso, Chi *et al* (2016) encontraram três desafios comuns, incluindo a identificação adequada de dados e a computação e colaboração de *big data*. Estes desafios foram induzidos principalmente pelo aumento dramático no volume de dados, que excede em muito a capacidade das tecnologias de computação convencionais (XU *et al*, 2022, p. 1418, tradução nossa).

5.2 Destaques epistemológicos e tendências

Fica claro até aqui que as imagens do Sensoriamento Remoto Digital estão intimamente relacionadas:

- a) À tradição geográfica de produção de conhecimento por imagens de recortes espaciais, em especial de uma posição do alto (vertical ou oblíqua);
- b) Ao contexto tecnológico (aplicado) de produção e conhecimento;
- c) Aos Avanços da Ciência da Computação e Tecnologia da Informação e seu impacto na expansão do universo digital;
- d) Ao papel central da Estatística Inferencial avançada.

A partir disso, é possível elencar algumas consequências e fenômenos que se relacionam à produção de conhecimento e ao julgamento da legitimidade desse conhecimento.

5.2.1 Imagem do Sensoriamento Remoto Digital como ferramenta de análise técnica

É inegável a revolução que imagens digitais de observação da Terra trouxeram para a capacidade de obtenção científica de informações sobre os mais variados tipos de fenômenos pelas suas características técnicas inovadoras. Em primeiro lugar, como aponta Goodchild (2011 *apud* ZHANG; ATKINSON; GOODCHILD, 2014, p. 33, tradução nossa), “o uso de dados raster para pesquisas científicas rigorosas é fortemente recomendado devido à sua explicitação da resolução nas representações

e às vantagens bem documentadas no geoprocessamento”, ou seja permite uma estrutura vantajosa do ponto de vista técnico. Em segundo lugar, porque viabiliza a obtenção dados só podem ser conhecidos através de sensores construídos, seja por lidarem com objetos de estudo geograficamente inacessíveis, seja por limitações da condição fisiológica e cognitiva humana.

Analisando numa escala mais abrangente e associado a esses argumentos práticos, crescente confiança nas imagens do Sensoriamento Remoto Digital se origina, por um lado, na sua identidade como ponto de vista de intenções objetivas e no seu pertencimento ao universo de produção da Engenharia/Tecnologia, que evoca o melhoramento e a superação das condições humanas, de modo que é possível afirmar que sua cadeia de produção e processamento, sempre absorvendo avanços de forma rápida e constante, já fornecem a estas imagens uma condição de inerente legitimidade enquanto ferramenta de produção de conhecimento. Brannon (2013, p. 287, tradução nossa) acrescenta que

Uma transferência da visão corporal para a visão mecânica, a observação de espaços além da acessibilidade humana apresenta uma forma de objetividade que emerge através da confluência da automação mecânica e da visão contínua e não discricionária. A tecnologia de imagens de satélite foi desenvolvida a partir do desejo de ter “fatos concretos” [...] A fusão de tecnologia e objetividade tem implicações em como as imagens são vistas como representações precisas do espaço, depois usadas como evidência e consideradas objetivas, evidentes e não-social.

Independente do veículo, o distanciamento “objetivo-analítico” combinado à tecnologia digital de ponta dos aparatos de aquisição de dados físicos mensuráveis criaram condições para uma alta confiabilidade no sistema de produção destas imagens *per se*, independente dos objetos de estudo e de interesse sobre os quais façamos alguma pergunta, ou das condições e pressupostos a partir dos quais tais imagens possam eventualmente responder estas perguntas. O fato é que, como todo produto social que compartilhe dessa combinação, existe a confiança de que estas imagens tem o potencial de responder *qualquer* pergunta, nesse caso sobre fenômenos espacializados/espacializáveis. Kullmann (2017, p. 12, tradução nossa) afirma ainda que

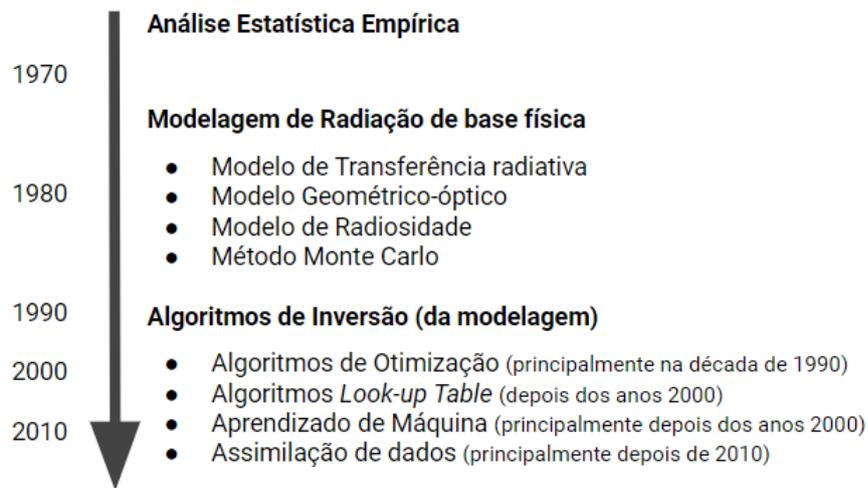
[...] a supervisão fornecida pelo sensoriamento remoto (por satélite e aéreo) tornou-se estabelecida como a posição mais objetiva. Na verdade, a confiança investida na precisão da detecção remota é agora tão completa que a prática cartográfica tradicional de mapas de impermeabilização do solo através da observação do local foi largamente abandonada.

Essas condições, aliadas à produção concreta de informação diversificada, principalmente para diversos estudos antes difíceis ou inviáveis, permitiram algo novo no universo do conceito abrangente de imagem: as imagens digitais de Sensoriamento remoto são utilizadas como fonte primária de dados sobre a Terra. Mesmo com um aumento complexidade de dados, metodologias e demandas e possíveis restrições de acesso a recursos, pode-se inferir que esta confiança permite inclusive que muitos estudos se limitem a utilizar imagens baseados na sua disponibilidade e buscar trabalhos recentes que conservem alguma similaridade metodológica e temática, sem que haja maiores preocupações sobre checar se cada etapa da cadeia metodológica ou de temas críticos descritos no capítulo anterior (como a escala) está seguindo algum consenso ou “bem fazer” testado e documentado cientificamente, levando em consideração todas as variáveis do objeto de estudo.

Indo mais além, Gil-Fournier e Parikka (2020) discutem o fenômeno da transferência do conceito de *Ground Truth* (que pode-se traduzir para “verdade de terreno”) para o ambiente da imagem, operacionalizado pela assimilação de práticas com inteligência artificial, expandindo o papel da imagem não só como fonte de dados primários como também de validador do que seria a verdade de terreno, parte do processo de treinamento ou verificação de acurácia, evidenciando, dessa forma, que há uma rede de produção de conhecimento sobre o espaço onde imagens dependem de outras imagens e inteligência de máquina para construir sua própria validação e garantia de legitimidade.

O progresso do uso de abordagens estatísticas e algoritmos cada vez mais avançados para atender a um universo de dados digitais de crescente complexidade trouxeram a necessidade de mudanças no papel da intermediação humana do processamento da imagem e obtenção de informação. Liang *et al* (2019 *apud* LIANG; WANG; JIANG, 2020) apontam que a análise estatística tem uma trajetória primeiramente ligada a modelos de radiação de superfície de base física e, posteriormente, vão predominando os chamados métodos de inversão, que são algoritmos de simulação destes modelos físicos (Figura 14), acelerando a análise e tornando-as mais robustas para lidar com volume e complexidade maior de dados, parâmetros desconhecidos e incertezas (LIANG; WANG; JIANG, 2020), seguindo a tendência de concentração da confiabilidade e legitimidade ao ambiente digital.

