

# FÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO AMBIENTAL: DO SATÉLITE TIROS-1 AO CARCARÁ

---

*Data de aceite: 01/03/2023*

*Data de submissão: xx/xx/2022*

**Renato Afonso**

**Flávio Ferreira**

**Gerson Pompeu Pinto**

**Nazaré Doriene de Melo Reis**

**Victor Hugo Chacon Britto**

com altas taxas de produtividade, e hoje enviando informações em tempo real, faz de nós cidadãos um vigilante que enxerga dinâmica do nosso planeta com outros olhos, aqueles situados a centenas de quilômetros de altitude.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto. Satélite. Monitoramento.

**RESUMO:** Por meio deste trabalho pode-se constatar o esforço de várias nações com o objetivo de defender a natureza em nosso planeta e os recursos naturais de que tanto dependemos, e, portanto, temos o dever de preservar. Os satélites de monitoramento contribuem tanto para mostrar o que o homem tem feito ao planeta, como para, em caso de agressões e desastres ambientais, gerar produtos – dados e imagens – acerca de gerenciamento de recursos, vigilância e detecção de processos sobre a terra, os oceanos e atmosfera, que possam embasar e orientar. O advento dos satélites artificiais a partir do final da década de cinquenta do século vinte, foi sem dúvida um paradigma para a Ciência e para nossa história. O progresso tecnológico aeroespacial evoluiu

## 1 | INTRODUÇÃO

As questões envolvendo o meio ambiente, em sentido amplo, são de fundamental importância para a dinâmica do nosso planeta e, portanto, devem ser objetos de constante observação, investigação e proteção quando necessária, pois de seus ciclos e alterações naturais dependem a vida na Terra e de um modo geral a sobrevivência humana e de outras espécies.

Muito se tem debatido intensamente pela sociedade e autoridades mundiais, já desde o fim da segunda guerra mundial, como o estabelecimento em 1948, da

União Internacional para a Conservação da Natureza. A partir de então, a preocupação com a natureza e as consequências dos desequilíbrios ambientais, notadamente aqueles produzidos por ações antrópicas, suscitam alertas constantes frente ao desenvolvimento tecnológico e industrial que se rapidamente se intensificava no pós-guerra. Assim a comunidade científica se posicionou em vários campos, e uma demanda se firmou também na área espacial e assim esforços e investimentos foram disponibilizados pelas grandes potências econômicas para a produção e lançamento de satélites de monitoramento terrestre. Com ênfase neste tema, este texto discorre acerca dos esforços envidados na consecução de tecnologias espaciais de monitoramento remoto do solo terrestre bem como dos oceanos e a atmosfera, com o objetivo de coleta de dados de todas as formas possíveis que possam servir de indicadores voltados à pesquisa, conhecimentos e alertas sobre a realidade ambiental em nosso planeta, (ÁLVARES, et al 2013).

## 2 | A QUESTÃO AMBIENTAL NO CENÁRIO PÓS-GUERRA

Dentre todas as espécies, o homem é a única com capacidade para modificar o mundo e sua natureza, em toda a sua dimensão histórica. Muito se tem feito para tal, com seus riscos, desafios e consequências de toda a sorte. Para cada região do mundo podemos encontrar relatos de confronto entre o homem e a natureza, que se exacerbou após a segunda guerra na ideia da busca pelo desenvolvimento a qualquer preço. O homem, é fato, na persecução de seus propósitos ignora a natureza há tempos longínquos. No Brasil logo após sua descoberta teve início a exploração da madeira do pau-brasil e outras espécies nativas que provocou profundos impactos até hoje sentidos, haja vista que apenas 5% daquele bioma foi mantido. Contudo, o ritmo das mudanças se acelerou com o advento da revolução industrial, baseada na busca de matérias primas na natureza levadas até as indústrias de transformação, mostradas nas imagens das altas chaminés que exalavam nocivos poluentes na atmosfera sem qualquer controle ou tratamento, aliado ao aumento da produção e do consumo diante de um novo modelo de capitalismo e trabalho. Essa questão se tornou mais sensível nos tempos pós-guerras, nas quais os países que sofreram enormes danos materiais se viram diante do desafio da reconstrução de sua infraestrutura econômica e social. Para tal, não pouparam esforços em tal objetivo, e o que se viu foi o surgimento de novas potências econômicas e militares que necessitavam de restabelecer a normalização da vida em todos os setores. (CAMPOS et al 2017).

A natureza começa a lançar seus alertas, e em 5 de dezembro de 1952 a atmosfera de Londres é invadida por uma neblina ácida malcheirosa – a big smoke – causando a morte de mais de oito mil pessoas ao longo de meses. O inverno colaborou para a

ocorrência de uma inversão térmica, tendo como catalisadores a maior queima de carvão nas residências nesta época, os resíduos poluentes lançados pelos automóveis e poluentes das usinas locais que usavam carvão, rico em enxofre, para a produção de energia elétrica. A combinação desses fatores foi trágica e gerou uma reflexão sobre a importância de se rever o tratamento dado à atmosfera no que diz respeito às formas de produção econômica e sua capacidade de poluição atmosférica. Em 1962 a bióloga americana Rachel Carlson publicou um livro que causou grande impacto, ao denunciar de forma crítica e fundamentada a utilização de agrotóxicos – defensivos agrícolas e pesticidas – nos Estados Unidos até então. As descobertas provocaram uma rápida expansão de movimentos ambientalistas mais organizados e objetivados a conter a proliferação de agentes químicos na agricultura, pelo alto grau de nocividade ao solo, aos animais daquele habitat e ao homem que ingeria os alimentos ali produzidos. (JUNGES et al 2018).

A Conferência de Estocolmo em 1972, organizada pela Organização das Nações Unidas, reuniu líderes de 113 países e centenas de organizações. Nela foram debatidas políticas de gerenciamento ambiental visando a mitigação dos impactos ambientais. O crescimento populacional, aumentos de consumo e produção e a consequente demanda energética – elemento este de grande interesse estratégico – estimulou a geração de energia em grande escala, seja por meio de usinas hidrelétricas com sua notável capacidade de impactar o ambiente, ou por meio de usinas nucleares, temidas por seus possíveis acidentes capazes de gerar danos irreversíveis na cadeia biológica por décadas, (RAMOS et al 2004).

