

Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto

Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo^{1*}, Luís Felipe Ferreira de Mendonça², Juliet Oliveira Santana³, Ramille Daniele Pinto Raimundo⁴

¹Doutor em Geologia, Professor na Universidade Federal da Bahia, Brasil. (*Autor correspondente: danilohmelo@gmail.com)

²Doutor em Sensoriamento Remoto, Professor na Universidade Federal da Bahia, Brasil.

³Mestranda em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

⁴Mestranda em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 30/03/2021 – Revisado em: 16/04/2021 – Aceito em: 02/05/2021

RESUMO

A análise de definições sobre a expressão sensoriamento remoto permite constatar a existência de divergências e convergências com a fotogrametria, causando confusões no seu entendimento e até na sua aplicação. Os autores apresentam suas argumentações e compreensão sobre esta temática, afim de minimizar este dilema com base em uma retrospectiva histórica, com fatos que favoreceram o desenvolvimento da fotografia, fotogrametria (estabelecendo níveis de evolução), satélites artificiais e por último, das aeronaves remotamente pilotadas. Neste contexto, o presente trabalho traz uma contextualização, expondo os avanços tecnológicos e personagens que contribuíram para o seu sucesso. Por fim, com base nas progressões do sensoriamento remoto pode-se estabelecer períodos de gerações dos satélites e conclui-se que não há uma definição monolítica, pois o seu desenvolvimento acompanha a evolução das geotecnologias que se apresentam a cada momento com novas possibilidades na aquisição da informação geográfica.

Palavras-Chaves: fotografia, fotogrametria, radiação eletromagnética, satélite, aeronave remotamente pilotada.

Evolution of earth observation by Remote Sensing

ABSTRACT

The analysis of definitions about the expression remote sensing allows to verify the existence of divergences and convergences with the photogrammetry, causing confusion in understanding and even application. The authors present their arguments and knowing on this theme, in order to minimize this dilemma based on a historical retrospective, with facts that favored the development of photography, photogrammetry (establishing evolution levels), artificial satellites and lastly, of remotely piloted aircraft. In this context, the present work brings this contextualization, exposing technological advances and characters that contributed to your success. Finally, based on the progression of remote sensing, periods of generation satellites can be established and it is concluded that there is no monolithic definition, as their development follows the evolution of geotechnologies that present themselves at every moment with new possibilities in the acquisition of geographic information.

Keywords: photography, photogrammetry, electromagnetic radiation, satellite, remotely piloted aircraft.

1. Introdução

Os avanços tecnológicos, impulsionado pelos baixos custos, conduziram a popularização e disseminação das imagens adquiridas por aeronaves e satélites, e com ela o uso recorrente das expressões Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Para a *American Society of Photogrammetry* (ASP) define Fotogrametria como ciência e a arte de obter informações métricas confiáveis por meio de fotografias (ASP, 1942, p. 270), e etimologicamente sua origem vem da junção das palavras gregas *photon* (luz), *graphos* (escrita) e *metron* (medição). Esta concepção permite que as fotografias adquiridas por meio do processo fotogramétrico se

Melo, D. H. C. T. B., Mendonça, L. F. F., Santana, J. O., Raimundo, R. D. P. (2021). Evolução da observação da terra por sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.2, n.2, p.02-24.



diferenciem das fotografias convencionais.

Por outro lado, definir o significado de Sensoriamento Remoto não é uma tarefa simples, tanto que diversos autores escreveram e concluíram a inexistência de uma definição concisa e universal. Dong e Chen (2018), Reichhardt (2006) e Schott (2007) relatam que esta expressão foi cunhada na década de 1950 por Evelyn Pruitt e Walter Bailey e a definiu como a “*ciência e a arte de identificar, observar e/ou inferir medições sobre um objeto a distância, sem estar em contato direto com ele*”. Esta expressão foi proposta em substituição a fotogrametria. Contudo, Garcia (1982), Jensen (2014) e Chuvieco (2008a) relatam que seus princípios estão fundamentados na fotogrametria.

Esta aproximação pode ser observada nas cronologias apresentada por Barrett e Curtis (1982), Chuvieco (2008a) Chuvieco e Huete (2010), Colwell (1997), Elachi e Zyl (2006), Estes e Hemphil (2005), Florenzano (2011), Jensen (2014), Jong, Van Der Meer e Clevers (2004), Novo (2010), Purkis e Klemas (2011), Rees (2001), RSCC (2014), Scanvic (1991) e Schott (2007). É notável nas sociedades internacionais que congregavam apenas sobre fotogrametria, como a *American Society of Photogrammetry* (ASP) e a *International Society for Photogrammetry* (ISP), que introduziram os estudos de sensoriamento remoto nas suas atividades, alterando seus respectivos nomes para *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) e para *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS* (divulgado em seu XIV congresso, realizado em 1980 (ISPRS, 1980)), e adotam uma definição combinada destas expressões (Cowell, 1997).

Konecny (2003) e Lillesand e Kiefer (1994) consideram a definição apresentada por Pruitt e Bailey como a definição mais completa. Para Jensen (2014) esta é a definição ideal, por conta da sua simplicidade, facilidade de assimilação e memorização. Por outro lado, Campbell e Wynne (2011) analisam que esta definição está centrada na percepção da aquisição da informação por meio de um sistema sensor. Contudo, não há menção sobre como ou de que forma esta informação foi coletada, ou qual fonte de energia é utilizada para a aquisição da informação.

Portanto, esta definição é muito ampla, pois existem outros meios de aquisição de informações sobre um alvo, sem que haja contato físico com o mesmo, como por exemplo: por equipamentos de rádio, ecobatímetro, sismógrafo, gravímetro, magnetômetro, cintilômetro ou radiográfico (Jensen, 2014; Novo, 2010; Rees, 2001).

Para conhecimento, estes equipamentos detectam as perturbações que ocorrem no ambiente, denominadas de movimento ondulatório, inclusive o sensoriamento remoto. Segundo a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2016) este movimento pode suceder de duas maneiras: mecânica ou eletromagnética. Por exemplo: as ondas na água ou ondas sonoras (acústica) são exemplos de ondas mecânicas e são causadas por uma perturbação ou vibração na matéria, podendo ocorrer em meio sólido, líquido ou gasoso (recebendo o nome de ondas elásticas).

Neste contexto, Garcia (1982), Sabins (1996) e a Organização das Nações Unidas (ONU, 1986) salientam que o termo sensoriamento remoto seja restrito a aquisição da informação proveniente de sensores que detectam a radiação eletromagnética. Porém, as definições de sensoriamento remoto e fotogrametria apresentam pontos divergentes. Esta divergência está na extração da informação, uma vez que a fotogrametria é baseada nos métodos tradicionais de fotointerpretação com precisão, para a produção de documentos cartográficos. Enquanto que o sensoriamento remoto abrange métodos de modelagem, medições espectrais e processamento digital para a extração de informações.

Pickles (2004) faz uma breve analogia aos avanços que ocorreram nas Ciências Astronômicas, onde as inovações tecnológicas não acarretaram numa nova ciência, portanto, o termo fotogrametria não deveria ser alterado por conta dos avanços técnicos e científicos.

Baseado nisto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a cronológica da aquisição de imagens por radiação eletromagnética, descrevendo alguns fatos que corroboraram para as inovações tecnocientíficas. A começar por fatos que antecederam o surgimento da fotografia, passando para a fotogrametria, o sensoriamento remoto e a evolução das aeronaves remotamente pilotadas até os dias atuais.

2. Fatos que antecederam o surgimento da fotografia

Esta reflexão remete a acontecimentos que ratificaram a descoberta da fotografia, pois o seu desenvolvimento envolve a combinação de experimentos e os princípios da óptica, química e geometria. Neste sentido, Eder (1978), Estes & Hemphil, (2005), Rees (2001) e Wilgus & Wilgus (2004) relatam os primórdios estudos e observações sobre a “natureza da luz, da visão, a forma sistemática e geométrica de propagação e reflexão da luz e da luminescência” realizada pelos filósofos da Idade Antiga.

Na idade média houve proposições quanto às trajetórias e a natureza constitutiva da luz, causas e efeitos da visão e o funcionamento de espelhos e lentes (Eder, 1978; Authier, 2013). Com destaque para os estudos de Alhazém, de 1038, que idealizou a projeção de uma imagem por meio de uma caixa com um orifício numa de suas faces, onde a luz refletida de um alvo externo entra por este orifício, projetando a imagem invertida na superfície interna oposta (Eder, 1978; Renner, 2012). Este arquétipo da representação foi denominado de Câmara Obscura e é considerada a precursora dos aparatos ópticos. E a técnica de projetar de imagem por meio de um orifício denomina-se pinhole. Renner (2012) relata que no século XII, Roger Bacon fez uma gravura da câmara obscura junto a elementos simbólicos, remetendo ao conflito entre ciência e religião.

No período renascentista, Martins e Silva (2015) destacam a revolução nas artes e sua aproximação com a ciência, onde os artistas procuravam compreender óptica e a perspectiva geométrica para a confecção de suas obras. Neste período, mais precisamente em 1544, tem-se o primeiro registro da construção da câmara obscura, por Gemma Frisius (Fainguelernt, 2014). Logo, inventores como Leonardo da Vinci, Giovanni Della Porta, Giralamo Cardano, entre outros, em aprimorá-lo com a adição de lentes, espelhos e a inserção de um mecanismo capaz de aumentar ou diminuir a passagem de luz (denominado de objetiva), melhorando a definição e luminosidade da imagem projetada (Eder, 1978; Lindberg, 1972). Em pouco tempo passou a ser portátil e manufaturada (Snider, 2015). Outros aparatos foram desenvolvidos neste período, tais como: a Câmara Lúcida, *physionotrace*, Lunetas, Microscópios e predecessores da estereoscopia, dos projetores e geradores de luz (Hammond e Austin, 1987; Newhall, 1949).