Figura 14 - Principais marcos na análise quantitativa de sensoriamento remoto



Fonte: adaptado de Liang *et al* (2019 *apud* LIANG; WANG; JIANG, 2020)

Essas tendências voltadas para a crescente automatização, seja pela confiança tecnológica, seja pela natureza complexa e volumosa da produção e uso de dados atual, trazem uma outra consequência epistemológica para imagens digitais do Sensoriamento Remoto: o meio principal pelo qual se obtém conhecimento legítimo a partir destas imagens deixa de ser a cognição visual humana. Primeiro, com o surgimento do *Sensoriamento Remoto* os olhos foram substituídos pelos sensores nas diversas plataformas, mas agora também a *Percepção Remota* vem sendo substituída (HOFFMAN, 2018), ou seja, a as etapas de reconhecimento de padrões na imagem, que antes era um atributo de especialistas, passa a ser em grande parte composta por visão computacional, aprendizado de máquina e inteligência artificial, de forma que a cognição visual humana passa a ser considerada um auxiliador ou validador, através de inspeção visual pontual, treinamento de algoritmos direta ou pelo desenvolvimento de conjuntos de dados de interesse específicos (*datasets*), ou como objeto de estudo para construção de técnicas de extração e linguagens de representação do conhecimento, como a criação de ontologias para leitura de máquina.

Essa rede de relações intermediadas por inteligência artificial das quais se depende mais e mais guardam um potencial de permitir um crescente distanciamento entre o agente produtor do conhecimento e sua capacidade de rastrear a legitimidade do conhecimento produzido por imagens. Ao mesmo tempo, esse distanciamento

parece inevitável para que se consiga pôr em prática análises que se relacionem com as condições atuais da geração e uso de dados e das demandas por conhecimento, sendo inviável compreender e controlar cada aspecto e seu impacto estatístico nos resultados, sendo cada vez mais comuns o acúmulo de processos com “caixas pretas”. No entanto, uma tendência que pode reduzir esse afastamento parece ser o uso de ferramentas que permitam acolher e mensurar a incerteza nas classificações. De acordo com Comber *et al* (2012, p. 238):

Está se tornando cada vez mais reconhecido na comunidade de pesquisa em Sensoriamento Remoto que as classificações *soft* podem fornecer um modelo mais representativo do mundo real (ARNOT; FISHER, 2007; DRONOVA *et al*, 2011; FISHER, 2010; OLDELAND *et al*, 2011; PHILLIPS *et al*, 2011; ROCCHINI, 2010). Eles permitem que algumas das incertezas associadas a uma visão pixelada do mundo (FISHER, 1997) sejam explicitamente acomodadas nos resultados das análises de sensoriamento remoto.

Ducange, Fazzolari e Marcelloni (2020, tradução nossa) indicam também que a capacidade dos modelos *fuzzy* de lidar imprecisão dos dados tem ocupado um papel importante no uso de *Big Data* em Sensoriamento Remoto pois “Fernandez *et al* [2016] e Hariri *et al* [2019] destacaram que os modelos *fuzzy* são particularmente adequados para lidar com [as dimensões] Variedade e Veracidade do *Big Data*”.

É relevante destacar que antes de qualquer coisa, a incerteza é um conceito que só pode surgir num ambiente onde já se sabe algo sobre o tema (ATKINSON; FOODY, 2002), o que é central quando falamos sobre legitimidade da produção de conhecimento. A existência de incerteza, principalmente de forma consciente e explícita é, em última instância, a essência do progresso da ciência. E Curran (2002) foca em distinguir dois tipos de incerteza mais relevante em Sensoriamento Remoto e SIG: a incerteza das mensurações e a incerteza do entendimento (*measurements uncertainty* e *understanding uncertainty*) de modo que compreendamos melhor o impacto dos diferentes níveis de cada uma delas e sua combinação: é possível, por exemplo, que um baixo nível de incerteza sobre uma mensuração somada a um alto nível de incerteza sobre um novo fenômeno torne a melhor das acurácias um aspecto pouco relevante. O autor afirma ainda que buscar compreender a incerteza da mensuração, que pode ser medida e analisada probabilisticamente, é um caminho que ajuda a conferir credibilidade e, portanto, legitimidade.

O ritmo dos avanços proporcionados pelo ambiente tecnológico pode ocasionar também uma distância cada vez mais curta entre possíveis paradigmas no campo. Somado a isso, as incontáveis combinações possíveis entre objetos de estudo e recursos disponíveis aumenta enormemente a dificuldade de analistas e pesquisadores se manterem atualizados em relação às fronteiras dos desenvolvimentos metodológicos e epistemológicos da área, ou mesmo apenas do seu recorte temático, mesmo com a facilidade do acesso público a enormes bancos de dados digitais sobre produção científica. No tempo de duração da produção de um livro referência ou uma revisão sobre um tema, que podem tomar alguns anos de trabalho, novas abordagens surgem da constante resposta à demandas por informação geográfica, e podem passar a chamar mais atenção rapidamente, coexistir e se combinar com outras dimensões. Além disso Bhatta (2013, p. 2, tradução nossa) observa que

O sensoriamento remoto, no que diz respeito aos nossos interesses, é um campo relativamente novo. É importante perceber que muitos dos princípios neste campo jovem ainda estão sendo formulados e, em muitas áreas, pode faltar a estrutura e a terminologia consistentes que esperamos em campos mais maduros. Do lado positivo, o sensoriamento remoto como um campo relativamente jovem oferece uma miríade de oportunidades para explorar questões não respondidas (e muitas vezes ainda não formuladas).

Como consequência, parece cada vez mais necessário que analistas e pesquisadores aprofundem seu conhecimento a respeito de temas relacionados à Ciência da Computação, como linguagens de programação, e métodos de Estatística Inferencial, pelo acúmulo de etapas onde a inteligência computacional e automatização passam a ser indispensável na transformação e análise da imagem, mas também pela velocidade do progresso no campo, para a correta tomada de decisão a respeito dos métodos de análise, sob o risco de perder o mínimo domínio da coerência epistemológica e metodológica de sua produção ou ser considerado inapto para atuar com análises espaciais, seja acadêmica ou profissionalmente, o que pode ser uma tarefa árdua a muitos geógrafos, dado o perfil acadêmico e técnico da formação.

Arribas-bel e Reades (2018), ao discutir a relação da Geografia com a computação e sua natureza quantitativa, deixam claro que essa relação sempre foi complexa, mas que a partir do século XXI, em especial com a revolução do *Big Data*, a penetrabilidade e o volume dos dados digitais moldam as vidas e as práticas em

todas as instâncias possíveis, da corporativa à afetiva, da unidade de moradia aos fenômenos globais, e que essa transformação das relações é inescapável. Os autores mencionam ainda o surgimento da “Ciência de Dados” (*Data science*) como uma ciência na fronteira entre Ciência da Computação e Estatística, e que se endereça à análise de dados das atividades humanas, indicando que a Geografia precisará ver como oportunidade a assimilação da computação e da ciência de dados não somente como ferramentas inertes, mas como um paradigma com o qual se conectar, a partir do auxílio de disciplinas surgidas desta interface nas últimas décadas, como GIS (*Geographic Information System* - Sistema de Informação Geográfica), Geovisualização, Estatística Espacial e Geocomputação, afinal

[...] a recente explosão de dados não é apenas uma mudança quantitativa na quantidade de informação digital e legível por máquinas ao alcance dos investigadores e da indústria, é também uma mudança profundamente qualitativa na forma como pensamos e trabalhamos com os dados (ARRIBAS-BEL; READES, 2018, p. 6, tradução nossa).