Neste sentido, Dupuy (2007), em 1986, na Ucrânia, então república soviética, um acidente em um reator da usina nuclear de Chernobyl deu causa à maior tragédia envolvendo esse tipo de tecnologia. As sequelas até hoje são perceptíveis, no solo, subsolo, na atmosfera e na saúde de centenas de milhares de pessoas na própria região do acidente como em outros países, tal qual a Belarus que foi o mais atingido por ter recebido a maior parte da radiação venenosa que vazou da usina. Os oceanos passaram a sofrer grandes impactos provocados acidentes, seja envolvendo navios petroleiros, plataforma petrolíferas ou vazamento de óleo sob outras formas, não foram tão raros nas últimas décadas. Em 1989, na costa do Alasca, quando o navio petroleiro Exxon Valdez após colidir com um bloco de gelo, derramou quarenta milhões de litros de petróleo na costa do Alasca. Mil e setecentos quilômetros de litoral foram contaminados e uma tragédia se abalou sobre todo aquele bioma marinho. Aquele a ser considerado o maior desastre ambiental da história ocorreu no oriente médio por ocasião da guerra do Golfo pérsico em 1991. Após abandonar se retirarem do Kuwait, forças iraquianas receberam ordens para incendiar oleodutos e centenas de poços de petróleo como tática de guerra. O incêndio

durou três meses causando enormes danos à atmosfera, ao solo, ao mar e à vida presente nesses sistemas. Estima-se que cerca de 250 milhões de galões de petróleo – cada galão equivale a 3,8 litros – foram lançados ao mar.

De acordo com Bezerra et al (2014), em todos os casos – mais intensamente a partir da década de 80 – os satélites de imageamento deram grande suporte às ações de mitigação dos danos causados pelos acidentes ambientais e coleta de dados e informações voltadas às atividades preventivas. A capacidade de imageamento territorial e tráfego de dados evoluiu consideravelmente devido ao desenvolvimento tecnológico. O que era privilégio de algumas nações, a política de construção e colocação em órbita de satélites artificiais, passou a ser almejado por outros países em desenvolvimento, inclusive o Brasil, quando produziu o primeiro satélite, o SCD-1 (satélite de coleta de dados) lançado em 1993 por um foguete norte americano, com o objetivo de coletar informações sobre o meio ambiente.

Esses foram relatos acerca de alguns dos acidentes em que a natureza foi atingida severamente. Diversos outros ocorreram no Brasil e no mundo, o que será tratado neste texto mostrando o quanto as intervenções dos satélites se fizeram úteis e necessárias em diversos aspectos.

### 3 | O SATÉLITE DE NEWTON

Falar sobre satélites artificiais no século dezessete, tendo em vista o cenário político-religioso da época, certamente renderia graves transtornos pessoais a quem o fizesse. Contudo houve quem tratasse disso de forma a se manter incólume às atribuições pelos quais passavam os intelectuais naquela Europa que se mostrava o palco da modernidade.

Na concepção de Westfall (2001), Newton, notável físico, astrônomo e matemático inglês, viveu de 1642 a 1727, foi o primeiro a teorizar sobre a possibilidade de se manter orbitando em torno da Terra um corpo lançado pela ação humana. Em sua obra “Princípios matemáticos da filosofia natural” – também conhecida como “Principia” – produzida em 1687, ele relata suas intuições acerca das causas do movimento dos corpos na Terra e em escala astronômica, com base na razão lógica e em sua alta capacidade de abstração, síntese e generalizações. A operacionalidade entre força e a consequente aceleração é expressa na segunda lei: a aceleração adquirida por um corpo devido a uma força que lhe é aplicada, tem a mesma direção e sentido desta força e a ela é proporcional.

A expressão que a sintetiza é:  $F = m \cdot a$ . Já na terceira lei, Newton faz uma relação entre forças mútuas, que apesar de seu alcance geral foi de grande valia para suas deduções acerca do movimento dos astros. Diz: a toda força de ação há sempre uma reação de mesma intensidade e direção, mas de sentidos opostos.

Assim, um corpo qualquer atrai outro, como um fragmento de rocha que atrai outro fragmento, ou quando uma maçã atrai uma uva próxima a ela. Esta ideia por mais simplória ou absurda que possa parecer no nosso cotidiano, fez bastante sentido a partir do momento em que Newton, analisando o movimento da Lua e de alguns planetas, mostrou que: *os corpos materiais se atraem com uma força cuja intensidade é proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles*. Este enunciado – *lei da gravitação universal*, ou simplesmente lei da gravidade.

Ficou patente para todos que a força gravitacional é de baixíssima intensidade em se tratando, por exemplo, da atração entre uma xícara e uma caneta, portanto imperceptível aos nossos sentidos. Todavia, quando corpos muito massivos estão envolvidos, como a Lua, Sol e a Terra, além de outros astros, a força demonstra ter grande intensidade, segue figura 1, abaixo:

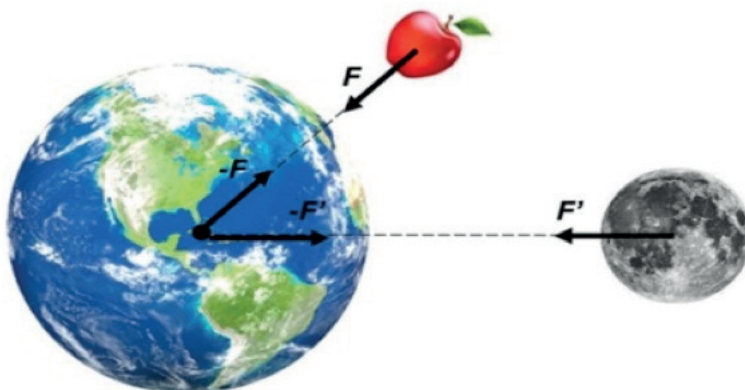


Figura 1 - A força  $F$  de atração mútua entre a Terra e a maçã, é de mesma natureza, gravitacional, da força  $F'$  de atração entre a Terra e a Lua, direcionada aos centros desses corpos.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Outro foco das reflexões de Newton foram as órbitas de um astro em torno do outro, tal qual a Lua diante da Terra. Newton fez uma proposição baseada na força centrípeta ao analisar o movimento curvilíneo dos corpos em cenas do cotidiano aqui na Terra. Ao comparar com a força gravitacional, estabeleceu:

“A força que mantém os corpos celestes em suas órbitas tem sido chamada até aqui de força centrípeta, mas tendo ficado evidente que ela não pode ser outra que não uma força gravitacional, vamos chamá-la daqui por diante de gravidade. A causa desta força centrípeta que mantém a Lua em sua órbita estende-se a todos os planetas”. (WESTFALL, 2001).

Newton supôs que os planetas são mantidos em suas órbitas graças a uma força que atua continuamente sobre eles, e ao provar que a força centrípeta era inversamente proporcional ao quadrado da distância ao centro de suas órbitas, deduziu que as forças centrípeta e da gravidade eram do mesmo tipo.

A intensidade da força centrípeta em função da velocidade é determinada pela expressão:  $F_c = m.v^2/R$ . Aqui “v” é velocidade do corpo em órbita, “m” sua massa e “r” a distância do corpo até o centro da curva. Já a força atrativa gravitacional é proporcional às massas dos dois corpos envolvidos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre esses corpos, dada pela expressão:  $F = G.m_1.m_2/d^2$ .

Agora, Newton já tem um argumento suficiente para propor a ideia que possibilita a um corpo material orbitar a Terra em uma trajetória curvilínea, estável e permanente. Centrado nas forças centrípeta e gravitacional, ele propõe uma experiência mental, contudo factível com base na razão matemática e natural, núcleo de sua obra. Considere uma experiência de simples constatação, quando ao pegar algumas pedrinhas arremessamos para frente uma após outra, com velocidades cada vez maior. Verificamos que elas caem no solo em pontos cada vez mais distantes dos nossos pés.