De acordo com Eder (1978), Khorram (2016), Martins e Silva (2015) estes instrumentos estimularam diversas pesquisas científicas, a respeito da óptica, da dispersão e interação da luz (com ênfase nas pesquisas sobre fotoquímica e fotofísica), com hipóteses, postulados, teorias, leis e descoberta de novos fenômenos. Destaque para as pesquisas de Angelo Sala (escurecimento de sais minerais quando expostos à luz), Christiaan Huygens (propagação da luz), Isaac Newton (decomposição da luz em várias cores e a denominou de espectro visível da luz), René Descartes e Snellius (movimentos da luz e refração).

A câmara obscura permite apenas a projeção da imagem, com o tempo, houve a necessidade e o ensejo de descobrir um meio de fixá-la. Para Eder (1978) os passos iniciais para conseguir uma imagem permanente foram efetivadas por Johann Schulze, em 1727, utilizando sais de prata. Com base nisto, em meados de 1780, Jacques Charles realizou experiências de imprimir uma silhueta numa tela, mas sem muito êxito. Para Eder (1978), este fato é considerado o princípio da exposição fotográfica. Em 1802, Thomas Wedgwood e Humphry Davy conseguem realizar a fixação de silhuetas, utilizando a câmara obscura e superfícies fotossensíveis (Stone, 1974; Eder, 1978). Porém, Newhall, relata que a fixação durou apenas algumas horas. Nas pesquisas sobre geometria e óptica e geometria, Eder (1978) salienta as descobertas de Johan Heinrich Lambert, em 1752, introduz uma nova abordagem para delineamento de imagem em perspectiva; William Herschel, de 1800, constatou a existência de raios de luz além da faixa do vermelho, denominando-a de raio infravermelho; no ano seguinte, Johann Ritter descobre o raio ultravioleta.

Segundo Eder (1978) estas descobertas impulsionaram pesquisas no campo da fotoquímica, eletroquímica e no entendimento da luz, com o estabelecimento de novas teorias e leis, como as de Goethe, Thomas Young e Augustin Fresnel. Era questão de tempo o desenvolvimento de um processo de fixação da imagem.

3. Desenvolvimento do processo de fixação da imagem

No ano de 1816 Joseph Nicephore Niépce desenvolve a heliografia, utilizando placa de prata coberta com um derivado de petróleo fotossensível chamado de Betume da Judéia, e consegue a fixação da primeira imagem (Eder, 1978; Estes & Hemphil, 2005; Frizot, 1998). Não obstante, Niépce destruiu a imagem, mas a registrou em cartas enviadas para seu irmão Claude Niépce (Eder, 1978). Em 1826, ele reproduziu o processo numa cena vista da janela de sua casa. Todavia, esta técnica leva aproximadamente 8 horas para a fixação da imagem.

De acordo com Campbell e Wynne, (2011), Eder (1978), Frizot (1998) Leggat (1995) e Kossoy (2006), esta descoberta despertou interesse da Royal Society e da Académie des Sciences. Isto desencadeou o interesse de pesquisadores como (Eder, 1978; Newhall, 1949): William Henry Fox-Talbot que desenvolveu o negativo (em 1835), a composição fotoquímica para papel (1839) e o processo monocromático Calótipo ou Talbotipo (1840); Louis Jacques Mandé Daguerre em 1837 apresentou o processo monocromático Daguerreótipo e anuncia a sua comercialização; Charles Wheatstone em 1838 aplica os métodos de perspectiva para obter a percepção de profundidade; Frederick Scott Archer em 1849 enunciou o processo de colódio, possibilitando o manuseio da câmara ao ar livre.

Além disto, Eder (1978) ressalva o seu uso na medicina e botânica, com o desenvolvimento da microfotografia em 1840. Na década seguinte, a Royal Society recomenda que a fotografia de rosto seja utilizada na identificação de pessoas, iniciando com a identificação de criminosos e pacientes internados em hospitais; no ordenamento territorial e no levantamento de campo para a produção de documentos cartográficos. Para Scorsatto (2012) estes fatos a conduziram ao sucesso mundial e sua popularização.

De acordo com Eder (1978) e Leggat (1995) as palavras *photography* e *photographic*, foram cunhadas por John Frederick William Herschel, em 1839, aglutinação das palavras gregas *photon* (luz), *graphien* (escrever, desenhar), sendo adotadas universalmente em pouco tempo. Todavia, Kossoy (2006) relata a publicação de Antonie Hercule Romuald Florence, de 1834, o qual descreve os procedimentos adotados para obtenção de uma imagem permanente e a denomina de *photographie*.

Com base neste contexto histórico, constata-se que o termo fotografia está associado ao processo fotoquímico de fixação da imagem. Em 1849, Aimé Laussedat publicou artigos sobre o uso de métodos matemáticos para a aquisição de fotografias aéreas, ou aerofotografias, por meio de balões e pipas para a extração de informações métricas e geográficas para o uso na Cartografia (Eder, 1978; Marchetti e Garcia, 1977). Para Cracknell (2018) deve-se levar em consideração algumas informações essenciais, como: a localização da aeronave no momento do registro fotográfico, orientação da aeronave, a direção de observação da câmara e a escala da fotografia aérea. Para Konecny (1985), estas publicações deram início ao ciclo da fotografia aérea e Fahlstrom e Gleason (2012) consideram que os balões e pipas foram os primeiros veículos aéreos não tripulados (VANT) utilizados para a aquisição fotográfica.

4. O ciclo da fotografia aérea

Konecny (1985) faz uma classificação do desenvolvimento da fotografia aérea, com base na teoria econômica de Kondratjew, classificando-a em 4 ciclos: Fotogrametria plana (1850 - 1900); Fotogrametria analógica (1900 - 1960); Fotogrametria analítica (1960 - 1980); e Fotogrametria digital (1980 até os dias atuais).

No primeiro ciclo, além dos trabalhos de Laussedat, destaque os trabalhos de Gaspard-Félix Tournachon (conhecido pelo pseudônimo Nadar) que capturou a primeira aerofotografia a bordo de um balão tripulado, sobrevoando a cidade de Paris, no ano de 1855 (Estes e Hemphil, 2005). Neste ano, Roger Fenton fez os primeiros registros fotográficos de guerra ao cobrir a Guerra da Criméia (Colwell, 1983). Colwell (1983) ressalva a importância das pesquisas sobre a natureza e percepção das cores para a fotografia, como a teoria tricromática, de Thomas Young e Hermann von Helmholtz, e a teoria de adição de cores, de James Maxwell.

Em 1858, Paulo Ignazio Pietro Porro e Auguste Chevallier desenvolveram a câmara panorâmica e

fotogramétrica plana (possibilitando registros fotográficos na horizontal), respectivamente. Estas câmaras foram utilizadas na Batalha de Solferino (1859), na Guerra Civil Americana (1861-1865), na Guerra do Paraguai (1864 – 1870), na Guerra Franco Prussiano (1870 – 1871) e na Guerra Hispano-Americana (1889 – 1898) para fins de reconhecimento territorial e planejamento estratégico militar (Colwell, 1983; Fahlstrom e Gleason, 2012).

No ano de 1861, Thomas Sutton e James Maxwell demonstraram técnicas capazes de produzir fotografias coloridas, com base na teoria das cores aditivas (Colwell, 1983). Em 1865, James Maxwell publica suas teorias sobre a luz e suas propriedades eletromagnéticas. Em 1867, Albrecht Meydenbauer estabeleceu as características fundamentais para aquisição de fotográficas aéreas, ou aerofotográficas, possibilitando a extração de medidas com um determinado grau de precisão e exatidão. Meydenbauer denominou estas técnicas de “photogrammetry” (Konecny, 1985), aglutinação das palavras gregas *photon*, *graphien* e *metron* (medição).

Entre as décadas de 1870 e 1890 inventores procuraram melhorar o processo de revelação fotográfica e o design das câmaras, com notoriedade para as descobertas de Richard Leach Maddox, Hermann Wilhelm Vogel, George Eastman e Henry Riechenbach (Konecny, 1985). Eder (1978) salienta que em 1881 e 1885 foram desenvolvidos os processos de projeção estereoscópica e o estereograma, respectivamente. Outros inventores buscaram aprimorar a aquisição aerofotográfica, como Arthur Batut e Douglas Archibald. Este último inicia seu uso em estudos meteorológicos (Becot, 1995). Para reconhecimento territorial em áreas com conflito armado, foi desenvolvida câmara fotográfica em miniatura, para ser acoplada em pombo (Chuvieco, 2008a; Dong e Chen, 2018).

Nestas décadas, James Maxwell publica a teoria do eletromagnetismo, a qual descreve que a luz se propaga pelo espaço por meio de ondas eletromagnéticas. Com base nisto, em 1888, o Heinrich Hertz detectou a refração, reflexão e polarização das ondas eletromagnéticas, demonstrando a existência das ondas de rádio (Ulaby e Long, 2014).

Em 1899, Sebastian Finsterwalder publica os princípios da fotogrametria analítica, dando início ao segundo ciclo (Konecny, 1985) conhecido como um período de estudos intensos com inúmeras contribuições significativas que ajudaram na consolidação das teorias fotogramétricas através de sua instrumentalização, com destaque para a estereoscopia e o uso de aeroplanos e aviões (Loor e Fdez-Arroyabe, 2019).

No ano de 1903, Christian Hülsmeier desenvolve um sistema capaz de detectar ondas de rádio refletida de objetos sólidos, sendo utilizado para a localização de navios (Ulaby e Long, 2014). Em 1904, Wilbur Wright foi a primeira pessoa a adquirir uma aerofotografia num aeroplano. Logo, a fotogrametria despertou o interesse da comunidade científica e em 1907 foi criado a *Austrian Society for Photogrammetry* e em 1909 a *International Society of Photogrammetry* – ISP (Silva, 2015).