Os autores enfatizam ainda que essa é uma necessidade, pois:

[...] a recusa [...] de se envolver com a ciência de dados por motivos epistemológicos, metodológicos ou mesmo políticos deixaria partes de nosso terreno disciplinar e suas fronteiras (permeáveis) com outras disciplinas quantitativas ocupadas por aqueles que não apreciam a história, as técnicas e as lógicas que sustentam espacialmente análises quantitativas conscientes (ARRIBAS-BEL; READES, 2018, p. 6, tradução nossa).

Além disso, chamam atenção, por fim, para a percepção de um vazio de habilidades dos geógrafos em lidar com a realidade atual dos dados espaciais (SINGLETON, 2014 *apud* ARIBAS BEL; READES, 2018).

A partir de um outro ponto de vista, Kwan (2016) observa que o surgimento do *Big Data* tem fomentado argumentos de que essa nova realidade lidera uma tendência de foco em formas dedutivas de investigação, ou seja, pautada num modelo de descoberta do conhecimento (*data-driven*). No entanto compreende que uma Geografia *data-driven* é um equívoco, posto que

Ignora a influência potencialmente significativa dos algoritmos nos resultados da investigação e o facto de que o conhecimento sobre o mundo gerado com *big data* pode ser mais um artefacto dos algoritmos utilizados do que os próprios dados (LAZER *et al*, 2014).

No entanto, o autor reconhece a incontornável realidade algorítmica dos dados, argumentando por uma Geografia Algorítmica, na qual geógrafos estariam atentos aos “efeitos dos algoritmos no conteúdo, na confiabilidade e nas implicações sociais do conhecimento geográfico que esses algoritmos ajudam a gerar.

O Sensoriamento Remoto, como visto anteriormente, é peça pertencente à revolução do universo digital e, se for reconhecida alguma coerência nos autores de uma forma ou de outra, há um caminho complexo pela frente, onde se discuta possibilidades e limites do Geógrafo para continuar inserido no campo do Sensoriamento Remoto e da Análise Geoespacial de forma geral, caminhos que permitam lidar com a complexidade dos dados digitais e preservar o olhar geográfico e crítico na construção de significado. Já é possível afirmar que se vive regularmente com a mediação algorítmica do conhecimento em várias áreas, incluindo o geográfico, mas ainda não como a Geografia como protagonista.

5.2.2 Imagem do Sensoriamento Remoto Digital como representação

Como já levantado anteriormente, a humanidade construiu uma relação inevitavelmente dependente do uso de imagens para reconhecer, imaginar e ordenar o espaço, às quais convencionamos chamar de representações. Uma das formas de consumo das imagens do Sensoriamento Remoto Digital é seu uso para identificação visual imediata de feições e fenômenos, mas também são usadas como fonte de informação para produção de representações cartográficas que possam comunicar algo aos diversos públicos.

De acordo com Corrêa (2011), olhar, imaginar e representar constituíam uma tríade de práticas fundamentais do geógrafo para Denis Cosgrove, que tinha no estudo da paisagem seu principal interesse (conceito esse que tem suas raízes, inclusive, na produção de imagens características do Renascimento). Seguindo essa lógica, pode-se até acrescentar uma quarta etapa, a apropriação de outras representações, onde há uma oportunidade de ressignificar ou analisar criticamente aquilo que já foi produzido. A representação pode ser entendida, portanto, como etapa onde se oferece o produto gráfico e/ou material da reflexão geográfica, que por sua vez também transmitiria conhecimento e permitiria outras reflexões. Em outras palavras, a representação é um termo que formaliza a relação entre imagem

produzida e aquilo que ela tem a oferecer enquanto conhecimento sobre uma realidade espacial.

No entanto, Ginzburg (2001) argumenta que a concepção de representação traz uma ambiguidade: ao mesmo tempo em que atesta a ausência da realidade, por se apresentar como substituta, também evoca a realidade, dando visibilidade a seus elementos, sugerindo a presença da mesma realidade. Como lidar, portanto, com essa questão de forma clara? As produções de representações conseguem dominar e explicitar até que ponto elas nos trazem realidade ou nos tiram? Massey (2008) também chama atenção para o fato de que representar é um recurso de apreensão da realidade que prescinde de encapsulamento e codificação do real, reduzindo sua complexidade, mas que o principal problema começa quando o produto desse processo é tomado como a própria realidade. Além disso, representar é um ato inscrito no mundo e seus significados, cujas dinâmicas moldam a concepção da representação, sendo inviável, portanto, entendê-la como espelho do real. Gomes (2013) contribui para essa reflexão quando evoca uma outra concepção das imagens em Geografia, pensando não a partir da matriz lógica da representação da “realidade”, mas da apresentação de “uma realidade”, posto que “o sentido que temos de realidade corresponde tão somente a uma experiência da percepção, que estabelece um acordo entre o sensível e o inteligível” (GOMES, 2013, p. 166). Nossa própria leitura da realidade seria, então, ainda que amparada por medições, sempre um produto das nossas competências e limitações, sendo ela própria uma representação. Portanto, a relação dual entre a representação e uma possível realidade objetiva já não faria sentido, mas sim o processo de “apresentação” do mundo. Estas são algumas questões que podemos elencar para indicar a complexidade de debates a respeito da relação entre representação e conhecimento sobre o espaço, mas de forma alguma elas servem para invalidar a possibilidade de representações imagéticas auxiliarem na produção de conhecimento relevante. Servem tão somente como alertas, para que se busque tomar o controle sobre as possíveis seleções de conteúdo e diálogos entre as noções dicotômicas de objetividade e subjetividade envolvidas no processo da construção do conhecimento.

Sob a perspectiva do problema da representação é necessário pensar nas imagens de satélite como um tipo de mapa. Para isso pode-se tomar a reflexão de Downs (1985), que discute questões epistemológicas em estudos sobre cognição espacial, para quem é relevante trazer uma definição funcional de Cartografia, que

nada mais seria do que todo tipo de imagem de referência visual vertical sobre um espaço, e complementa:

Indo além da base estreita da visão tradicional da cartografia, vemos um campo que é unido por três preocupações essenciais: (1) uma preocupação com as propriedades geométricas intrínsecas do espaço e, portanto, com as relações entre os objetos no espaço; (2) uma preocupação com as relações geométricas extrínsecas entre os espaços e suas representações; e (3) uma preocupação com as possibilidades técnicas e limitações dos diferentes modos de representação do espaço.

[...]

Ao definir cartografia em uma base abrangente, podemos ver que sustentando todas as três preocupações acima está a função essencial de um mapa: isto é, tornar a experiência do espaço compreensível (DOWNS, 1985, p. 325, tradução nossa).

Partindo desse pressuposto, o fenômeno mais relevante que envolve as imagens do Sensoriamento Remoto Digital enquanto representação é o fato de que globos virtuais, em especial o Google Earth, passaram a oferecer diuturnamente as imagens digitais de Sensoriamento Remoto (essencialmente imagens de perspectiva vertical) como representação, associadas a mapas, bancos de dados, localização por sistema GNSS e outras funcionalidades.