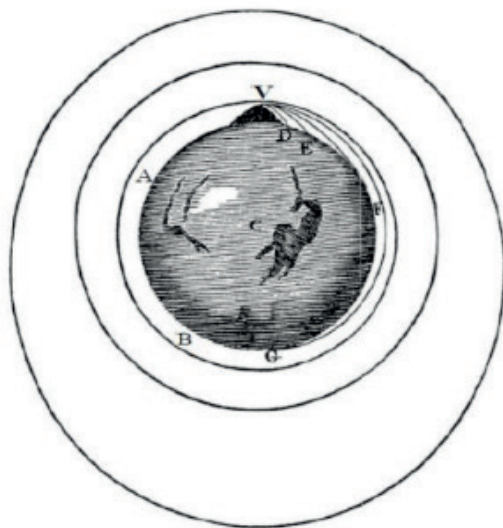


Figura 2 – Desenho ilustrativo feito por Newton mostrando a possibilidade de um objeto permanecer em órbita em torno da Terra.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Para Martins (2001), a ideia de Newton, figura 2, era a de que, de modo semelhante, objetos servindo de projéteis poderiam ser lançados para frente do alto de uma montanha. A partir desse ponto, desconsiderando a resistência do ar atmosférico, um projétil após

ser lançado com velocidade suficiente, poderia dar uma volta na Terra e retornar ao ponto de partida – o topo da montanha. Com base na “sugestão” de Newton, hoje os satélites são posicionados em suas órbitas como se fossem disparados ao chegar em uma grande altitude fora dos limites da atmosfera levados por foguetes, figura 3. A velocidade com que são deixados nessas órbitas é suficiente para que não aterrissem, isto é, eles caem, mas não atingem a superfície da Terra pois a curvatura desta torna-se inalcançável. Na prática, isso pode ser feito de outra forma, com o satélite sendo largado com velocidade tangente à Terra, velocidade esta que é a própria componente tangencial da velocidade do foguete ao chegar no ponto da órbita.

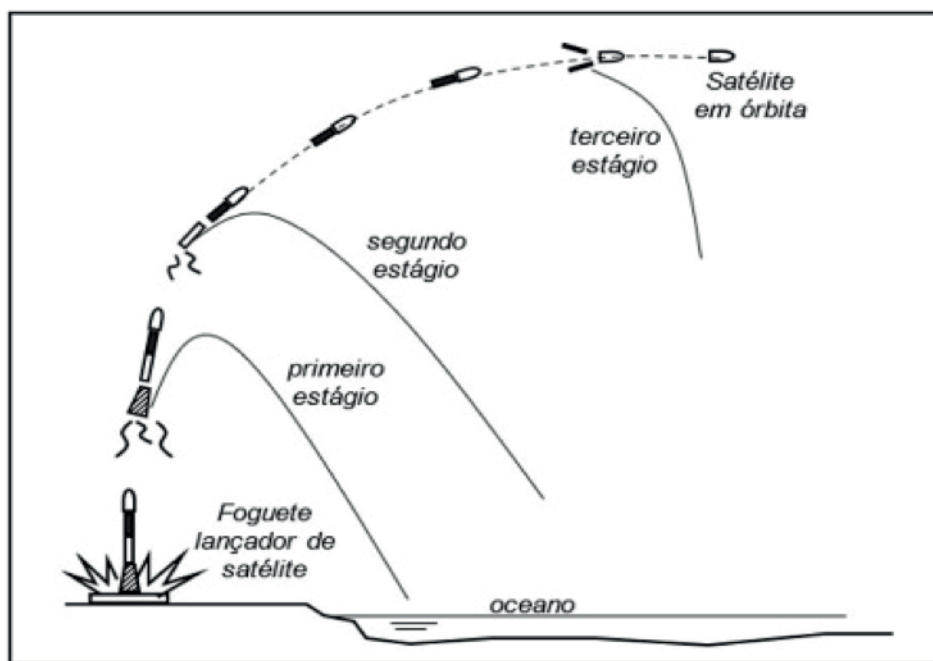


Figura 3 – Trajetória simplificada do Veículo Lançador de Satélite (VLS) e seus diversos estágios até colocar um satélite até a sua órbita final.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

## 4 | ÓRBITAS DE SATÉLITES

Florenzano (2007), nos lembra que o objetivo a ser cumprido por um satélite, as plataformas espaciais que os abrigam podem ser colocadas em órbitas com direções (inclinações) e altitudes previamente definidas. A direção do plano da órbita é medida em relação ao equador. A maioria dos satélites atualmente encontram-se em órbita no plano *polar* ou *equatorial*, figura 4. No primeiro caso a inclinação da órbita é cerca de  $90^\circ$ , ficando

paralela ao plano do eixo da Terra. Um caso particular da órbita polar é denominado órbita *heliossíncrona*, no qual o satélite gravita acima dos polos norte e sul, porém mantendo seu plano de órbita sempre fixo em relação a um referencial no Sol, e deste o satélite sempre recebe luz. Isso é possível porque o plano de sua órbita rotaciona  $1^\circ$  para leste a cada dia e assim, com as devidas correções, completará uma volta completa em torno do eixo da Terra em um ano. A vantagem vista na órbita polar é que o satélite completa, em média, quinze órbitas por dia em torno da Terra, cruzando o equador às 10:30h. Cada órbita é completada em cerca de 1h40min. Desse modo o satélite pode passar sobre todos os pontos da superfície terrestre sempre no mesmo horário, de dia ou de noite, o que é indicado para ser usado em missões meteorológicas, de mapeamento geográfico e observações.

Qualquer outra órbita cuja inclinação difere bastante de  $0^\circ$  e  $90^\circ$  é denominada de órbita inclinada, como foi o caso do satélite brasileiro SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados) de órbita circular de 750 km de altitude e inclinação de  $25^\circ$  em relação ao plano do equador.

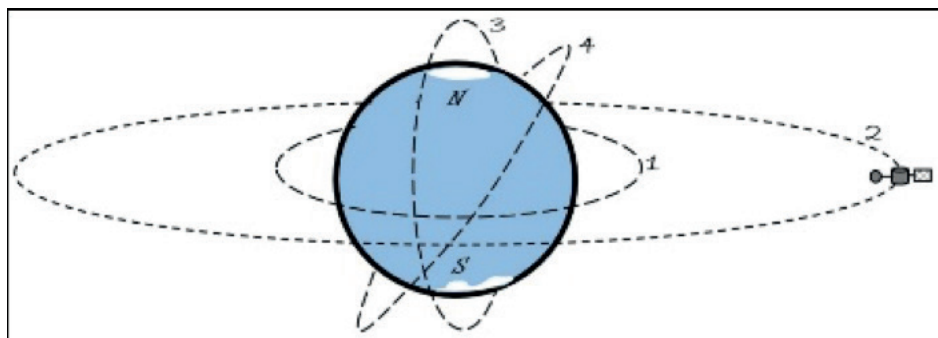


Figura 4 – Tipos de órbita de satélites. Órbita equatorial baixa (1), órbita geoestacionária elevada (2), órbita polar (3) e órbita inclinada (4).