De acordo com Finney (2007), as primeiras fotografias com a captura da radiação eletromagnética do infravermelho próximo e ultravioleta próximo foram publicados por R.W. Wood, em 1910. Em 1911, Cesare Tardivo adapta as técnicas de fotogrametria terrestre para a fotogrametria aérea (Guerra e Pilot, 2000; Silva, 2015). Em 1915, os Estados Unidos da América (EUA) fundam a *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA), com o objetivo de aprimorar as tecnologias aeronáuticas, com construção de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento. Para tanto, efetuaram parcerias com indústrias, institutos educacionais e científicos; patrocinando a divulgação de suas pesquisas por meio eventos científicos e publicações (NASA, 1978, 1983).

Durante a Primeira Guerra Mundial, houve aprimoramento da câmara aerofotográfica, no processo fotogramétrico e nos métodos e aparelhos de estereoscopia, melhorando a precisão e exatidão cartográfica (Campbell e Wynne, 2011; Marchetti e Garcia, 1977), e inicia-se o desenvolvimento de foguetes e aeronaves remotamente pilotadas - ARP (Fahlstrom e Gleason, 2012; NASA, 1983; Shepherd, 2006; Valavanis, 2007).

No período entre as duas Guerras Mundiais (de 1919 – 1939) houve avanços e descobertas técnico-científicas que impulsionaram novas frentes de pesquisa, como por exemplo: a automatização das atividades laborais (HNF, 2020); melhoramento e comercialização do filme infravermelho (Aber, Marzolf e Ries, 2010); a transmissão de pulso de microondas para estudos da ionosfera (Breit e Tuve, 1926); a publicação conceitual do uso de pulso laser (light amplifications by stimulated emission of radiation) para medir o perfil vertical da

densidade atmosférica (Synge, 1930, Tuve et al., 1935). A implementação destes conceitos pode ser notada nos trabalhos de Hulburt (1937), Johnson et al. (1939) e Johnson, Mock, Hopkins (1939).

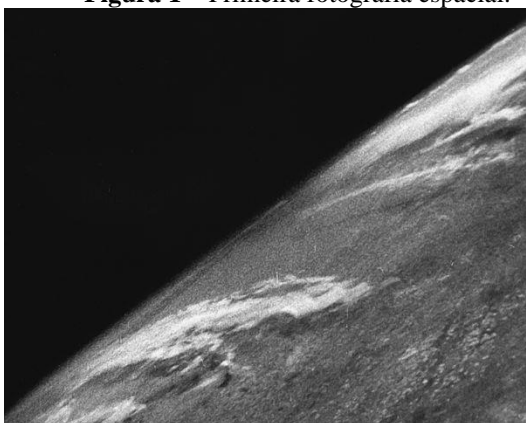
Importante constatar que neste período ocorreu a difusão da fotogrametria aérea, principalmente em países como EUA, Alemanha e Inglaterra, com aplicações na engenharia, agricultura, silvicultura, uso e ocupação do solo, geologia, pedologia e ecologia da paisagem (Aber, Marzloff e Ries, 2010; Lillesand, Kiefer e Chipman, 2015). Dong e Chen (2018) apontam 2 fatores que contribuíram para o seu sucesso: o mapeamento de áreas com pouca acessibilidade e as inovações metodológicas de aquisição de informações temáticas e topográfica.

Com as inúmeras aplicações aerofotográficas, em 1934 foi fundada a *American Society of Photogrammetry* – ASP (Silva, 2015), e em pouco tempo, a União Soviética e os EUA lançaram expedições estratigráficas com o propósito de registrar a curvatura da Terra (Reichhardt, 2006).

Durante a Segunda Guerra Mundial houve inúmeros avanços científicos e tecnológicos, com destaque para o sonar; a bomba atômica (Rees, 2001). Com relação aos dispositivos ópticos ocorreram melhorias das câmaras aerofotogramétricas, aprimoramento de lentes e filmes fotográficos na faixa do infravermelho, do laser pulsado e dos sistemas aerotransportados de microondas, comumente conhecido pelo acrônimo em inglês RADAR – *Radio Detection And Ranging* (Barrett e Curtis, 1982; Clevers, 2004; Jones, 1949; Jong, Van Der Meer e Clevers, 2007). Dois sistemas de micro-ondas foram desenvolvidos neste período: o imageador denominado de radar de visada lateral de abertura real (*side-looking airborne radar* – SLAR) e não-imageador, chamado de altímetro (Ulaby e Long, 2014). As melhorias na qualidade das aerofotografias adquiridas com aviões pós-guerra, acarretaram numa redução significativa no uso de pipas e balões, tornando-se obsoleto e, segundo Hart (1982), uma “arte” perdida.

Um ano após o fim da Segunda Guerra Mundial, os EUA registraram a primeira fotografia orbital, utilizando o foguete lançador V-2 (JHAPL, 1946; Reichhardt, 2006; Spacechronology, 2013), como ilustrado na Figura 1. De acordo com Cracknell (2018) estas fotografias inspiraram cientistas e meteorologistas em colocar satélites para a Observação do Clima.

Figura 1 – Primeira fotografia espacial.



Fonte: Johns Hopkins Applied Physics Laboratory, 1946.

Em 1947, foi possível observar uma sequência fotográfica capaz de auxiliar na determinação da trajetória espacial dos satélites (Reichhardt, 2006), como demonstrado na Figura 2. Com base nestes estudos, a *International Council of Scientific Unions* (ICSU) inicia uma cooperação para estudar a geofísica da Terra, denominando-a de *International Geophysical Year* – IGY (NASA, 1983).

De acordo com Ulaby e Long (2014) em 1952, a Universidade de Illinois inicia o desenvolvimento do Radar de Abertura Sintética (*synthetic-aperture radar* – SAR) para estudos climáticos. No início da década de 1950, Everett Merritt publica alguns artigos sobre o controle analítico das etapas do plano fotogramétrico de

modo automatizado, permitindo a redução da participação instrumental no processo fotogramétrico. Estas publicações deram início ao 3º ciclo da fotogrametria (Konecny, 1985).

Figura 2 – Registro fotográfico do V – 2.



Fonte: Johns Hopkins Applied Physics Laboratory, 1947.

Middleton e Spilhaus em 1953 publicam o livro "Instrumentos Meteorológicos" e introduziram o termo e os princípios do *Light Detection and Ranging* (LiDAR), tecnologia de medição com laser pulsado para identificar a distância e/ou outra informação de um determinado objeto (Middleton e Spilhaus, 1953). Em 1957, a União Soviética coloca o primeiro satélite em órbita, o Sputnik-1, com o objetivo de averiguar os efeitos da gravidade e a interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre, sendo suas informações transmitidas via rádio e a produção de imagem eletronicamente, sem o uso do processo fotoquímico (Spacechronology, 2013).

Para descrever estas novas tecnologias de aquisição e observação da Terra, Evelyn Pruitt e Walter Bailey assinalaram o termo sensoriamento remoto, em substituição ao termo aerofotografia e aerofotogrametria (NASA, 1999; Reichhardt, 2006; Schott, 2007). Para Khorram et al. (2012), o início do ciclo do sensoriamento remoto inicia com o lançamento da Sputnik-1.

5. O ciclo do Sensoriamento Remoto

Impulsionado pelas novas descobertas científicas, no ano de 1958 o Congresso Norte Americano, com a colaboração da *National Academy for Sciences* (NAS), promulga a Lei Nacional da Aeronáutica e Espaço, que cria a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), sendo incorporada à NACA que propõe cooperações internacionais tecnocientíficas e industriais, denominada de Missão ao Planeta Terra. Esta missão tem o objetivo de aprimoramento das tecnologias aeroespaciais e pesquisas aplicadas em: recursos naturais, meteorologia, telecomunicações, ciências biológicas e uso e ocupação da Terra (Chuvieco, 2008b; NASA, 1983; NRC, 1995).

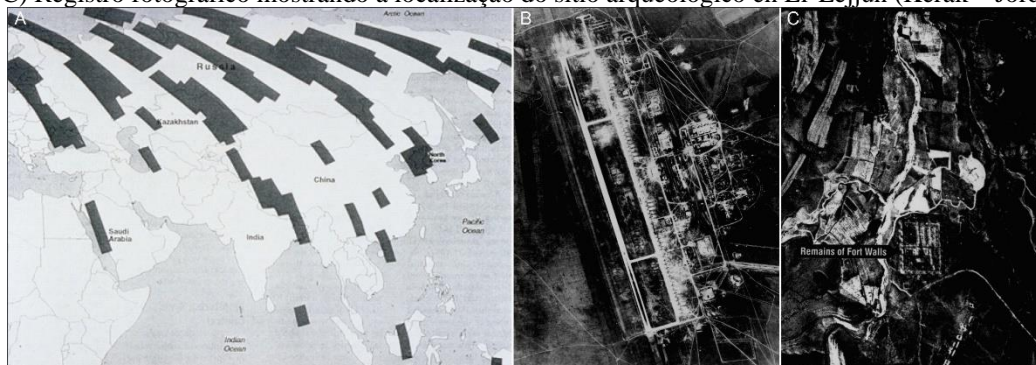
Para tanto, foram criados 11 centros de pesquisas espalhados no território norte-americano e, concomitante, anunciaram o programa espacial: Explorer, responsável pela descoberta do cinturão de radiação que existem em torno da Terra, denominado de Cinturão Van Allen (NASA, 1983); Pioneer, para adquirir informações sobre a Órbita Lunar e sua relação com a Terra (NASA, 1983, 2020b). Estes estudos foram importantes para compreender a interação da radiação eletromagnética solar com a atmosfera terrestre e os padrões orbitais.