Como visto anteriormente, o surgimento de uma versão do globo digital idealizado por Al Gore, sob a perspectiva do paradigma do *Big Data*, se conecta a uma dinâmica que, para a análise técnica destas imagens, tem deslocado a cognição visual humana de um status de protagonista para auxiliar. Porém, quando o foco de atenção é o usuário comum e a produção e reprodução de práticas sociais, a cultura visual herdada do renascimento e, conseqüentemente, das imagens do alto, na verdade parecem ser reforçadas, principalmente pelas combinação das características de verticalidade, do aspecto de aparência “real” a olho nu e, evidentemente, da densidade de informações interativas que o poder da matematização digital da paisagem pode oferecer. Como observa Steyerl (2017, p. 8) “assim como a perspectiva linear estabeleceu um observador e um horizonte estáveis imaginários, a perspectiva de cima também estabelece um observador flutuante imaginário e um terreno estável imaginário”, entendendo que tais estabilidades não existem concretamente .

Mais especificamente, embora as imagens de diversas naturezas auxiliem na reflexão sobre o espaço, na cultura visual vigente, as imagens verticais de um recorte espacial remetem a uma autoridade objetiva e neutra, como se a verticalidade

eliminasse subjetividades, pelo afastamento e abstração volumétrica, muito associada à função do mapa (CRAIB, 2000). Sobre elas se pode discorrer eruditamente e tecnicamente com a finalidade de construir conhecimento geográfico, sem nunca ter estado de corpo presente neste mesmo espaço, e sem maiores constrangimentos por isso. Imagens verticais populam nosso imaginário como referência majoritária para a construção de conhecimento científico geográfico, a ponto de ser usada como símbolo da Geografia (o mapa mundi, o globo terrestre, a visão do planeta pelo sensoriamento remoto, a quadrícula cartográfica, etc), posto que a esse ponto de vista se acostumou associar a mensuração dos fenômenos no espaço. Este poder associado a uma aparência que remete a da fotografia (como a evidência de máximo realismo) e criada por aparelhos que permitem calcular dimensões e informar posicionamento com precisão de poucos metros aprofunda este efeito de objetividade inerente à própria existência da imagem do Sensoriamento Remoto Digital. Sobre a permanência de uma cultura do distanciamento combinado a um olhar analítico que se pretende neutro, também ancorado pelo Renascimento, Haraway (1995, p. 19), observa que

Os olhos têm sido usados para significar uma habilidade perversa - esmerilhada à perfeição na história da ciência vinculada ao militarismo, ao capitalismo, ao colonialismo e à supremacia masculina - de distanciar o sujeito cognoscente de todos e de tudo no interesse do poder desmesurado. [...] As tecnologias de visualização aparentemente não tem limites; o olho de um primata comum como nós pode ser infindavelmente aperfeiçoado. [...] a visão nesta festa tecnológica transforma-se numa glotoneria desregulada; todas as perspectivas cedem passagem a uma visão infinitamente móvel, que parece ser não mais apenas a respeito do truque mítico de deus de ver tudo de lugar nenhum, mas da transformação do mito em prática comum.

Estas representações formais (legitimadas) do espaço eram mais vistas em livros ou outros materiais informativos ocasionalmente, mas agora elas passaram a intermediar ações de interação do indivíduo com o espaço da forma corriqueira, como encontrar um serviço ou um caminho, até formas mais complexas, como servir de evidência para construção de narrativas jurídicas e políticas (PARKS, 2005).

Refletindo sobre diferenças entre o globo digital e mapas tradicionais enquanto representações (ALLEN, 2009; BROTTON, 2014), o apelo fenomenológico do Google Earth, desde seu princípio, parece ser a combinação de:

- a) Verossimilhança visual de feições reconhecíveis da paisagem: imagens orbitais de média a alta resolução espacial do mundo todo (a exceção do alto mar);

- b) Acesso à informação geolocalizada e mensurável: extenso banco de dados variados, georreferenciados e recuperáveis;
- c) Máximo nível de conforto do usuário: processamento em nuvem, permitindo o uso pelo computador doméstico;
- d) Usuário como manipulador ou até gerador da informação: capacidade de alterar escalas de visualização, lugares e temas de interesse, acesso a bancos de dados geoespaciais e plataforma Earth Engine, se conectando com o conceito de *producer*, de Bruns (2006)¹³.

É importante reconhecer, como apontado, que o imageamento digital por si só não teria sido responsáveis pelo impacto do Google Earth. No entanto, elas são o carro-chefe da interatividade, por serem o elemento que permite instintiva conexão entre usuário e plataforma, como discutido no primeiro capítulo: a cognição espacial pela visualidade. Se o mapa tradicional, que tem como oferta explícita a experiência uma estética e acesso a certas informações geográficas fixas, já é um instrumento de produção e uso com engajamento milenar e ininterrupto na história das diversas civilizações, é de se imaginar porque a combinação destes fatores pode ser vista como uma uma revolução. E atualmente Google Earth coleciona mais funcionalidades, como visões a nível humano (*street view*) de paisagens das mais diversas (não apenas ruas), o recurso *timelapse*, a partir do acúmulo e adaptação de imagens orbitais de várias datas, modelagem 3D na maior parte do globo, imagens oblíquas (45°) em algumas cidades e até mesmo uma seção toda dedicada à explorar uma combinação de visão do alto, *street view* de dentro de casas e ambientes, sobre locais diversos do mundo, com foco em exploração cultural, chamada *Voyager*. Além disso, o Google Maps, aplicativo de geoinformação mais focado na navegação, oferece avaliações de diversos estabelecimentos, permite encontrar rotas por meios de transporte variados, e até fornece status do trânsito em tempo real, por coleta voluntária de informação geográfica dos smartphones. Recentemente (PHILLIPS, 2023) foram anunciadas pela Google novas funcionalidades como *street view* com

¹³ “Especialmente onde o que é produzido é de natureza intangível e informativa, pode-se observar uma maior mudança desses modelos econômicos industriais em direção a modelos econômicos pós-industriais ou informativos. Nestes modelos, a produção de ideias ocorre num ambiente colaborativo e participativo que rompe as fronteiras entre produtores e consumidores e, em vez disso, permite que todos os participantes sejam utilizadores e também produtores de informação e conhecimento, ou o que passei a chamar de *producers*” (BRUNS, 2006, p. 2, tradução nossa).

Realidade Aumentada e até mesmo uma fusão de *street view* e imagens orbitais a partir de avanços em Inteligência artificial e Visão Computacional, chamada *Immersive View*, que conecta com uma fluidez inédita a visão vertical até a experiência *indoor*.

Se a Perspectiva Linear, enquanto técnica, moldou uma visão de mundo no Renascimento e é responsável por muito da percepção moderna e sua relação com o mundo, é possível, no momento presente, apenas inferir o que este potencial poder do globo virtual, essencialmente consequência da existência de imagens digitais do Sensoriamento Remoto, é capaz de fazer com a experiência humana do espaço. Kerski (2015) inclui estas imagens em cinco tendências globais que atraem a atenção para a Geografia e a geoalfabetização; Saldias *et al* (2021) estudam a relevância da experiência de cidadãos com estas imagens para políticas participativas com foco na unidade da Paisagem. Mas também vários autores apontam também que, na busca de um crescente poder representacional, o uso de imagens digitais do Sensoriamento Remoto associado ao fenômeno do globo virtuais trazem consigo questões incontornáveis, cuja disseminação e aprofundamento ocorrerão de forma igualmente poderosa, primeiramente porque são investimentos de atores com interesses econômicos e políticos bem definidos, e isso direciona o que é útil ou valioso de ser visto, além de outros como problemas como variabilidade na validação científica, vieses culturais e intelectuais, preconceitos, vazios de acesso digital, dentre outros (BROTTON, 2014; PARKS, 2005; SHEPPARD, 2009; BRANNON, 2013).