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Para Menezes (2001), a órbita *equatorial* tem inclinação de  $0^\circ$  ou muito próximo disso. Um caso particular em órbita no plano equatorial é o satélite denominado de *geoestacionário* pois sua altitude – de aproximadamente 36 mil quilômetros – lhe permite realizar em uma volta em torno do eixo Terra a cada 24 horas girando no mesmo sentido de rotação da Terra. O resultado disso é que, como este é o período de rotação do nosso planeta, o satélite parecerá parado acima de um ponto do globo. Dizemos que sua órbita é *geossíncrona*. Se a órbita geoestacionária se fizer em trajetória circular com inclinação nula, será conhecida como *órbita de Clarke* em homenagem ao escritor Arthur C. Clarke. Essa propriedade se mostra vantajosa para os satélites de telecomunicações, pois como



parecem parados em um ponto do céu, é fácil direcionar uma antena parabólica para sua posição e manter ali a antena fixa.

## 5 | RESOLUÇÃO

Um outro conceito físico preponderante na coleta de dados é a *resolução*, e aqui destacaremos três tipos: *espacial*, *temporal* e *espectral*. A resolução espacial entrega a qualidade das imagens e informa a capacidade do sensor em perceber níveis de detalhes dos objetos na superfície da Terra registrados nas imagens em função de seus tamanhos. Se por exemplo, a resolução de um sensor for de 20 metros, então áreas com dimensões menores que este valor não podem ser detalhadas, exceto em certos limites. Objetos menores do que a resolução espacial podem ser detectados, mas isso dependerá do grau de contraste entre eles e o background (fundo do terreno). A figura 5, mostra uma imagem captada pelo satélite Ikonos de uma área portuária do Rio de Janeiro. Sua alta resolução mostra detalhes como árvores, embarcações e automóveis. Outras características da imagem obtida por sensoriamento podem ser definidas pelo segundo tipo de resolução, a *temporal*. Esta informa o período com que uma determinada área da Terra é observada, o que vai depender de uma combinação entre a velocidade do satélite e a rotação da Terra. Cada passagem de um satélite sobre um mesmo ponto da Terra é denominada *frequência de revisita*, o que termina por ser a sua resolução temporal. Atualmente esse período varia de alguns dias no caso dos satélites com órbita de imageamento estreita, a quase um ano para os satélites com órbita de imageamento larga. (SANTOS et al 2018)



Figura 5 – imagem de área portuária do Rio de Janeiro obtida em 20/04/02 pelo satélite IKONOS.

Fonte: <https://seos-project.eu/world-of-images/world-of-images-c04-p06.pt.html>. Acesso em 13-04-2022.

Segundo Giongo e Vettorazzi (2014), o satélite sino-brasileiro CBERS possui um dos sensores – CCD – com resolução espacial de 20 m com largura de órbita 120 km, o que lhe dá uma frequência de revisita de 26 dias. Já outro sensor – WFI – com resolução espacial de 260 m possui largura de órbita de imageamento de 890 km, resultando numa frequência de revisita de apenas 5 dias. É oportuno concluir também que, quanto maior a resolução temporal, ou seja, a frequência de revisita do satélite, maior serão as chances de obtenção de imagens sem nuvens.

Os satélites da família Landsat, pela sua órbita e possibilidade de imagear na sua vertical, tem um ciclo orbital de 16 dias, e infalivelmente imageam o mesmo local a cada 16 dias. Veja um exemplo no Pará, figura 6, onde foi monitorado o desmatamento de uma área, sendo detectado inclusive um incêndio, nas imagens de data de **01-06-2014, 03-07-2014 e 04-08-2014 (MARTIN, 2022).**

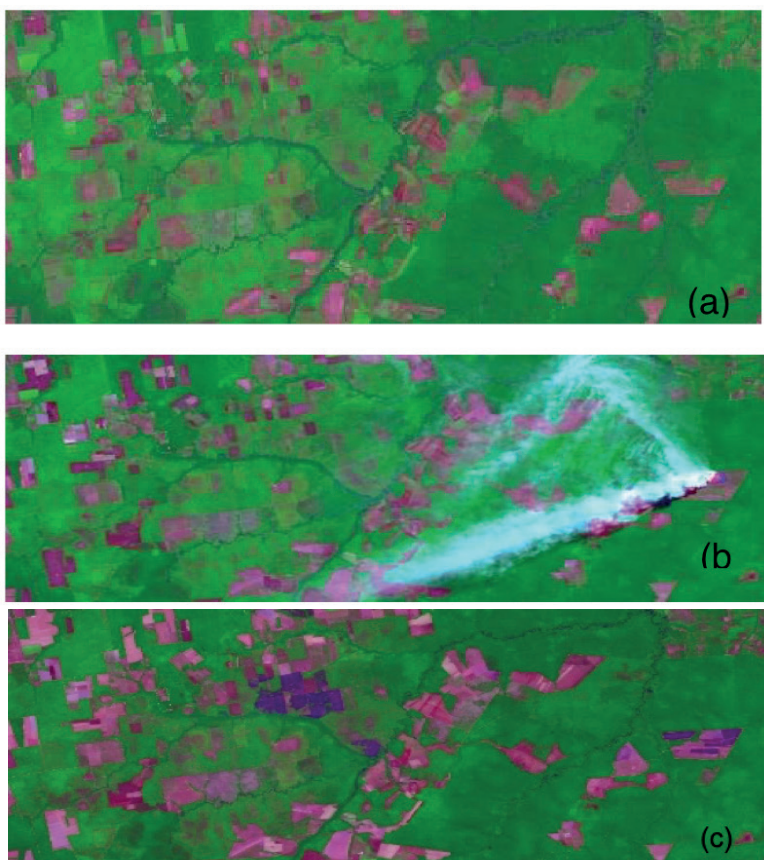
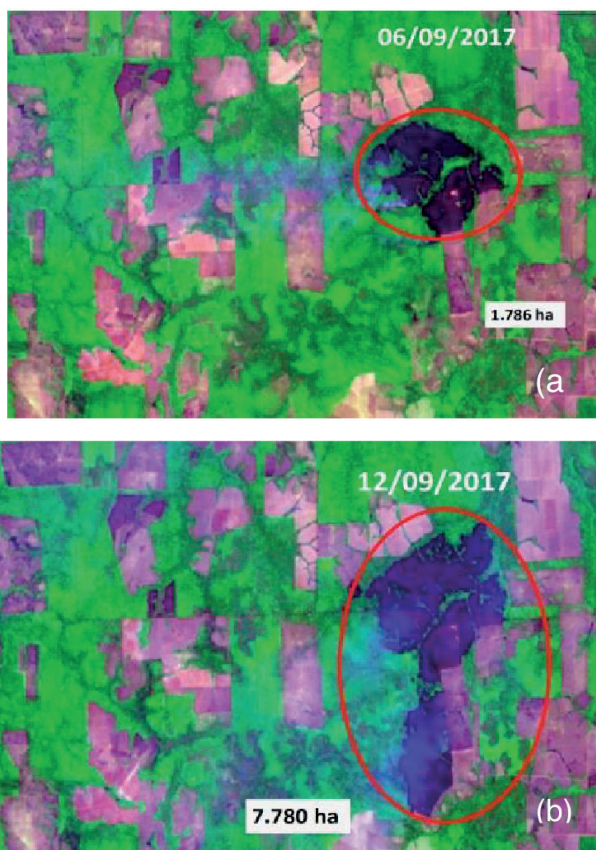