Com base nestes estudos, em 1959, os EUA lançaram os programas: Vanguard-2, cuja finalidade era obter informações sobre: a interação da radiação eletromagnética com a atmosfera, cobertura de nuvens, a trajetória elíptica para o posicionamento de satélite (ESA, 2000); e Discoverer, SAMOS e MIDAS, colocando em órbita os satélites de reconhecimento territorial militares Corona, Argon e Lanyard, iniciando o registro

fotográfico espacial (Campbell; Wynne, 2011; CIA, 2015; Ruffner, 1995). De acordo com Gorin (1997), a União Soviética lançou uma série de satélites militares em 1961, denominada de Zenit.

A figura 3A apresenta os locais fotografados pelo satélite Corona. A figura 3B refere-se ao registro fotográfico da base aérea militar, localizada na cidade de Semei (Cazaquistão) e a figura 3C mostra o registro fotográfico do sítio arqueológico da base legionária romana El-Lejjun, situado na região nordeste do município Kerak (Jordânia).

Figura 3 – A) Áreas fotografadas pelo satélite Corona. B) Fotografia mostrando a localização de uma base aérea militar. C) Registro fotográfico mostrando a localização do sítio arqueológico em El-Lejjun (Kerak – Jordânia).



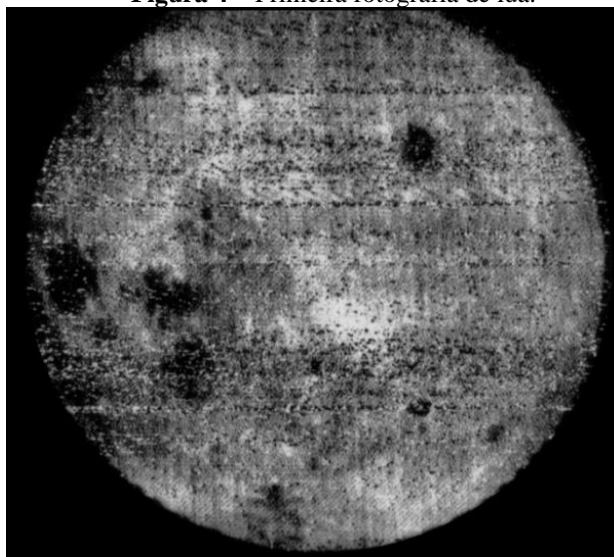
Fonte: Adaptada de NRO, 2020.

No ano de 1959 a União Soviética consegue colocar uma sonda na superfície lunar e o satélite Lunik II e Lunik III realizam pela primeira vez o registro fotográfico da Lua do espaço (Stafford; Croft, 1961), como apresentado na figura 4.

Com estas descobertas, a União Soviética e os EUA intensificam suas ações espaciais estabelecendo novas diretrizes para o lançamento de programas espaciais, com foco na aplicabilidade científica, ordenamento territorial, comercialização e operacionalização (NRC, 1995). Neste sentido, a NASA inicia campanhas científicas, denominada de Habitabilidade Global, com programas operacionais para o compartilhamento e aplicação de políticas de dados ambientais, como o Programa Mundial de Investigações Climáticas, de 1980; e o Programa Internacional da Geosfera e Biosfera, de 1983; e a realização do workshop Mudanças Globais: Impactos sobre a habitabilidade, realizado em 1982 (Chuvienco, 2008b; NRC, 1995).

Em 1960, a NASA lançou o programa de satélite de sensoriamento remoto *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS), com a meta de averiguar a capacidade e eficácia de observação da Terra pelo espaço, sendo o primeiro satélite a ter uma órbita polar (Cracknell, 2018). Neste satélite foi acoplado um instrumento, denominado de sensor, capaz de registrar a radiação eletromagnética procedente da Terra, e de transformá-la em sinais susceptíveis de serem processados de modo analógico (produto fotográfico) ou digital, como mostrado na ilustração da figura 5. As características espaciais do sensor fazem referência à porção da superfície terrestre a qual obtém informação e possui as seguintes magnitudes: Campo de visada a qual define a largura da faixa total observada pelo sensor; e o Campo de visada instantânea que corresponde à dimensão mínima detectada em cada posição da faixa total observada pelo sensor (Campbell & Wynne, 2011). Em paralelo, a União soviética lançou o programa de observação meteorológica por satélite, o Meteor (Clarcknell, 2018).

Figura 4 – Primeira fotografia de lua.



Fonte: NASA, 2017a.

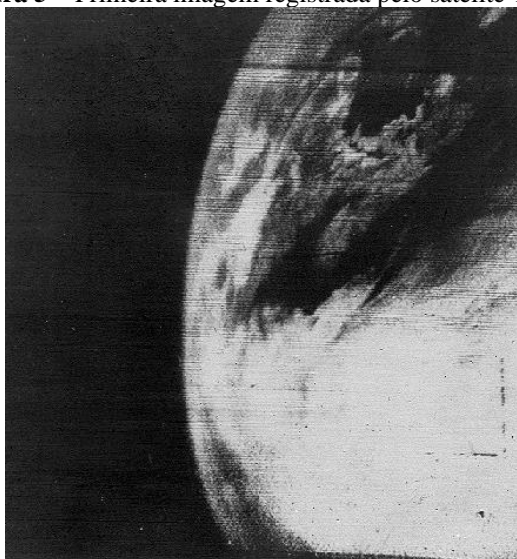
A NOAA (1987) relata que este programa foi importante para efetuar ajustes operacionais no lançamento, design e órbita dos satélites. Com o seu sucesso nos estudos meteorológicos, este programa serviu como protótipo para o desenvolvimento de uma série de programas para monitoramento meteorológico e climático e, logo passou a ser responsabilidade da *National Oceanic And Atmospheric Administration* (NOAA), com o lançamento dos programas o *Synchronous Meteorological Satellite* (SMS), *Improved TIROS Operational System* (ITOS), Nimbus-N, POES (NOAA 1-19), GOES A-M, GOES A-U, NOAA (JASON 1-3), Suomi – PP (JPSS), DSCOVR, FORMOSAT (COSMIC) (NOAA, 2020). A NOAA lançou programas em parceria com outros países, como ADEOS DMSP, ENVISAT, MTSAT e METEOSAT (García, Brondo e Pérez, 2012; NOAA, 2020). E a NASA promoveu o programa *Environmental Science Services Administration* (ESSA), em parceria com a *American National Meteorological Center*, no ano de 1966; e o *Defense Meteorological Satellite Program*, em cooperação com o Departamento de Defesa dos EUA (Clarcknell, 2018).

Neste ano, iniciam-se as pesquisas sobre processamento visual de imagens, com ênfase nas pesquisas realizadas no laboratório Bell Telefonia, Laboratório de Propulsão a Jato (NASA), Instituto de Tecnologia de Massachusetts e na Universidade de Maryland (Jensen, 2014). Maiman (1960), McClung e Hellwarth (1962), Fiocco e Smullin (1963) ressaltam as melhorias no LiDAR com aprimoramento do laser pulsado.

Com o sucesso do programa Pioneer, a NASA lançou os programas espaciais de exploração: lunar, chamado de Ranger, em 1961; e interplanetário, Mariner, para explorar os planetas Vênus, Marte, Mercúrio (Howell, 2012; NASA, 2019), no ano de 1962, que perduram até o presente momento (NASA 1965, 2020b). Nesta ocasião, o Reino Unido lançou o programa espacial Ariel e o Canadá o programa Alouette 1, ambos em parceria com a NASA (NASA, 1979).

Em 1963, a NASA cria a *Office of Space Science and Applications*, com o desígnio de verificar a potencialidade do sensoriamento remoto nas diversas áreas do conhecimento e estabelecer uma interface com as agências e departamentos governamentais norte-americanas, universidades, centros de pesquisa nacionais e internacionais (Chuvienco, 2008b; NASA, 1968).

Figura 5 – Primeira imagem registrada pelo satélite TIROS-1.



Fonte: NASA, 1960.

Em 1964, a URSS inicia a missão espacial militar denominado de ALMAZ objetivando implantar uma estação espacial com capacidade para 3 cosmonautas (Kramer, 1992). Concomitantemente, a NASA promoveu suas missões espaciais tripuladas, como a Gemini, Mercury, Apollo e Skylab, conseguindo inúmeros registros fotográficos da Terra (NASA, 1979); e a cooperação com a Itália, lançaram o programa espacial San Marco (NASA, 1979).

Em 1965, NASA, *United States Geological Survey* (USGS), *United States Department of the Interior* e o *United States Department of Agriculture* anunciaram o programa intitulado *Earth Resources Observation Satellites* (EROS) com o propósito de colocar em órbita satélites multiespectrais (Chuvienco, 2008b; NASA, 1968). Simultaneamente, a França colocou em órbita o satélite A-1, renomeado logo depois por Astérix (NASA, 1972).

Em 1969, a espaçonave Apollo 9 realizou voo tripulado, sendo o primeiro a efetuar um registro fotográfico multiespectrais (Colwell, 1969; García, Brondo e Pérez, 2012), utilizando um filme pancromático com filtro vermelho e verde, um filme em preto e branco para registro da REM infravermelho próximo e um filme colorido. No ano de 1970, a China e o Japão ingressam na era espacial, com o lançamento do satélite *Dongfanghong I* e *Ohsumi*, respectivamente (Cracknell, 2018). A missão Apollo 17 fez o registro fotográfico colorido, conhecido mundialmente como "The Blue Marble", Figura 6, no ano de 1972 (NASA, 1972). Perante tais novidades, a editora Elsevier lança a revista científica *Remote Sensing of Environment* (Bauer, 2020).

Com base nestes estudos, em 1972, a NASA apresentou o programa *Earth Resources Technology Satellite* (ERST) de órbita heliossíncrona. Os sensores abordo deste satélite foram o Sistema Vidicon de Feixes Retornáveis (*Return Beam Vidicon* - RBV) e o Sistema de Varredura Multiespectral (*Multispectral Scanner System* – MSS), ambos com resolução espacial de 80 m, com uma área imageada (cena) de 185 km² (USGS, 2020).