Cabe mencionar o relato de Brotton (2014) sobre Ed Parsons, Geógrafo, especialista em Sensoriamento remoto, categorizado como “Tecnologista Geoespacial” da Google sobre uma fala onde

destaca que, “para nós, o Google Earth e o Google Maps são a representação visual da geografia. Mas a geografia está inserida em quase tudo que fazemos, porque quase toda informação tem algum contexto geográfico”. Ele estima que mais de 30% de todas as buscas do Google têm algum elemento geográfico explícito (BROTTON, 2014).

6 CONCLUSÃO

As imagens do Sensoriamento Remoto Digital dão prosseguimento à tradição geográfica do uso de imagens como elemento capaz de descrever a superfície da Terra, bem como manifestam filosoficamente o mesmo paradigma renascentista do ponto de vista matematicamente posicionado, onde observador e observado são imaginariamente estáveis. A perspectiva vertical, associada às cores e texturas similares às percebidas a olho nu, apresentadas nas imagens de satélites ou outros veículos, que hoje são encontradas na palma da mão de quase qualquer pessoa pelo advento do globo digital, parece aprofundar este paradigma, permitindo um sentimento de objetividade e controle. Este senso de objetividade parece ser ainda mais presente neste tipo de imagem pois, além da verticalidade ser tradicionalmente associada à mensuração de fenômenos, feições, distância e localização, sua produção é fruto de aparelhos construídos como aprimoramentos às capacidades do nosso corpo, aptos para simultaneamente ver, medir e registrar a superfície da terra de modos, escalas e ritmos que os sensores oculares, cérebros e mãos jamais dariam conta. No entanto, ainda não é possível inferir muito mais do que isso sobre a presença destas imagens como representações/apresentações de mundo no cotidiano.

O Sensoriamento Remoto Digital produz imagens cujo objetivo é capturar e registrar um conjunto de dados capturados por respostas físicas dos materiais à REM, utilizando uma estrutura matricial onde os *pixels* são sua unidade mínima. Para obtenção de conhecimento através destas imagens a contemplação visual não é suficiente, sendo necessário um processamento de máquina destes dados, que, em função do rápido progresso tecnológico e de áreas como ciência da computação, podem variar muito, dependendo dos fenômenos que se pretende estudar ou reconhecer, a estrutura e propriedades da imagem, escala de interesse e dependências escalares, modelo conceitual de dados (campo ou objeto), a cadeia de relação descritiva estatísticas-parâmetros-fenômenos, uso de Inteligência artificial, complexidade dos padrões a serem reconhecidos (espectral, espacial ou temporal ou alguma combinação destes), etc. Cada escolha prescinde de algum domínio do que elas significam, mas muitas delas serão feitas baseadas em paradigmas e não necessariamente na capacidade de dominar cada uma delas. Por essa complexidade, que está em constante processo de inovação, o processamento dos dados, a

interpretação da informação e o conhecimento a partir dela organizado dificilmente será o mesmo se analistas diferentes utilizarem as mesmas imagens com os mesmos objetos de interesse.

A associação entre o status de objetividade herdado das imagens do alto, natureza tecnológica de Sensoriamento Remoto e saltos de desenvolvimento ocorridos no século XXI fizeram com que a imageamentos digitais construíssem uma reputação de legitimidade técnico-científica inerente à sua existência, e levaram a uma inevitável tendência à dependência de algoritmos e inteligência de máquina em análises de imagens para fins técnicos. É necessário reconhecer o ganho incomensurável entre dados e métodos para alcançar informações sobre o espaço, como a ampliação de um ambiente rico para formulação de novas hipóteses e reflexões, bem como também será necessário aceitar, até certo ponto, as consequências deste processo de acumulação de automações e operações do tipo caixas pretas, dentre elas:

- a) Uso da imagem do Sensoriamento remoto como fonte primária de dados;
- b) Mudança do papel da cognição visual humana de protagonista da interpretação para auxiliar;
- c) Demanda por habilidades quantitativas e computacionais de geógrafos.

Por outro lado, é importante chamar atenção para o fato de que estes processos, por si só, não são capazes de dar conta da produção do conhecimento. Ricardo Castillo (2009) diz que deve-se compreender as imagens do sensoriamento Remoto (digital) como uma matematização da paisagem, por serem um suporte gráfico, mediado por instrumentos tecnológicos. O autor adverte, no entanto, que o Sensoriamento Remoto apenas evidencia efeitos na paisagem, não sendo suficiente para inferir relações causais. No título de um artigo, Gilberto Câmara destaca uma frase de Milton Santos muito similar a uma outra aqui já apresentada por Massey (2008): “geometrias não são geografias” (CÂMARA, 2001), pois as formas produzidas continuam apenas nos dando os indícios de uma Geografia. Ademais, apesar da imagem de Sensoriamento Remoto Digital permitirem de fato uma ampliação das capacidades de identificação e quantificação de vários fenômenos isso não significa que não haja variações, seleções e desafios na codificação e decodificação dessas imagens, ainda que se tenha buscado remover a interferência humana ao máximo,

posto que a demanda que origina seu uso sempre terá correlação com as necessidades práticas e intelectuais e até emocionais humanas. Deve-se conceber, inclusive, que há temas onde estas imagens oferecerão pouca informação ou informação confusa ou enviesada, trazendo possíveis prejuízos à produção do conhecimento.

Um exemplo que demonstra a complexidade das relações entre informação, formalização de conceitos, materialidade e representação, bem como a impossibilidade de suprimir a humanidade de qualquer que seja um objeto de estudo o trabalho de Castro (2003), que analisa questões envolvidas na construção social do termo “Mata Atlântica” e sua representação e identificação ao longo da história, incluindo questões políticas e históricas que definiram a delimitação de tipos biogeográficos de vegetação a serem inseridos no conceito. Logo, a partir do momento que se propõe a fazer estudos em Sensoriamento Remoto sobre o recorte “Mata Atlântica”, existe a necessidade de compreender o próprio objeto de estudo como um referente, não como o fenômeno em si, e, portanto, não é composto ele mesmo por elementos fisiográficos “objetivos” (como se isso fosse plenamente possível). Isso permite lembrar que avanços técnicos são inescapáveis de construções subjetivas. Ainda que a produção das imagens do Sensoriamento Remoto Digital não levantasse nenhuma questão epistemológica (o que é impossível por ser um produto humano) nenhuma conceituação fala de uma realidade puramente objetiva, mas apenas daquilo que, pela percepção e propósito humanos, se decide separar e classificar, a partir de critérios conhecidos. Lançando um olhar necessário para a relação entre objetividade e legitimidade, Donna Haraway (2009, p. 21, tradução nossa) sugere que

Precisamos aprender em nossos corpos, dotados das cores e da visão estereoscópica dos primatas, como vincular o objetivo aos nossos instrumentos teóricos e políticos de modo a nomear onde estamos e onde não estamos, nas dimensões do espaço mental e físico que mal sabemos como nomear. Assim, de modo não muito perverso, a objetividade revela-se como algo que diz respeito à corporificação específica e particular e não, definitivamente, como algo a respeito da falsa visão que promete transcendência de todos os limites e responsabilidades. A moral é simples: apenas a perspectiva parcial promete visão objetiva.