Figura 6 (a), (b) e (c) – Imagens do satélite Landsat detectando incêndio e desmatamento – definido pelo rastro de fumaça e o aumento de áreas retangulares no terreno – sobre o estado do Pará em 03-07-2014.

Fonte: <http://www.engesat.com.br>. Acesso em 22-05-2022.

Segundo Silva et al (2016), a resolução *spectral* é caracterizada pelo número das diferentes e estreitas faixas – ou bandas – do espectro eletromagnético às quais o sensor é capaz de enxergar. Diferentes bandas são refletidas com intensidades diferentes pelas diversas superfícies, daí a necessidade de estreitamento da banda para melhor definir o objeto sensoriado. O sensor do tipo pancromático pode registrar imagens em uma banda que abrange todo espectro visível (400 - 730 nm) e uma imagem pancromática utiliza uma única faixa que combina as bandas Vermelha, Verde e Azul (RGB), proporcionando maior resolução espacial.

As figuras 7 (a, b e c), mostram a sequência de imagens do satélite CBERS-4 em RGB sobre uma área impactada (em destaque no círculo) por um grande incêndio no estado de Mato Grosso em 2017.



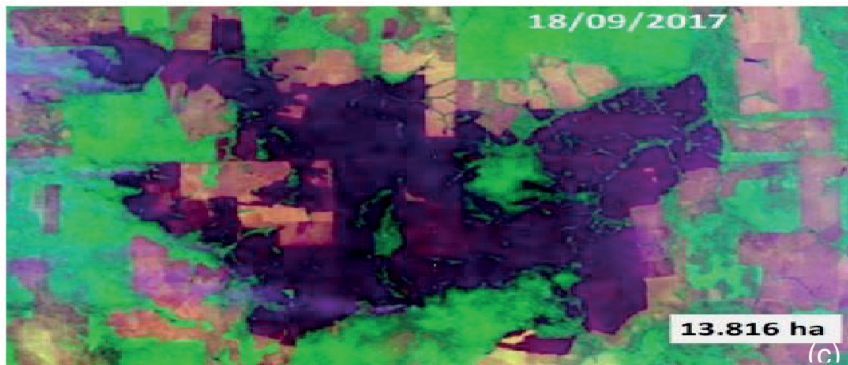


Figura 7 – Imagens do satélite CBERS-4 em RGB tomadas sobre uma área impactada (em destaque no círculo) por um grande incêndio no estado de Mato Grosso em 2017.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

## 6 | LARGURA DE ÓRBITA

Quando um satélite avança em sua órbita, as suas câmeras irão produzir imagens da superfície da Terra num procedimento de varredura transversal ou longitudinal, que será característico de cada câmera e dos tipos de sensores que carrega. Isto designará a *largura de órbita* de cada câmera, e cada uma enxerga uma largura de faixa imageada diferente, ou seja, sua área própria de cobertura. Por exemplo, o satélite SPOT-5 possui faixas imageada de 60x60 km, e 120x600 km. Estas são as dimensões do terreno “visto” pelo satélite, que depende da altitude da órbita e do ângulo de visão instantânea, considerando fixa a direção do sensor. Assim, quanto maior a altitude maior a área coberta por um sensor (LORENZZETTI, 2015).

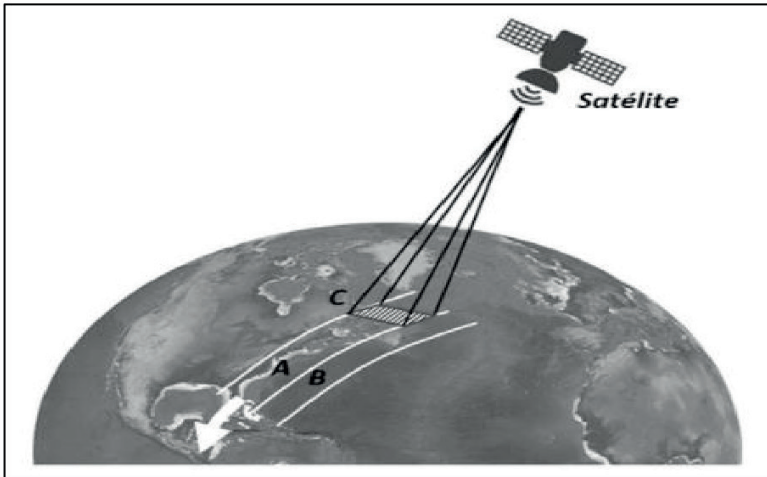


Figura 8 – Em A e B temos as faixas imageadas pelos sensores. Durante a varredura, uma área C é instantaneamente gravada.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

## 7 | SENSORES

Segundo Liu (2006), sensor é o dispositivo que capta sinais de REM e aproveita aqueles em uma determinada faixa do espectro com o fim de convertê-lo em informação que é o seu produto. Ele é constituído por um coletor óptico – um conjunto de lentes, por exemplo – um detector sensível à uma certa faixa espectral e o componente processador que irá tratar eletronicamente os dados e convertê-lo no produto, como indicado na figura 9.