Segundo Campbell & Wynne (2011), este programa apresentou três importantes contribuições e inovações, servindo como modelo para o desenvolvimento dos satélites de Observação Terrestre:

- Disponibilidade de dados multiespectrais da superfície da Terra;
- Divulgação e agilidade na aquisição das imagens em formato digital, com o desenvolvimento de soluções computacionais para o seu processamento;
- O seu pioneirismo tecnológico e conceitual na compreensão das imagens de satélite, como a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal.

Figura 6 – The Blue Marble.



Fonte: NASA, 1972.

Diante destas inovações, o *Laboratory for Applications of Remote Sensing* da Universidade de Purdue (EUA) promoveu o Simpósio sobre o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto e suas aplicações (LARS, 1981). A editora Taylor & Francis, com apoio da *Canadian Remote Sensing Society* e do *Canadian Aeronautics and Space Institute* publicam o período acadêmico *Canadian Journal of Remote Sensing*.

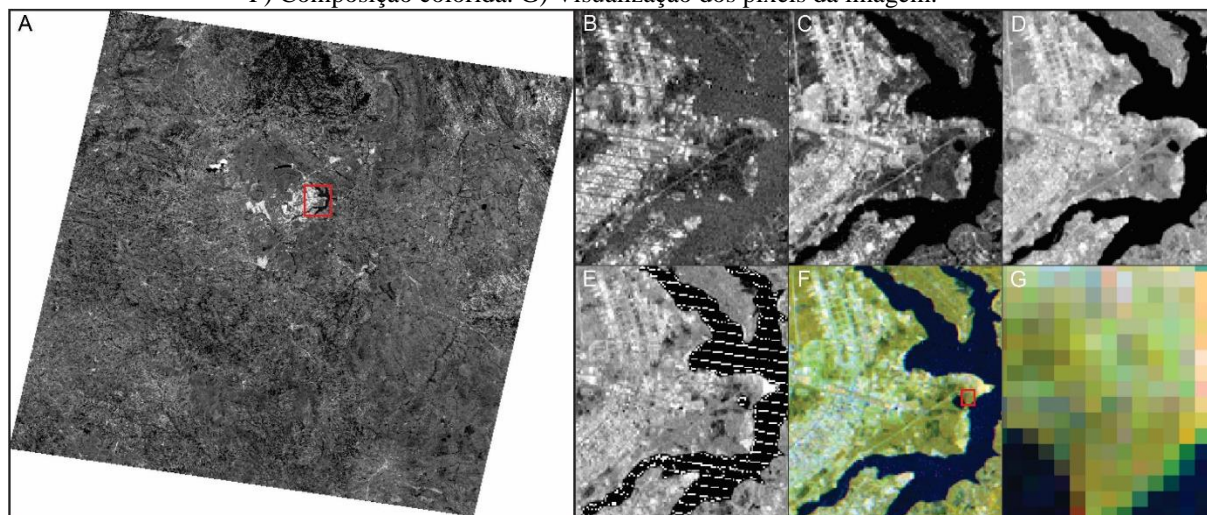
No ano de 1975 a NASA alterou seu nome para LANDSAT, e em 1975 projetou o Landsat-2, com os mesmos parâmetros do primeiro.

A figura 7A apresenta uma cena do sensor MSS, adquirida no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020), do dia 26 de junho de 1973. Este sensor possui quatro faixas ou bandas espectrais, sendo elas: (9B) Banda 4 (faixa espectral: 0,5 - 0,6 μm), (9C) Banda 5 (faixa espectral: 0,6 - 0,7 μm), (9D) Banda 6 (faixa espectral: 0,7 - 0,8 μm), (9E) Banda 7 (faixa espectral: 0,8 - 1,1 μm). Observe que as bandas realçam informações distintas e por meio de técnicas de processamento digital de imagem, pode-se efetuar por exemplo o realce de feições e a combinação no espaço de cores azul, verde e vermelha. Isto possibilita ter 4 imagens com realce de informações diferentes. A Figura 9F mostra a combinação das bandas 4 (na cor azul), 5 (na cor verde) e 7 (na cor vermelha). Esta combinação realça o uso e ocupação da Terra. A figura 9G tem-se uma aproximação da imagem com o objetivo de visualizar a resolução espacial.

De acordo com Clarcknell (2018), no ano de 1978 foram estabelecidas duas órbitas interessantes para a observação da Terra: órbita alta e órbita baixa. De acordo com Epiphanyo (2002), os satélites em órbita baixa são circulares, o que permite uma escala de imageamento constante, com uma órbita quase polar e heliossíncrona, ou seja, em sincronia com o Sol. Por outro lado, a órbita alta corresponde ao satélite geoestacionário, por conta de sua órbita acompanhar o movimento de rotação da Terra. Estes satélites possuem maior aplicação na meteorologia e oceanografia.

Em 1978 foi lançado o Landsat-3, com dois sensores: o MSS, com resolução espacial de 80 m e o sensor RBV, com resolução espacial 40 m (NASA, 1983; Novo, 2010; Short, 1982; USGS, 2020a). De acordo com Jensen (2014), os processamentos passaram a ser digitais, com o desenvolvimento de programas computacionais e integração com os Sistemas de Informação Geográfica (GIS).

Figura 7 – Imagem do satélite ERST-1. A) Área total da cena. B) Banda 4. C) Banda 5. D) Banda 6. E) Banda 7. F) Composição colorida. G) Visualização dos pixels da imagem.



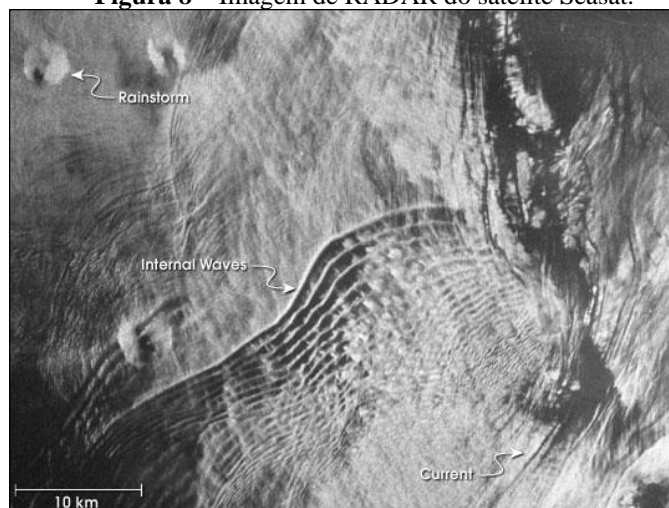
Neste mesmo ano foi lançado o satélite SEASAT e TIROS-N. O SEASAT foi projetado para fins oceanográficos (Figura 8), levando a bordo o primeiro Radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* – SAR), altímetro, radiômetros de multicanais (faixa do visível, infravermelho e micro-ondas) e escaterômetro. De acordo com Ferretti (2014) e Ulaby & Long (2014) relatam que a alta qualidade de suas imagens do SAR e estabilidade orbital permitiu a realização de investigações sobre interferometria, realizados no *Environmental Research Institute of Michigan* e o *Jet Propulsion Laboratory*. O TIROS-N foi lançado pelo NOAA, carregando a bordo a sondagem que constituem o *TIROS Operational Vertical Sounder* (TOVS) e o sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer AVHRR* (Cracknell, 2018). Outro fato marcante neste ano foi a alteração do nome da revista científica *Photogrammetric Engineering* para *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, da ASPRS (Bauer, 2020).

A partir disto, os sensores de Observação da Terra passaram a ser classificados como: ativo, que correspondem ao sensor que emite a REM, como o RADAR; e passivo, que reporta ao sensor que captura a REM proveniente de outra fonte, como o Sol ou do próprio alvo (infravermelho termal). Por consequência, outros países iniciaram o desenvolvimento de programas de observação da Terra por satélite, como a França, Bélgica e Suécia que iniciaram uma parceria em 1978. A Índia apresenta suas pesquisas com o lançamento do programa Bhaskara em 1979 (Jaiswal e Bhatawdekar, 2018).

Com estes avanços tecnológico, inicia-se inovação também na aquisição aerofotográfica, como demonstrado na publicação de Przybilla e Wester-Ebbinghaus (1979) que realizam os primeiros experimentos com Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). Logo, surgiram outras inovações e por isto, o XIV congresso da ISPRS, de 1980, teve uma seção técnica destinada a aplicabilidade das fotografias aéreas não métricas na fotogrametria, onde Wester-Ebbinghaus (1980), mostrou seu trabalho sobre o uso de helicóptero como ARP. Neste momento, foi lançada a primeira edição do *International Journal of Remote Sensing* (IJRS), publicado pela editora Taylor & Francis.

Com o êxito do programa Seasat, a NASA promoveu o programa *Shuttle Imaging Radar* (SIR), em 1981, consistindo em uma série de voos de curta duração (NASA, 2020b). Neste ano, Uuno Vilho Helava desenvolveu o Stereoplotter totalmente digital, o *Digital Stereo Comparator Compiler* (DSCC), iniciando a fotogrametria digital (Miller e Symour, 1995).

Figura 8 – Imagem de RADAR do satélite Seasat.



Fonte: NASA, 2003.

No ano de 1982 a NASA lançou o Landsat-4 com os sensores MSS (resolução espacial de 80 m) e o *Thematic Mapper* – TM (resolução espacial de 30 m), com 7 bandas espectrais; e Fahlstrom e Gleason (2012), relatam as inovações nos ARP, com o uso de sensores na faixa do infravermelho termal e RADAR, para fins de reconhecimento territorial. No ano de 1984 foi lançado o Landsat-5, com os mesmos parâmetros do anterior (USGS, 2020a). A partir destes satélites a NASA volta seu programa para aplicações civis e a comercialização das imagens.