Em 1980, antes que as imagens de sensoriamento Remoto Digital apresentassem todas as características aqui expostas, Estes, Jensen e Simonett

propuseram uma reflexão sobre o que imagens do Sensoriamento Remoto poderiam significar para o saber geográfico. Nesta investigação levantaram-se as seguintes questões sobre o que o Sensoriamento Remoto (já em sua versão digital):

- a) Permite que o Geógrafo faça melhor do que fazia até antes de seu surgimento?
- b) Permite ao geógrafo fazer que antes não era possível?
- c) Permitirá ao geógrafo fazer no futuro que seja significativo profissional e academicamente?

Como a hipótese do artigo repousava sobre o impacto do Sensoriamento Remoto ser possivelmente medido pela sua capacidade de testar hipóteses em Geografia, essas perguntas foram feitas dentro das seis formas de explicação em Geografia retiradas da obra de David Harvey *Explanation in Geography*, posto que se trata de um marco importante na trajetória da Geografia enquanto ciência, explorando caminhos metodológicos necessários. É claro que o artigo se baseia num recorte temporal e paradigmático da Ciência Geográfica, conectado à revolução quantitativa em Geografia, porém, mais de quarenta anos depois, a proposta de diálogo do artigo continua relevante, principalmente depois das transformações trazidas pela era digital e das questões levantadas pela pós-modernidade. Manter um olhar crítico sobre o universo das imagens em Geografia é essencial para manter também a capacidade de analisar discursos a respeito do espaço e do que selecionamos como relevante para registrar e descrever o espaço. Também ajuda a identificar potenciais e limites epistemológicos de abordagens imagéticas, a partir do pressuposto de que qualquer abordagem é uma escolha de ganhos e perdas, pois é dependente de códigos e filtros, até mesmo a contemplação a olho nu. No caso das imagens do Sensoriamento Remoto Digital é preciso levar em consideração todo o contexto histórico, tecnológico, econômico e político no qual ela está envolvida e os efeitos disso não se dão apenas na relação da sociedade com o espaço, mas no próprio exercício do olhar crítico.

A pesquisa e a ciência dependem, antes de tudo, da capacidade de fomentar um olhar questionador e desnaturalizante, e este foi o exercício feito neste trabalho. O desafio em conseguir destrinchar cada pedaço que compunha a importância das imagens do Sensoriamento Remoto na construção de conhecimento vieram não apenas da sua complexidade e variabilidade enquanto produto multifacetado e

refinado da engenharia e da ciência, e de impacto fenomenológico em áreas diversas, mas também da naturalidade com que imagens do mundo são concebidas no nosso imaginário. Além disso, cada tema levantado nesta pesquisa se demonstrou universo inteiro de possíveis questões foram deixadas de lado por não caberem num trabalho de caráter exploratório, como aprofundar a relação entre produção de informação e de conhecimento, compreender diferenças internas à Geografia no que tange a discursos sobre imagens do Sensoriamento Remoto, explorar a natureza epistemológica da relação entre meios técnicos e produção do espaço, etc. Para continuar nesta jornada pode-se considerar estes tópicos, ou pode-se partir do exemplo o artigo de Estes, Jensen e Simonett (1980), explorando se as possíveis características e contextos atuais dessas imagens permitem outras formas de avaliar o impacto do Sensoriamento Remoto Digital na produção de conhecimento geográfico em comparação com as conclusões dos autores. Será que esse potencial, tem sido utilizado por mais geógrafos em mais campos que não apenas o do Sensoriamento Remoto? E fora da academia, como analistas e geógrafos têm cuidado da arquitetura de suas análises na prática? Se consideram detalhes do desenvolvimento científico do campo, ou os critérios acabam sendo decididos por uma combinação de comparação prática com trabalhos semelhantes, disponibilidade de recursos e decisões baseadas em poder e hierarquia? Buscar respostas a estas e mais perguntas relacionadas pode ser um importante passo para reduzir possíveis vãos entre a teoria e a prática, entre potencial e benefício real para a Geografia.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, D. Y. A Mirror of our world: Google Earth and the history of cartography. **ALA Map and Geography Round Table**, 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1969.1/129202>. Acesso em: 7 set. 2023.
- APPLIED REMOTE SENSING TRAINING PROGRAM (ARSET). Introduction to synthetic aperture radar. **YouTube**. 2017. [4 vídeos]. Disponível em: <https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-introduction-synthetic-aperture-radar>. Acesso em: 7 set. 2023.
- ARRIBAS-BEL, D.; READES, J. Geography and computers: past, present, and future. **Geography Compass**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 1-10, 3 set. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/gec3.12403>. Acesso em: 7 set. 2023.
- ARVOR, D. *et al.* Ontologies to interpret remote sensing images: why do we need them?. **Giscience & Remote Sensing**, [S.l.], v. 56, n. 6, p. 911-939, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1587890>. Acesso em: 29 ago. 2023.
- ATKINSON, P. M.; FOODY, G. M. Uncertainty in remote sensing and GIS: fundamentals. In: FOODY, G. M.; ATKINSON, P. M. (Ed.). **Uncertainty in remote sensing and GIS**. Chichester: Wiley, 2002.
- AUYANG, S. Y. What is wrong with “technology as applied science?” **Creating Technology**, 2005. Disponível em: <http://www.creatingtechnology.org/eng/apply.pdf> . Acesso em: 7 set. 2023.
- BESSE, J. European cities from a bird’s-eye view: the case of Alfred Guesdon. In: DORRIAN, M.; POUSIN, F. (ed.). **Seeing from above: the aerial view in visual culture**. Londres: I. B. Tauris, 2013.
- BHATTA, B. **Research methods in remote sensing**. Dordrecht: Springer, 2013. 131 p. (Springerbriefs in earth sciences). DOI: 10.1007/978-94-007-6594-8.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 2-16, jan. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>. Acesso em: 29 ago. 2022.
- BRANNON, M. M. Standardized spaces: satellite imagery in the age of big data. **Configurations**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 271-299, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1353/con.2013.0021>. Acesso em: 7 set. 2023.
- BROTON, J. **Uma história do mundo em doze mapas**. [São Paulo]: Zahar, 2014.
- BRUNS, A. Towards produsage: futures for user-led content production. In: SUDWEEKS, F.; HRACHOVEC, H.; ESS, C. (Ed.). **Proceedings cultural attitudes towards communication and technology**. Tartu: [S. n.], 2006. p. 275-284.

BUCCIARELLI, L. **Engineering philosophy**. [S. l.]: Delft University Press, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1721.1/112281>. Acesso em: 7 set. 2023.

BUDD, L. C. S. The view from the air: the cultural geographies of flight. In: Vannini, P. (ed.). **The cultures of alternative mobilities: routes less travelled**. Farnham: Ashgate, 2009. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315615257-6/view-air-cultural-geographies-flight-lucy-budd>. Acesso em: 29 ago. 2022.

BURRY, M. **The meaning of roman maps**: Etienne Dupérac and Antonio Tempesta. In: DORRIAN, M.; POUSIN, F. (ed.). **Seeing from above: the aerial view in visual culture**. Londres: I. B. Tauris, 2013.