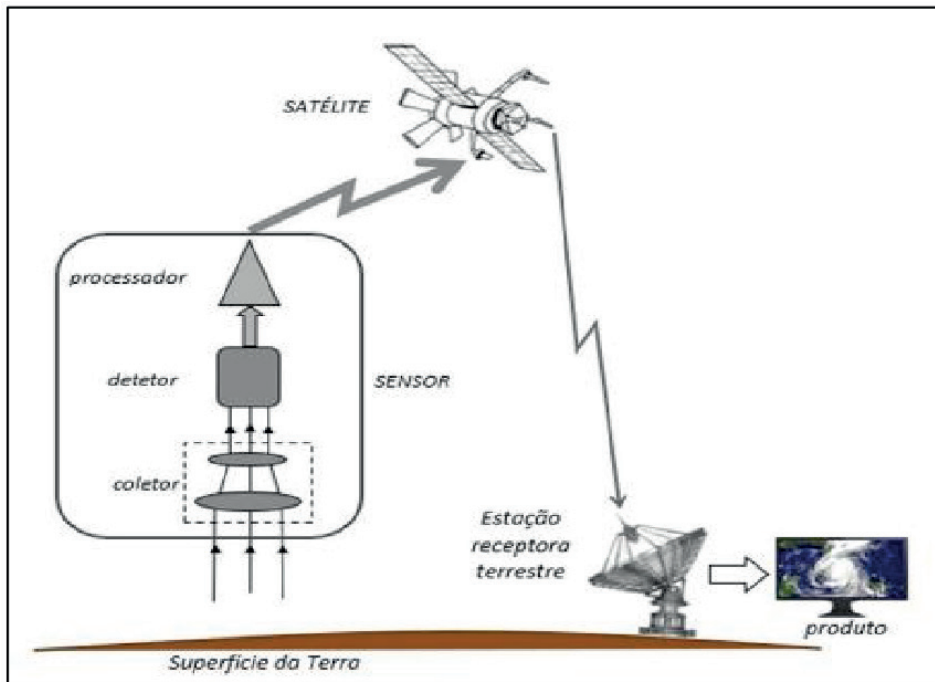


Figura 9 – Elementos básicos de um sensor e o caminho dos dados adquiridos até a entrega do produto.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Os sensores, com relação à fonte de REM, podem ser classificados em *ativo* e *passivo*. O primeiro é do tipo que gera o sinal e o envia para o alvo, recebendo-o de volta para posterior tratamento e análise. Sua vantagem está em operar com ondas de *radar*, o que pode ser feito em qualquer condição meteorológica devido a alta transmissividade através de nuvens, de dia ou à noite. O segundo necessita que uma fonte externa para iluminar o alvo e apenas recebe os sinais emitidos ou refletidos por este alvo para depois enviar os dados uma estação terrestre.

A figura 10 esquematiza as diversas fontes de radiação que podem gerar sinais que são captados pelos sensores passivos embarcados em satélites artificiais. Os sensores passivos operam em amplas faixas do espectro visível e do infravermelho, atuando como câmeras fotográficas ou de vídeo, o que lhes conferem alta resolução espectral. enquanto os sensores ativos emitem e recebem sinais, comportando-se como radares

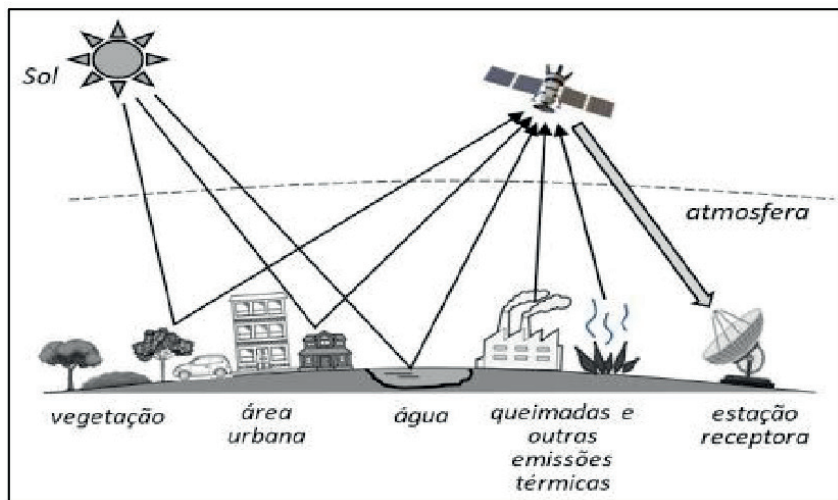


Figura 10 – Satélite adquirindo imagens por meio de um sensor óptico passivo e enviando dados à uma estação receptora de rastreamento.

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Outra característica marcante dos sensores, quanto ao espectro eletromagnético, é que os sensores passivos registram a faixa do espectro que vai do ultravioleta a todo o infravermelho. Nos sensores ativos, por radar, registram geralmente a faixa do espectro correspondente ao micro-ondas, como esquematiza a figura 11.

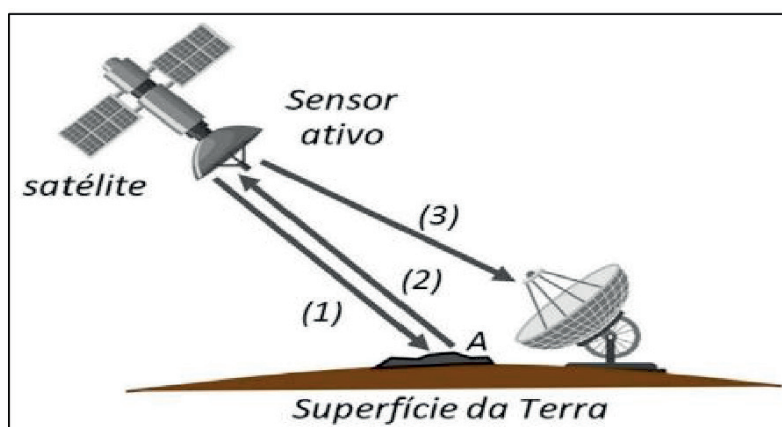


Figura 11 – Esquema simplificado mostrando a ação de um sensor ativo. A REM gerada é lançada sobre os alvos (1), sendo refletida e detectada (2) e por fim transmitida à estação receptora terrestre (3).

Fonte: Afonso, R.A (2019).

Os sensores embarcados em satélites atendem a vários aspectos técnicos conforme a finalidade do sensoriamento e suas câmeras são dotadas de dispositivos sensíveis que irão adquirir imagens em várias faixas espectrais. Se uma imagem é adquirida por meio de uma única faixa espectral estreita (uma única cor) ela é classificada como monocromática. Caso a imagem seja adquirida por meio de uma única e larga faixa então ela é classificada como pancromática, já que esta faixa espectral corresponde a várias cores. A faixa pancromática (ou pan) utiliza uma única faixa que combina as bandas vermelha, verde e azul (RGB), permitindo uma maior resolução espacial. O sensor multiespectral é sensível a várias faixas espectrais não vizinhas umas às outras.



Figura 12 – Imagem do satélite NOAA-20 dotado de sensor ativo VIIRS mostrando parte da Europa e do norte da África à noite em 03-12-2014.

Fonte: <https://ncc.nesdis.noaa.gov>.

## 8 | MONITORAMENTO AMBIENTAL: DO TIROS-1 AO CARCARÁ

Na concepção de Lira et al (2010), o monitoramento da Terra – superfície e atmosfera – envolve a coleta de dados sobre os diversos sistemas que compõem o meio ambiente – meteorológico, radiológico, oceanográfico, geológico, climatológico e tudo mais o que envolve conhecimentos físico, químico e biológico. O progresso nas tecnologias de sensoriamento remoto e de pesquisa tornou o sensoriamento remoto uma ciência à parte, fundamental para o entendimento, controle e defesa dos processos, naturais ou não, que



ocorrem na Terra. Os satélites de monitoramento ambiental operam segundo uma ampla gama de funções direta e indiretamente ligadas ao meio ambiente como:

- Mapeamento das extensões e deslocamento de gelo nos extremos da Terra.
- Detecção e acompanhamento das áreas atingidas por vazamentos de petróleo nos oceanos.
- Reconhecimento e apoio em caso de desastres naturais (chuvas intensas, deslizamentos de terra, tsunamis, furacões, terremotos, erupções vulcânicas) e conflitos para apoio à ajuda humanitária em tais situações.
- Mapeamento para manejo florestal, hídrico e do solo, gerando informações sobre erosões e safras.
- Detecção de queimadas, desmatamento, desertificação e monitoramento de índices de vegetação.
- Mapeamento de uso, ocupação da terra, expansão urbana e cartografia.
- Monitoramento da atmosfera terrestre, níveis de poluição e alterações na camada de ozônio.
- Previsão meteorológica e medição de nível e temperatura dos oceanos.