Em 1985, a França lançou o programa *Système Pour l'Observation de la Terre* (SPOT), colocando em órbita o SPOT-1, em 1986, com dois sensores denominados de *Haute Résolution Visible* (HRV), com resolução espacial de 10 m e 20 m (Brachet, 1986). Com isto, inicia-se uma nova geração de satélites, com destaque para as seguintes inovações tecnológicas: inserção do sensor pancromático, com resolução espacial duas vezes maior que a resolução espacial do sensor multiespectral; possibilidade de aquisição de imagens com visadas em planos oblíquos verticais, em ângulos de até 27°, possibilitando visão estereoscópica; redução do tempo de revisita; e sensores com sistema de varredura eletrônica (pushbroom), com imageamento instantâneo de uma linha completa no terreno (ESA, 2020; Zhou e Kafatos, 2002).

Concomitante, ocorreram avanços significativos no processamento digital de imagens, como as técnicas de fusão da banda pancromática com bandas multiespectrais, obtendo uma imagem colorida com a resolução da banda pancromática (Canty, 2009; Liu e Mason, 2016; Tso e Mather, 2009).

Entre os anos de 1987 e 1998 foi um período de estagnação, com a manutenção e continuação dos programas espaciais existentes, como:

- A União Soviética lança o satélite Kosmos-1870 (ZAK, 2020);
- Índia lançou o programa *Indian Remote Sensing* (IRS) com sensores multiespectrais (ESA, 2020), em 1988;
- A França lançou os satélites SPOT-2, SPOT-3 e SPOT-4, em 1990, 1993 e 1998, respectivamente, ambos com os mesmos parâmetros do primeiro, sendo que o último foi adicionado o sensor Vegetation (ESA, 2020);
- *European Space Agency* (ESA) apresentou o programa do satélite *European Remote Sensing* – ERS, com sensores de RADAR e multiespectrais, em 1991 (ESA, 2020). Este sensor RADAR foi o primeiro com tecnologia de interferometria por SAR - InSAR (Ferretti, 2014; Ketelaar, 2009; Lu e Dzurisin, 2014);
- Japão colocou em órbita o satélite Japanese Earth Resources Satellite - JERS-1, com sensores de

RADAR e multiespectrais, em 1992 (JAXA, 2004);

- Canadá pôs em órbita o satélite RADARSAT-1, em 1995 (CSA, 2014).

De acordo com a ESA (2020), Zhou e Kafatos (2002), o ano de 1999 principia uma nova etapa do sensoriamento remoto:

- O lançamento do programa Ikonos e do satélite Terra. O primeiro apresentou inovações com sensores de alta resolução espacial (de 0,80 m no sensor pancromático) e tempo de revisada de 3 dias. O satélite Terra trouxe as seguintes transformações: multissensorial, com cinco sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT; e o sensor ASTER, operando com 14 bandas, sendo que uma banda é captada duplamente (no Nadir e off-nadir), permitindo estereoscopia e a geração de modelos digitais de terreno; e o sensor MODIS, com 36 bandas (ESA, 2020);
- A realização a *International Symposium on Digital Earth*, organizado pela Academia de Ciência da China, tendo como tema central a combinação das geotecnologias: geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistema de navegação por satélite;
- As universidades de Stanford e da Califórnia iniciaram pesquisas sobre satélites em miniatura, denominado de CubeSat, com o propósito de desenvolver sistemas espaciais eficazes de forma rápida e a baixo custo (NASA, 2017b);
- A estabilidade e manobrabilidade remota dos ARP, que impulsionou investimentos do setor privado, permitindo abertura de novos mercados.

De acordo com *Union of Concerned Scientists* (2020), até o final do mês de março de 2020, existem 2.666 satélites de Observação da Terra em operação. Para Zhou & Kafatos (2002) a tecnologia na aquisição da Observação da Terra alcançou a sua maturidade, de forma que as futuras tendências do sensoriamento remoto provavelmente estarão vinculadas a configuração espacial dos satélites. Especialmente no que diz respeito a capacidade de executar alguns processamentos digitais. Permitindo assim, a realização de algumas aferições e análise oportunas sobre o ambiente terrestre, em tempo real.

Com relação às tecnologias dos ARP, atualmente a maioria possui câmaras fotogramétricas digitais com sistemas de RADAR, LiDAR e, de acordo como Zhou e Kafatos (2002) há uma tendência de atingirem altas altitudes e maior autonomia de voo, para uso monitoramento territorial, com as mesmas características dos satélites geoestacionários.

6. Resultado e Discussão

Após análise das definições, a partir da perspectiva de diversos autores, percebe-se que, individualmente, os conceitos de fotogrametria e sensoriamento remoto apresentavam pontos em comum. No entanto, a fim de atender o objetivo deste trabalho era necessário encontrar uma definição que conseguisse abarcar de maneira conjunta toda ou boa parte das descrições que representam o sensoriamento remoto nas suas mais diversas aplicações. Diante deste contexto, a definição que mais se aproxima das metas foi elaborada por Novo (2010, p. 28), que define Sensoriamento Remoto como:

“...utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.” (NOVO, 2010, p. 28).

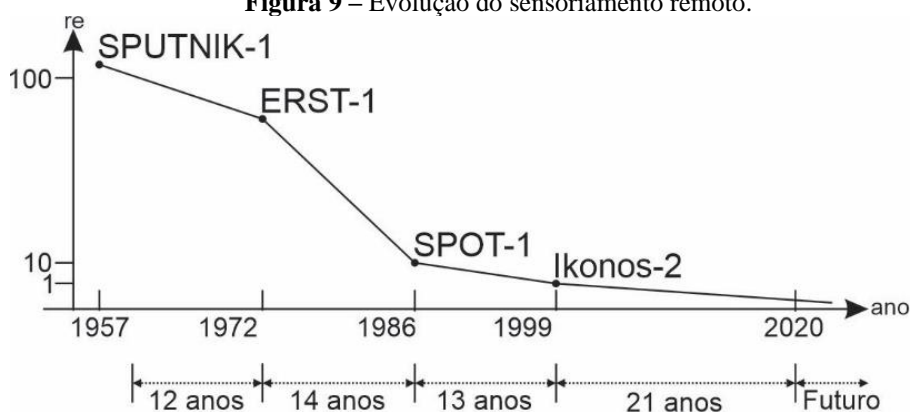
Esta definição, por sua vez, está centrada na percepção, compreensão, observação e análise da superfície terrestre, por meio do registro da radiação eletromagnética, conduzindo as investigações sobre um determinado evento.

O sensoriamento remoto não pode ser definido de forma monolítica, mas sim, a partir da investigação de diversos conceitos, pois dependerá extremamente da finalidade, das metas, formas de intervenção,

diagnósticos e prospecções de quem se propõe a formulação de seu conceito. Portanto, é necessário levar em consideração a dinamicidade com a qual este acompanha a evolução das geotecnologias que se apresentam a cada momento com novas possibilidades. Com base na classificação proposta por Konecny (1985) e Zhou & Kafatos (2002) pode se estabelecer períodos de gerações de satélites de sensoriamento remoto, dividindo-a em 4 etapas, como mostrado na figura 9:

De 1957 à 1972, iniciando com o lançamento do satélite SPUTNIK-1. Neste período, o sistema de imageamento estava baseado nas configurações fotogramétricas. Para a ESA (2000) estes programas foram utilizados principalmente para fins militares e governamentais e desenvolvimento principalmente pelos EUA e União Soviética, por conta da situação geopolítica; De 1972 a 1986, surgindo com o ERST-1 com tecnologia própria, com a introdução de novos conceitos, como resolução espacial, temporal, radiométrica e espectral; e a possibilidades de utilização em diversas áreas; De 1986 à 1999, começando com o SPOT-1 com a comercialização das imagens e as novas tecnologias das bandas pancromáticas e estereoscopia e de 1999 em diante, com o lançamento dos satélites Ikonos-2 com as imagens de alta resolução espacial.

Figura 9 – Evolução do sensoriamento remoto.



Fonte: Adaptada de Zhou e Kafatos, 2002.

Com esta análise conceitual do Sensoriamento Remoto, pode-se afirmar a existência de sua dependência com relação a tecnologia, uma vez que elas se encontram intimamente ligadas e vem passando por uma evolução gradativa ao longo dos anos. Em função disto, frequentemente foi considerado sinônimo de imagens adquiridas por satélite, e a constante evolução tecnológica impossibilita a criação de uma definição absoluta sobre o sensoriamento remoto, tendo em vista que estas transformações acabam limitando seu próprio conceito.

Importante ressaltar que as imagens de satélite consistem no produto de uma série de avanços tecnológicos, metodológicos e automatização instrumental (mecânica e eletrônica) que vem desde a espectroscopia de campo, sistema de lançamento, operação e recepção-transmissão das informações advindas dos satélites. Estas criatividades e inovações culminaram numa revolução e evolução tecnocientíficas em diversas áreas, como nas ópticas, componentes eletrônicas, modelos de reconhecimento, processamento de sinal, tecnologia computacional e telecomunicação, resultando numa infinidade de novos sensores e outras inovações.

Rees (2001) ressalva que esta dinâmica de trabalho tem induzido alguns pesquisadores a empregarem a expressão “Observação da Terra”, ao invés da expressão “Sensoriamento Remoto”. O mesmo ocorreu com alguns centros de pesquisa, como o INPE, a NASA e a ESA que utilizam esta expressão para denominar a coordenação geral de seus centros de pesquisa.

Todavia, a história mostra que a aerofotografia esteve presente nos primeiros satélites e fazem parte das inovações tecnológicas contidas nos ARP, e provavelmente substituirão os satélites, por conta de sua adaptabilidade e operacionalidade aos mais diversos tipos de dados de sensoriamento remoto, com altíssima

resolução espacial e a baixo custo.

7. Considerações Finais

Nesta pesquisa sobre a trajetória evolutiva do sensoriamento remoto foi necessário reportar a percepção do homem sobre a projeção de imagem, a propagação da luz, ao processo de fixação fotográfica até a aquisição das imagens digitais. Este processo evolutivo ocorreu gradualmente e contou com a contribuição de descobertas científicas que ocorreram em diversas outras áreas do conhecimento, como: física, química, geometria, óptica, arte, instrumentação, automação e informática.