CÂMARA, G. Geometrias não são geografias: o legado de Milton Santos. **InfoGeo**, Curitiba, v. 3, n. 20, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/infogeo/infogeo20.pdf> . Acesso em: 29 ago. 2023.

CASTILLA, G.; HAY, G. J. Image objects and geographic objects. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (ed.). **Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications**. Berlim: Springer, 2008. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).

CASTILLO, R. A imagem de satélite: do técnico ao político na construção do conhecimento geográfico. **Pro-Posições**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 61-70, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-73072009000300005>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CASTRO, L. C. de. **Da biogeografia à biodiversidade: políticas e representações da mata atlântica**. 2003. 249 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000616496&local_base=UFR01. Acesso em: 20 nov. 2019.

CHEN, G. *et al.* Geographic object-based image analysis (GEOBIA): emerging trends and future opportunities. **GIScience & Remote Sensing**, [S.l.], v. 55, n. 2, p. 159-182, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15481603.2018.1426092>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CHENG, G.; HAN, J.; LU, X. Remote sensing image scene classification: benchmark and state of the art. **Proceedings of the IEEE**, [S.l.], v. 105, n. 10, p. 1865-1883, out. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2017.2675998>. Acesso em: 29 ago. 2023.

COMBER, A. *et al.* Spatial analysis of remote sensing image classification accuracy. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 127, p. 237-246, dez. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.005>. Acesso em: 29 ago. 2023.

CORCORAN, P.; WINSTANLEY, A. Using texture to tackle the problem of scale in land-cover classification. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (ed.). **Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications**. Berlin: Springer, 2008. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).

CORRÊA, R. L. Denis Cosgrove: a paisagem e as imagens. **Espaço e Cultura**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 7-21, 2011. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/espacoecultura/article/view/3528/2454>. Acesso em: 17 jun. 2019.

COSGROVE, D.; FOX, W. L. **Photography and flight**. Londres: Reaktion Books, 2010.

COSGROVE, D. (ed.). **Mappings**. Londres: Reaktion Books, 1999.

COSGROVE, D. **Apollo's eye: a cartographic genealogy of the earth in the western imagination**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2001.

COSGROVE, D. **Geography and vision: seeing, imagining and representing the world**. Londres: I. B. Tauris, 2008.

CRACKNELL, A. P. The development of remote sensing in the last 40 years. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 39, n. 23, p. 8387-8427, 2 dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1550919>. Acesso em: 09 jan. 2023.

CRAGLIA, M. *et al.* Next-generation digital Earth: a position paper from the Vespucci Initiative for the Advancement of Geographic Information Science. **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, [S. l.], v. 3, p. 146-167, 2008. Disponível em: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/18493>. Acesso em: 18 set. 2019.

CRAIB, R. B. Cartography and power in the conquest and creation of New Spain. **Latin American Research Review**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 7-36, 2000. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/latin-american-research-review/article/cartography-and-power-in-the-conquest-and-creation-of-new-spain/66EC842B402808490650645906286B75>. Acesso em: 10 set. 2023.

CURRAN, P. J. F. In: FOODY, G. M.; ATKINSON, P. M. (ed.). **Uncertainty in remote sensing and GIS**. Chichester: Wiley, 2002.

DOWNS, R. M. The representation of space: its development in children and in cartography. In: COHEN, R. (Ed.). **The development of spatial cognition**. Londres: Psychology Press, 1985. p. 323-346.

DRAGLAND, Å. Big Data, for better or worse: 90% of world's data generated over last two years. **Sciencedaily**. [S. l.], 22 maio 2013. Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130522085217.htm>. Acesso em: 7 set. 2023.

DUCANGE, P.; FAZZOLARI, M.; MARCELLONI, F. An overview of recent distributed algorithms for learning fuzzy models in Big Data classification. **Journal of Big Data**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1-29, 2020. Disponível em:

<https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-020-00298-6>.

Acesso em: 10 set. 2023.

EBERENDU, A. C. *et al.* Unstructured data: an overview of the data of Big Data.

International Journal of Computer Trends and Technology, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 46-50, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/309393428_Unstructured_Data_an_overview_of_the_data_of_Big_Data. Acesso em: 13 ago. 2023.

ESTES, J. E.; JENSEN, J. R.; SIMONETT, D. S. Impacts of Remote sensing on U.S. geography. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 10, p. 43-80, dez. 1980.

FERNÁNDEZ, P. I. A.; BUCHROITHNER, M. F. **Paradigms in cartography**. Berlim: Springer-Verlag, 2014.

GIL-FOURNIER, A; PARIKKA, J.. Ground truth to fake geographies: machine vision and learning in visual practices. **AI & Society**, v. 36, n. 4, p. 1253-1262, 2020.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-020-01062-3> Acesso em: 16 nov 2022

GINZBURG, C. *et al.* **Wooden eyes**: nine reflections on distance. Nova Iorque: Columbia University Press, 2001.

GOMES, P. C. da C.; RIBEIRO, L. P. A produção de imagens para a pesquisa em Geografia. **Espaço e Cultura**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 27-42, 2013. Disponível em:

<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/espacoecultura/article/view/8465>.

Acesso em: 17 jun. 2019.

GOMES, P. C. da C. **O lugar do olhar**: elementos para uma geografia da visibilidade. Rio de Janeiro: Bertrand, 2013.

GOMES, P. C. da C. **Quadros geográficos**: uma forma de ver, uma forma de pensar. Rio de Janeiro: Bertrand, 2017.

GOODCHILD, M. F. *et al.* Next-generation digital earth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], v. 109, n. 28, p. 11088-11094, 2012.

Disponível em: <http://www.pnas.org/content/109/28/11088.full.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 202, p. 18-27, dez. 2017.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 18 set. 2019.

HARAWAY, D. Saberes localizados: a questão da ciência para o feminismo e o privilégio da perspectiva parcial. **Cadernos Pagu**, [S. l.], n. 5, p. 7–41, 2009.

Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/cadpagu/article/view/1773>. Acesso em: 01 fev. 2023

HILLIS, K. The power of disembodied imagination: perspective's role in cartography.

Cartographica: The International Journal for Geographic Information and

Geovisualization, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 1-17, set. 1994. Disponível em:

<https://doi.org/10.3138/6343-2223-1331-8796>. Acesso em: 02 set. 2021.

HOFFMAN, R. R. Cognitive and perceptual processes in remote sensing image

interpretation. In: WHITE, R. A.; COLTEKIN, A.; HOFFMAN, R. R. (ed.). **Remote sensing and cognition: human factors in image interpretation**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2018.

HOLANDA, F. de. **De aetatibus mundi imagines**. [S. l.]: [S. n.], 1545. Disponível

em: <http://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000137315>. Acesso em: 17 abr. 2020.

INTERNATIONAL DATA CORPORATION (IDC). **The digital universe of**

opportunities: rich data and the increasing value of the internet of things. [S. l.]: [S. n.], 2014.

JAVHAR, A., *et al.* Comparison of multi-resolution optical landsat-8, sentinel-2 and radar sentinel-1 data for automatic lineament extraction: a case study of Alichur Area, SE Pamir. **Remote Sensing**, [S. l.], 2019, v. 11, n.7, p. 778. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/rs11070778>. Acesso em: 24 ago. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JOLY, M. **Introdução à análise da imagem**. [S. l.]: Papyrus editora, 1996.

KERSKI, J. J. Geo-awareness, geo-enablement, geotechnologies, citizen science,

and storytelling: geography on the world stage. **Geography Compass**, [S. l.], v. 9, n.