Em 1960 foi colocado em órbita pelos norte-americanos o primeiro satélite – de órbita polar – com o objetivo de fotografar a Terra produzindo informações meteorológicas mais precisas, o TIROS-1 (*Television Infrared Observation Satellite*). Entre 1960 e 1965 foram lançados 10 satélites TIROS. *A partir de então os cientistas já não tinham dúvidas de que o sensoriamento remoto se mostrava profícua em benefício da sociedade e da natureza sob um paradigma e um novo ponto de vista: o espaço exterior a nós.*

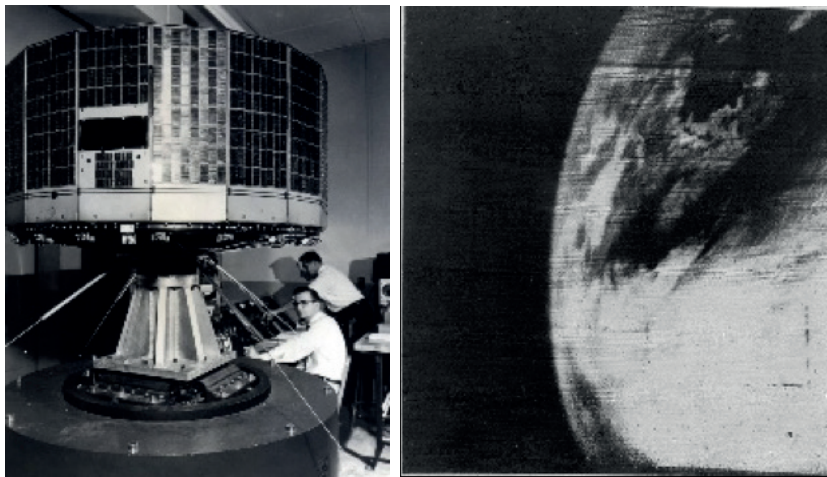


Figura 13. Construção do satélite TIROS-1 da NASA (a) e a primeira imagem da Terra por meio de fotografia em 01 de abril de 1960.

Fonte: [www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_1627.html](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1627.html)

Em meados da década de setenta, os Estados Unidos lançaram dois satélites, o SMS-1 e o SM-2, de órbitas geossíncronas que se mostrou bastante apropriada para satélites meteorológicos. Este fato proporcionou a criação do programa GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), que deram sequência aos satélites desta série, que até hoje dá suporte a pesquisas meteorológicas como à previsão de tempo e monitoramento de tempestades severas. A Agência Espacial Europeia lançou em 1991, o satélite ERS-1 (*European Remote-Sensing Satellite*) de órbita polar. Foi o satélite mais avançado de sua época apresentando um sistema de radar com sensor ativo e instrumentação de microondas para medições e imagens sobre a terra, ventos e temperatura dos oceanos. Tal tecnologia propiciou a observação de superfícies que comumente escapam à visão dos satélites devido à frequente obstrução por nuvens ou neblinas, (LIU, 2006).

O ERS-1 é tido como pioneiro do monitoramento e da pesquisa ambientais via satélite. Posteriormente, lançado em 1995, o ERS-2 tinha como missão adicional a pesquisa de ozônio atmosférico.



Figura 14 – Imagem adquirida pelo satélite ERS-1 em 13-01-1992 mostrando o início da desintegração da plataforma Wilkins, na península Antártida, que de fato se efetivou em 2008. São notáveis as áreas brancas, de gelo mais espesso, demonstrando alta reflectância de REM, o gelo mais fino em cinza, e a água do mar em tom mais escuro.

Fonte: [www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth).

Visando observar com mais acurácia as variações nas massas de gelo, foi lançado em 2018 o satélite IceSat-2 dotado de um sensor ativo Atlas de raio laser. Sua principal missão é monitorar o derretimento das geleiras com mais acurácia, que desde a década de oitenta teve sua área no Ártico reduzida em 40%. Mais capaz tecnicamente que seu antecessor, será capaz de adquirir imagens em três dimensões com precisão inferior a 1 cm, por conta de sua sofisticada câmera de sensor ativo Atlas. Indo além, o ICESat-2 entregará contribuições sem precedentes no monitoramento ambiental, enviando dados sobre a altura de ondas oceânicas, reservatórios de água, medição da altura do topo das árvores em relação ao solo. Seus dados contribuem para fornecer uma estimativa da quantidade de carbono armazenada em áreas florestais no mundo. A série de satélites norte-americano LANDSAT teve início em meados da década de sessenta, denominado ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), mas a partir de 1975 passou a se chamar Landsat. Em 1972 foi lançado o Landsat-1, tido como o primeiro satélite voltado para monitoramento de recursos naturais, tendo o Landsat-8, último da série, lançado em 2013. (SILVA et al 2016).

Um dos registros que mais sensibilizou a sociedade civil e científica mundial, foi a tragédia ambiental do mar de ARAL, localizado no Uzbequistão, república da antiga União Soviética, flagrada em diversos anos pelo satélite Landsat. Na década de sessenta era o

quarto maior lago do mundo, quando começou a secar devido aos desvios de água, para a agricultura, dos rios que o abasteciam. Hoje restaram apenas 10% de água do que havia, sendo que uma área equivalente ao estado de Santa Catarina foi desertificada.