Cabe ressaltar que muitas das inovações na aquisição e evolução dos sensores de imageamento foram impulsionados pela necessidade da sociedade em solucionar conflitos, sejam eles militares, sociais urbanos, meteorológicos, econômicos, entre outros. Neste sentido, as instituições passaram a premiar descobertas e invenções que auxiliaram na resolução destes conflitos, despertando o interesse de diversos cientistas para o desenvolvimento e a aplicação das mais diferentes ferramentas para a aquisição fotográfica. A indústria bélica teve papel fundamental na evolução técnica da fotogrametria, possibilitando que estas ferramentas tenham um amplo espectro de uso científico e popular. Inicialmente, o uso era restrito das imagens aéreas para o planejamento militar, mas depois, os países passaram a utilizá-las na localização de seus recursos naturais e assim, novamente as imagens foram aplicadas no reconhecimento territorial. Com o início do sensoriamento remoto por satélite, na década de 1970, as aplicações de suas imagens foram aumentadas consideravelmente, desde aplicações locais a globais, do monitoramento ambiental ao monitoramento urbano e áreas agricultáveis.

Neste contexto, é importante lembrar a capacidade que o sensoriamento remoto proporcionou as descobertas científicas. Possibilitando a formação de grandes grupos de pesquisas, interinstitucionais que servem de base para o desenvolvimento de novas técnicas e ampliam as potencialidades de estudo nas mais diversas áreas da ciência. Desta forma, onde inicialmente o estudo era desenvolvido em pequenos grupos institucionais, atualmente, tem-se o engajamento e o esforço de diversos órgãos de pesquisa na busca por inovações, garantindo seu contínuo aprimoramento. Assim, a evolução na aquisição de dados e o desenvolvimento de sensores está baseado na necessidade do usuário, que pode demandar novos serviços, observações e melhorias tecnológicas.

Desta forma, a abordagem do tema sensoriamento remoto não pode ser feito individualmente, uma vez que ela é tida como uma ciência colaborativa para a caracterização e validação de diversos estudos aplicados. Com a evolução digital, em especial dos smartphones, os dados de sensoriamento remoto alcançaram um uso altamente popular e cada vez mais fazem parte das nossas atividades cotidianas. Portanto, é necessário levar em consideração a dinâmica com a qual evolução das geotecnologias são introduzidas nas atividades antrópicas ao longo do tempo.

Referências

Aber, J. S., Marzoff, I., & Ries, J. B. (2010). **Small-format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications**. Elsevier: Amsterdam.

American Society of Photogrammetry – ASP. (1942). Definitions of terms used in Photogrammetrica Surveying and Mapping – preliminary report. **Photogrammetric Engineering**, 8 (4): 247 – 283.

Authier, A. (2013). **Early days of x-ray crystallography**. Oxford: Oxford University Press.

Barrett, L. R., & Curtis, E. C. (1982). **Introduction to Environmental Remote Sensing**. 2ª ed. Norwich: Fletcher & Son Ltd.

- Bauer, M. E. (2020). Remote Sensing of Environment: History, Philosophy, Approach and Contributions, 1969 – 2019. **Remote Sensing of Environment**, 237(2) 111522.
- Becot, C. (1995). **Photographie aérienne avec cerf-volant, comment s'y prendre?**. Tourlaville. Disponível em: <http://www.becot.info/opus/francais/&opusF.htm>. Acesso em 05 sept. 2019.
- Brachet, G. (1986). Spot: the first operational remote sensing satellite. *In*: Szekiolda, K. H. **Satellite remote sensing for resources development**. Salford: Graham & Trotman, p. 59 – 80.
- Breit, G., & Tuve, M. A. (1926). A Test of the Existence of the Conducting Layer. **Physical Review**, 28 (3): 554-575.
- Canty, M. J. (2009). **Image analysis, classification, and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). **Introduction to remote sensing**. 5 ed. New York: The Guilford Press.
- Canadian Space Agency – CSA. (2014). **Satellites**. Montreal. Disponível em: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/default.asp>. Acesso em: 28 jun. 2020.
- Central Intelligence Agency – CIA. (2015). **News & Information: CORONA, declassified**. Washington. Disponível em: <https://www.cia.gov/news-information/featured-story-archive/2015-featured-story-archive/corona-declassified.html>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- Chuvieco, E. (2008a). **Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio**. 3ª ed. Madrid: Ariel.
- Chuvieco, E. (ed.). (2008b). **Earth observation of global change: the role of satellite remote sensing in monitoring the global environment**. Cham: SPRINGER.
- Chuvieco, E., & Huete, A. (2010). **Fundamentals of Satellite Remote Sensing**. Boca Raton: CRC Press.
- Colwell, R. N. 1969. **A survey of Earth resources on Apollo 9 photography**. Washington: NASA.
- Colwell, R. N. (ed.). (1983). **Manual of Remote Sensing**. Falls Church: ASPRS.
- Colwell, R.N. 1997. History and Place of Photographic Interpretation. *In*: Philipson, W.R. (ed.). **Manual of Photographic Interpretation**. 2ª ed. Bethesda: ASPRS, p. 3-47.
- Cracknell, A. P. (2018). The development of remote sensing in the last 40 years. **International Journal of Remote Sensing**, 39 (23): 8387-8427.
- Dong, P. & Chen, Q. (2018). **LiDAR remote sensing and applications**. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Eder, J. M. (1978). **History of photography**. New York: Dover publications.
- Elachi, C., & Zyl, J. (2006). **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. 2ª ed. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Epiphanyo, J. C. N. (2002). **Satélites de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.34/doc/CAP2_JCNEpiphanyo.pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.
- Estes, J. E., & Hemphill, J. (2005). **Some Important Dates in the Chronological History of Aerial Photography and Remote Sensing**. California. Disponível em: <http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remotesensinghistory.html>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- European Space Agency – ESA. (2000). **Earth Observation History on Technology Introduction**. Paris, ESA. Disponível em: <<https://earth.esa.int/documents/163813/238965/History.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2020.
- ESA. 2020. **Earth Observation Portal**. Paris. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/home>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- Fahlstrom, P. G., & Gleason, T. J. (2012). **Introduction to UAV systems**. 4ª ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Fainguelernt, M. (2014). A câmera escura e a fotografia. **Anais do Scientiarum Historia**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, VII.
- Ferretti, A. (2014). **Satellite InSAR data: reservoir monitoring from space**. Houten: EAGE.
- Finney, A. (2007). Infrared photography. In: Peres, M.R. (ed.), **Focal encyclopedia of photography**. 4ª ed. Elsevier: Amsterdam, p. 556-562.
- Fiocco, G., & Smullin, L. D (1963). Detection of scattering layers in the upper atmosphere (60-140 km) by optical radar. **Nature**, 199: 1275-1276.
- Florenzano, T. G. (2011). *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos.
- Frizot, M. (1998). **A New History Of Photography**. New York: Könemann.
- Garcia, G. J. (1982). **Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel.
- García, M. L., Brondo, J. A. É., & Pérez, M. A. (2012). **Satélites de teledetección: para la gestión del territorio**. Canarias: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.
- Gorin, P. (1997). "Zenit:Corona's Soviet Counterpart". In: Robert A McDonald (ed.). **Corona Between the Sun and the Earth: the first NRO reconnaissance eye in space**. Bethesda: ASPRS. pp. 84–107.
- Guerra, F., & Pilot, L. (2000). Historic photoplanes. **Proceedings of International archives of photogrammetry and remote sensing**. Amsterdam, Holanda, XXXIII.
- Hammond, J., & Austin, J. (1987). **The camera lucida in art and science**. Boca Raton: CRC Press.
- Hart, C. (1982). **Kites: An historical survey**. 2ª ed. New York: Paul P Appel Pub.

- Heinz Nixdorf museums Forum – HNF. (2020). **The invention of the computer**. Salzburgo. Disponível em <<https://www.hnf.de/en/permanent-exhibition/exhibition-areas/the-invention-of-the-computer.html>> Acesso em 14 abr. 2020.
- Howell, E. (2012). **Mariner 2: first spacecraft to another planet**. Washington: NASA.
- Hurbul, E. O. (1937). Observations of a searchlight beam to na altitude of 28 kilometers. *Journal of the Optical Society of America*, 27 (11): 377-382.
- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS. (1980). **ISPRS Congress Hamburg**. Praga. Disponível em: <https://www.isprs.org/congresses/hamburg1980/Default.aspx>. Acesso em 28 jul. 2020.
- Jaiswal, R. K., & Bhatawdekar, S. (2018). Indian Earth Observation Program. *In*: Liang, S. **Comprehensive Remote Sensing**. College Park: Elsevier, p 280-298.
- Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA. (2004). **Japanese Earth Resources Satellite**. Tóquio. Disponível em: <https://www.eorc.jaxa.jp/JERS-1/en/index.html>. Acesso em: 27 jun. 2020
- Jensen, J. R. (2014). **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2ª ed. Bergen: Pearson Prentice Hall.
- Johns Hopkins Applied Physics Laboratory – JHAPL. (1946). **First Photo From Space**. Maryland. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_photo_from_space.jpg. Acesso em: 10 jan. 2020.
- Jones, F. E. (1949). Radar as na aid to the study of the atmosphere. **Journal of Royal Aeronautical Society**, 53: 433-448.
- JHAPL. (1947). **First Pictures of Earth From 100 Miles in Space, 1947**. Maryland. Disponível em: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1298.html. Acesso em: 10 jan. 2020.
- Johnson, E. A., Meyer, R. C. Hopkins, R. E., & Mock, W. H. (1939). The measurement of light scattered by the upper atmosphere from a search-light beam. **Journal of the Optical Society of America**, 29 (12): 512-517.
- Johnson, E. A., Mock, W. H., & Hopkins, R. E. (1939). The limiting sensitivity of the alternating-current method of photo-cell-current aplification. **Journal of the Optical Society of America**, 29 (12): 506-511.
- Jong, S. M., Van Der Meer, F. D., & Clevers, J. G. P. W. (2004). Basics of Remote Sensing. *In*: Jong, S. M., & Van Der Meer, F. D. **Remote sensing image analysis: including the spatial domain**. Cham: Springer, p. 1-15.
- Ketelaar, V. B. H. (2009). **Satellite radar interferometry: subsidence monitoring techniques**. Assen: Springer.
- Khorrarn, S., Van der Wiele, C. F., Koch, F. H. Nelson, S. A. C., & Potts, M. D. (2016). **Principles of applied remote sensing**. Cham: SPRINGER.
- Konecny, G. (1985). The international society for photogrammetry and remote sensing: 75 years old, or 75 years young? **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, 51(7): 919-933.