1, p. 14-26, jan. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/gec3.12193>. Acesso em: 7 jul. 2023.

LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality dealing with complexity. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (ed.).

Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Berlim: Springer, 2008. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).

LEE, I. Big data: dimensions, evolution, impacts, and challenges. **Business**

Horizons, [S. l.], v. 60, n. 3, p. 293-303, maio 2017. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2017.01.004>. Acesso em: 04 ago. 2023.

- LI, S. *et al.* Geospatial big data handling theory and methods: a review and research challenges. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [S. l.], v. 115, p. 119-133, maio 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.012>. Acesso em: 04 ago. 2023.
- LIANG, S.; WANG, J.; JIANG, B. A systematic view of remote sensing. In: LIANG, S.; WANG, J. **Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications**. 2. ed. London: Academic Press, 2020.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN J. **Remote sensing and image interpretation**. Danvers: John Wiley & Sons, 2015.
- LUNETTA, R. S. *et al.* Remote sensing and geographic information system data integration: error sources and research issues. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [S. l.], v. 57, n. 6, p. 677-687, jun. 1991. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238307070_Remote_sensing_and_geographic_information_system_data_integration_error_sources_and_research_issues. Acesso em: 27 mar. 2023.
- MA, Y. *et al.* Remote sensing big data computing: challenges and opportunities. **Future Generation Computer Systems**, [S. l.], v. 51, p. 47-60, out. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2014.10.029>. Acesso em: 7 set. 2023.
- MARCEAU, D. J.; HOWARTH, P. J.; GRATTON, D. J. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment: the scale and spatial aggregation problem. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. 93-104, ago. 1994. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90046-9](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90046-9). Acesso em: 11 out. 2019.
- MASSEY, D. B. **Pelo espaço: uma nova política da espacialidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
- MENESES, P. R. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.
- MENEZES, P. M. L. de; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de cartografia**. [S. l.]: Oficina de Textos, 2013.
- CASTIGLIONE, L. H. G.. A importância das imagens à geoinformação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 149-167, 2018. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/download/3961/3779>. Acesso em: 15 set 2020.
- CASTIGLIONE, Luiz Henrique Guimarães. Evolução Histórica da Geoinformação. In: FERNANDES, Manoel do Couto; MENEZES, Paulo Márcio Leal de; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. **Cartografias do ontem, hoje e amanhã**. Curitiba: Appris, 2022.

MISRA, S.; MATTHAEIS, P. de. Passive remote sensing and Radio Frequency Interference (RFI): an overview of spectrum allocations and RFI management algorithms [technical committees]. **IEEE Geoscience And Remote Sensing Magazine**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 68-73, jun. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/mgrs.2014.2320879> . Acesso em: 9 jun. 2023.

MONMONIER, M. **How to lie with maps**. [S. l.]: University of Chicago Press, 2018.

MOU, L.; BRUZZONE, L.; ZHU, X. X. Learning spectral-spatial-temporal features via a recurrent convolutional neural network for change detection in multispectral imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [S. l.], v. 57, n. 2, fev. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8541102>. Acesso em: 9 jun. 2023.

NASA JOHNSON SPACE CENTER. **The blue marble from Apollo 17**. 1972. 1 fotografia. 294 x 196 *pixels*. Disponível em: <https://visibleearth.nasa.gov/images/55418/the-blue-marble-from-apollo-17>. Acesso em: 24 jun. 2019.

NOVAES, A. R. Uma geografia visual?: contribuições para o uso das imagens na difusão do conhecimento geográfico. **Espaço e cultura**, [S. l.], n. 30, p. 6-18, 2011. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/espacoecultura/article/view/4949>. Acesso em: 19 jun. 2019.

NOVO, E. M. L. de M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos: [S. n.], 2001.

PHILLIPS, C. New ways Maps is getting more immersive and sustainable. **Google**, 2023. Disponível em: <https://blog.google/products/maps/sustainable-immersive-maps-announcements/>. Acesso em: 7 set. 2023.

PLEYDENWURFF, W. I.; HARTMANN, S.; WOLGEMUT, M. **The nuremberg chronicle**. [S. l.]: [S. n.], 1493. Disponível em: <https://www.wdl.org/en/item/4108/>. Acesso em: 7 set, 2023.

QUATTROCHI, D. A.; GOODCHILD, M. F. Preface. In: QUATTROCHI, D. A.; GOODCHILD, M. F. (Ed.). **Scale in remote sensing and GIS**. [S. l.]: CRC Press, 1997.

RAJBHANDARI et at. Employing Ontology to Capture Expert Intelligence within GEOBIA: Automation of the Interpretation Process. In: WHITE, R. A.; COLTEKIN, A.; HOFFMAN, R. R. (ed.). **Remote sensing and cognition: human factors in image interpretation**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2018.

ROSE, G. On the need to ask how, exactly, is geography “visual”?. **Antipode**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 212-221, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-8330.00317>. Acesso em: 19 jun. 2019.

ROSER, M.; RITCHIE, H.; MATHIEU, E. What is Moore's Law?: exponential growth is at the heart of the rapid increase of computing capabilities. **Our World In Data**. 28 mar. 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/moores-law>. Acesso em: 7 set. 2023.

SALDIAS, D. S. M. *et al.* The influence of satellite imagery on landscape perception. **Landscape Research**, [S. l.], v. 46, n. 6, p. 749-765, 2021. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01426397.2021.1886264>. Acesso em: 10 set. 2023.

SHEPPARD, S. R. J.; CIZEK, P. The ethics of Google Earth: crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. **Journal of environmental management**, [S. l.], v. 90, n. 6, p. 2102-2117, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708001151>. Acesso em: 10 set. 2023.

STEYERL, H. Em queda livre: uma (experiência-pensamento) sobre perspectiva vertical. **Arte & Ensaios**, [S. l.], n. 33, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/ae/article/view/11092>. Acesso em: 4 out. 2021.

TAO, M. *et al.* Mitigation of radio frequency interference in synthetic aperture radar data: current status and future trends. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 11, n. 20, p. 2438, 21 out. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs11202438>. Acesso em: 7 set. 2023.

TSO, B.; MATHER, P. **Classification methods for remotely sensed data**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

WHITE, F. **The overview effect**: space exploration and human evolution. 3. ed. Bethesda: AIAA, 2014.

WU, H.; LI, Z. L. Scale issues in remote sensing: a review on analysis, processing and modeling. **Sensors**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 1768-1793, 13 mar. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/s90301768>. Acesso em: 21 jan. 2022.

XU, C. *et al.* Cloud-based storage and computing for remote sensing big data: a technical review. **International Journal of Digital Earth**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 1417-1445, 2022. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2022.2115567>. Acesso em: 10 jul. 2023.

YANG, L. *et al.* Google Earth Engine and artificial intelligence (AI): a comprehensive review. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 14, n. 14, p. 3253, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/14/14/3253?utm_content=bufferc53e9&utm_medium=social&utm_source=linkedin.com&utm_campaign=buffer. Acesso em: 10 ago. 2023.

ZHANG, J.; ATKINSON, P.; GOODCHILD, M. **Scale in spatial information and analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2014.

ZHU, L. *et al.* A review: remote sensing sensors. In: RUSTAMOV, R. B.; HASANOVA, S.; ZEYNALOVA, M. H. **Multi-purposeful application of geospatial data**. [S. l.]: [S. n.], 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71049>. Acesso em: 02 dez. 2022.