- Kossoy, B. (2006). **Hercule Florence: a descoberta isolada da fotografia no Brasil**. 3ª ed. São Paulo, EDUSP.
- Kramer, H. J. (1992). **Earth Observation Remote Sensing: survey of missions and sensors**. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Laboratory for Applications of Remote Sensing – LARS. (1981). **LARS SYMPOSIA**. Indiana. Disponível em <https://docs.lib.purdue.edu/lars_symp/>. Acesso em 01 set. 2020
- Leggat, R. (1995). **A history of photography: from its beginnings till the 1920s**. London. Disponível em: <http://www.mpritchard.com/photohistory/index.html>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (2015). **Remote sensing and image interpretation**. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). **Remote sensing and image interpretation**. 7ª ed. New York, John Wiley & Sons.
- Lindberg, D.C. (1972). **Introduction - optica thesaurus: Alhazen and Witelo**. New York: Johnson Reprint Corporation.
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2016). **Image processing and GIS for remote sensing: techniques and applications**. Chichester: Wiley-blackwell.
- Lu, Z., & Dzurisin, D. (2014). **InSAR imaging of Aleutian Volcanoes: monitoring a volcanic arc from space**. Chichester: Springer/PRAXIS.
- Loor, J. S., & Fdez-Arroyabe, P. (2019). Aerial and satellite imagery and big data: blending of Technologies with new trends. *In*: Dey, N.; Ashour, A. S.; Bhatt, C. **Big data for remote sensing: visualization, analysis and interpretation: digital Earth and smart Earth**. Cham: SPRINGER, p. 39-61.
- Marchetti, D. A. B., & Garcia, G. J. (1977). **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel.
- Martins, R. A., & Silva, C. C. (2015). As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 37(4): 1-32.
- Mattison, D. (2008). Aerial photography. *In*: Hannavy, J., ed. **Encyclopedia of Nineteenth-century Photography**. V 1. New York: Routledge, p. 12–15.
- Maiman, T. H. (1960). Stimulated optical radiation in ruby. **Nature**, 187: 493–494.
- McClung, F. J., & Hellwarth, R. W. (1962). Giant optical pulsations from ruby. **Journal of Applied Physics**, 33 (828): 828-829.
- Middleton, W. E., & Spilhaus, A. F. (1953). **Meteorological instruments**. 3ª ed. Toronto: University of Toronto.

- Miller, S. B., & Seymour, R. H. (1995). Uuno Vilho Helava contributes to photogrammetry in the United States. **Journal of Photogrammetry and Remoto Sensing**, 50 (6): 19-24.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. (1960). **First television picture from space**. Washington: NASA.
- NASA. (1965). **Mariner – Venus 1962: final project report**. Washington, NASA.
- NASA. 1968. **Earth Resources Satellite System**. Washington: NASA.
- NASA. (1972). **The Blue Marble: the view from Apollo 17**. Washington: NASA.
- NASA. (1978). **NASA space and terrestrial applications user development activities**. Washington: NASA.
- NASA. (1979). **NASA Skylab reentry**. Washington: NASA.
- NASA. (1983). **NASA, the first 25 years 1958 – 1983: a resource for teacher**. Washington: NASA.
- NASA. (1999). **Remote sensing, introduction and history**. Washington: NASA.
- NASA. (2003). **Ocean features from Seasat**. Washington: NASA.
- NASA. (2016). **Tour of the electromagnetic spectrum**. 3^a ed. Washington: NASA.
- NASA. (2016). **NASA Science – share the Science: TIROS**. Washington: NASA.
- NASA. (2017a). **NASA Sciense – Earth’s Moon: First Photo of the Lunar Farside**. Washington, NASA.
- NASA. (2017b). **CubeSat: Basic concepts and processes for first-time CubeSat developers**. Washington: NASA.
- NASA. (2019). **NASA Science: solar system exploration**. Washington: NASA.
- NASA. (2020a). **Landsat Science: Landsat 9 is coming**. Washington: NASA.
- NASA. (2020b). **JPL Missions**. Washington: NASA.
- NAOMI, R (2019). **A world history of photography**. 5^a ed. New York: Abbeville press publishers.
- National Oceanic And Atmospheric Administration – NOAA. (1987). **Space-based remote of the Earth: a report to the congress**. Washington: U. S. Government Printing Office.
- NOAA. 2020. **Satellite and information servisse: history of NOAA satellites**. Washington: NOAA.
- National Research Council – NRC. (1995). **Earth observations from space: history, promise and reality**. Washington: NRC.
- National Reconnaissance Office – NRO. (2020). **CORONA Imagery**. Washington: NRO.

- Newhall, B. (1949). **The History of photography: from 1839 to the presente day**. New York: The museum of modern.
- Novo, E. M. L. M. 2010. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- Olsen, R. C. 2007. **Remote Sensing from Air And Space**. Washington: SPIE Press.
- Organização das Nações Unidas – ONU. (1986). **Adopts the Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Space set forth in the annex to the resolution**. Resolutions and Decisions, 95th plenary 95, New York, ONU. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/126423>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- Pickles, J. (2004). *Tool or Science? GIS, Technoscience, and the Theoretical Turn*. **Annals of the Association fo American Geographers**, 87 (2): 363-372.
- Przybilla, H. J., & Wester-Ebbinghaus, W. (1979). Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. **Bildmessung und Luftbildwesen**, 47 (5): 137-147.
- Purkis, S., & Klemas, V. (2011). **Remote sensing and global environmental change**. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Rees, W. G. (2001). **Physical principles of remote sensing**. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reichhardt, T. (2006). First Photo From Space. **Air & Space magazine**. Smithsonian Institution, 11(24).
- Remote Sensing Core Curriculum – RSCC. (2014). **What Is Remote Sensing?** Minneapolis, University of Minnesota. Disponível em: <https://rsc.umn.edu/lessons/lessons-intro/whatirs>. Acesso em: 23 jun. 2020.
- Renner, E. (2012). **Pinhole photography: from digital technique to digital application**. Oxford: Focal Press.
- Ruffner, K. C. (1995). **CORONA: America's first satellite program**. Washington: CIA.
- Sabins, F. F. (1996). **Remote Spensing: Principles and Iinterpretations**. New York, W. H. Freeman.
- Scanvic, J. Y. (1991). **Teledeteccion Aplicada**. Madrid: Paraninfo.
- Scorsatto, H. (2012). O uso da fotografia em processos de identificação e o método Bertillon - século XIX. **Revista Digital de Estudos Historicos**, 9 (12).
- Shepherd, J.M. (2006). Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes. **Journal of Arid Environments**, 67 (4): 607–628.
- Short, N. M. (1982). **The Landsat tutorial workbook: basic of satellite remote sensing**. Washington: NASA.
- Silva, D. C. (2015). Evolução da fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, 3(2): 81-96.
- Singe, E. H. (1930). A method of investigating the higher atmosphere. **Philosophical Magazine**, 7 (35): 1014-1020.

Stafford, W. H., & Croft, R. M. (1961). **Technical Note D-601: artificial earth satellites and successful solar probes 1957-1960**. Washington: NASA.

Stone, K. (1974). Developing geographical remote sensing. In: Estes, J. E., & Senger, L. W. **Remote sensing: techniques for environmental analysis**. Santa Barbara: Hamilton, p. 1-13.

Torretavira. (2015). **Historia de las cámaras oscuras**. Cadiz: Torre Tavira. Disponível em: <http://www.torretavira.com/wp-content/uploads/2015/09/cmaras_oscuras.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017.

Tso, B., & Mather, P. (2009). **Classification methods for remotely sensed data**. 2ª ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.

Tuve, M. A., Johnson, E. A., & Wulf, O. R. (1935). A new experimental method for study of the upper atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, 40 (4): 452-454.

Ulaby, F. T., & Long, D. G. (2014). **Microwave radar and radiometric remote sensing**. Michigan: University of Michigan Press.

Union of Concerned Scientists – UCS. (2020). **UCS Satellite Database**. Cambridge. Disponível em: <<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>>. Acesso em: 28 jul. 2020.

United States Geological Survey – USGS. (2020). **Landsat missions**. Reston. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>>. Acesso em: 19 jun. 2020.

Wester-Ebbinghaus, W. (1980). Fernlenkflug mit modellhubschrauber. **Anais do ISPRS Congress**, Hamburg, Alemanha, XIV.

Wilgus, J., & Wilgus, B. (2004). **Bright bytes studio**. Cambridge, EUA. Disponível em: <http://brightbytes.com/>. Acesso em: 03 abr. 2019.

Wood, R.D. (1997). A state pension for L.J.M. Daguerre for the secret of his Daguerreotype technique. **Annals of Science**, 54 (5): 489–506.

Zak, A. (ed). (2020). **Robotic Almaz**. Moscou, June. Disponível em: <http://www.russianspaceweb.com/almazt.html>: Acesso em: 27 jun. 2020.

Zhou, G., & Kafatos, M. (2002, novembro). Future Intelligent earth observing satellites. **Anais da Conference Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale**, Denver, EUA, IV.