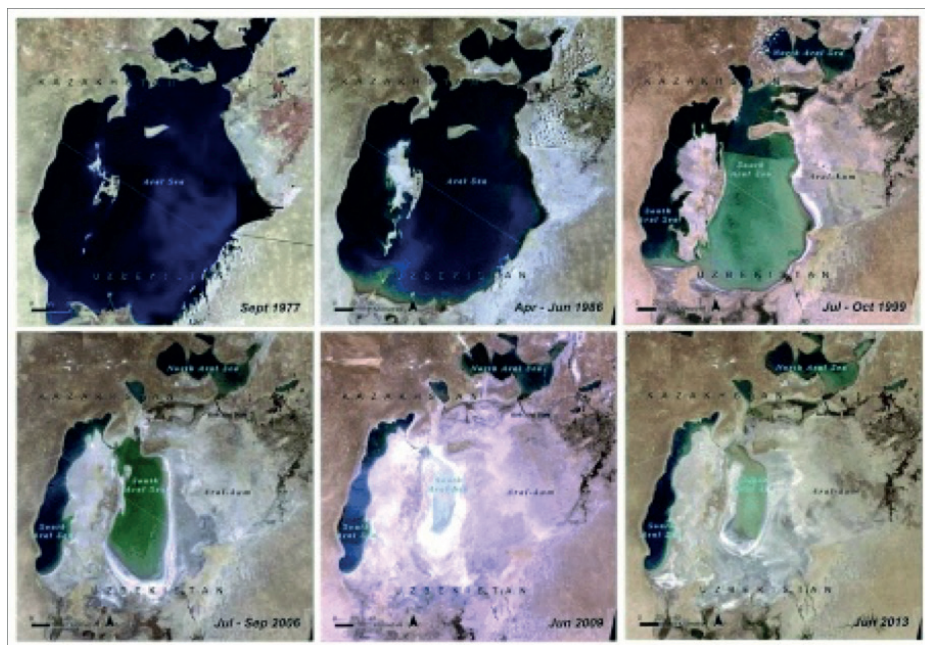


Figura 15 – Sequência de imagens capturadas de 1977 a 2013 por satélites LANDSAT em a diminuição do volume de água do mar de Aral.

Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Landsat-satellite-imagery-mosaics-showing-visible-changes-of-the-Aral-SeaSource\\_fig2\\_356173915](https://www.researchgate.net/figure/Landsat-satellite-imagery-mosaics-showing-visible-changes-of-the-Aral-SeaSource_fig2_356173915)



Figura 16 – Grande incêndio na Califórnia (EUA) registrado em 19-08-2021 adquirida pelo sensor OLI do satélite Landsat-8, com área imageada de 780 km<sup>2</sup> quase integralmente coberta de fumaça.

Fonte: [www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth).

As grandes áreas de floresta e sua fauna são alvos constantes dos monitoramentos de satélites. O Brasil possui uma vasta região de floresta, a Amazônia, que é um bioma rico em recursos naturais, além de grandes volumes de água devido aos seus grandes rios, sendo por isso objetivo de preservação e uso sustentável. Os grandes vilões de um território como este são, sem dúvida como mostram os acontecimentos, o fogo e o desmatamento, que via de regra se complementam. Vários são os tipos de atividades legais e principalmente as ilegais, que colaboram para este cenário de grandes impactos ambientais tais como garimpagem, invasão de terras públicas, exploração de madeira, expansão urbana, queimadas para preparação de plantio e criação de gado. Nesse cenário a importância do monitoramento por satélite é crucial, devido a vários aspectos aqui relatados quanto ao uso deste tipo de plataforma de observação. A figura 17 mostra um flagrante de queimada no estado do Pará em 2019 feito por um dos satélites da constelação SkySat da empresa Planet. (SANTOS et al 2018).





Figura 17 – Imagem do satélite SkySat mostrando uma grande área de queimada no estado do Pará em 20-08-2019.

Fonte: <https://brasil.mongabay.com>



Figura 18 – Imagens da tragédia na região de Mariana (MG) obtidas pelos sensores Pan e MS do satélite WorldView-2 em 21 de julho de 2015. É bastante visível a lama cobrindo aquela grande área rural.

Fonte: <https://brasil.mongabay.com>

Em fevereiro de 2022 a cidade de Petrópolis (RJ) foi castigada por constantes chuvas de elevado índice pluviométrico. Por estar situada em região montanhosa, muitos deslizamentos de terra de encostas ocorreram e parte da cidade foi tragada por fortes correntezas de lama causando uma tragédia que deixou uma grande área destruída e cerca de 230 mortos.



Figura 19. Tragédia em Petrópolis. Em 17-02-2022 imagens do satélite Sentinel-2 ajudam a Defesa Civil a identificar áreas com deslizamentos.

Fonte: [www.metsul.com](http://www.metsul.com).

O Brasil a partir de 1993 se fez presente na construção de satélites voltados para a aquisição de informações ambientais. Naquele ano entrou em operação o SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados) e posteriormente o SCD-2, com os objetivos de: previsão de tempo, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola e monitoramento das bacias hidrográficas (BRASIL, 2008).

Em parceria com a China, foi criado o programa CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). A família de satélites heliossíncronos (1 ao 4A, atualmente) de sensoriamento remoto CBERS trouxe significativos avanços no monitoramento e pesquisa envolvendo o meio ambiente e recursos naturais. Suas imagens são usadas em importantes campos, como o controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, em educação e em inúmeras outras aplicações (INPE, 2018). O CBERS-1 foi lançado em 1999 e o CBERS-4A, em 2019. As figuras 20,21 e 22 mostram imagens adquiridas pelo satélite CBERS-4 cobrindo toda a cidade de Belém e região metropolitana, bem como grande área de rios e floresta.



Figura 20 – Imagem registrada pela câmera CCD do satélite CBERS-4 sobre a cidade de Belém (PA) e região metropolitana.

Fonte: INPE(2018).



Figura 21 – Imagem obtida pelo satélite brasileiro Amazônia-1 da cidade de São Paulo, região metropolitana até o litoral.

Fonte: INPE (2018).





Figura 22 – Imagem do Satélite Amazônia-1 sobre a região de Furnas (MG) adquirida em 14-08-2021.

Fonte: INPE (2018).

Ainda que no ano anterior o Brasil havia colocado em operação com sucesso o satélite Amazônia-1, seguiu em frente na missão de monitoramento ambiental, quando teve início efetivamente o *Projeto Lessonia* da Força Aérea Brasileira. Tal projeto visa colocar em órbita uma constelação de satélites brasileiros, o que de fato teve início em 25 de maio de 2022 quando do cabo Canaveral (EUA), foram lançados dois satélites transportados no foguete Falcon 9.

Denominados de CARCARÁ-1 e 2, possuem dimensão de 1 m<sup>3</sup> com massa aproximada de 90 kg, são equipados com sensores de radar ativo do tipo SAR, gerando imagens de ótima resolução – com 2m de largura – a qualquer hora do dia e da noite e sob quaisquer condições meteorológicas. Os satélites foram adquiridos da empresa finlandesa ICEYE e ficarão em órbita polar baixa de 97° de inclinação e numa altitude de 570 km.

Conforme a Força Aérea Brasileira (2022), “as imagens captadas pelos satélites serão utilizadas em apoio ao combate ao tráfico de drogas e mineração ilegal, atualização de produtos cartográficos, determinação da navegabilidade dos rios, visualização de queimadas, monitoramento de desastres naturais, vigilância da Zona Econômica Exclusiva e apoio às operações de vigilância e controle das fronteiras, entre outras capacidades”.



Figura 23– Concepção artística do satélite brasileiro Carcará lançado em 25-05-2022, mostrando seus cinco painéis solares abertos.

Fonte: [www.eceye.com](http://www.eceye.com)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fontes de informações, notadamente a imprensa em geral, não tem por hábito a veiculação de informações a respeito da tecnologia espacial de satélites e suas contribuições para o monitoramento em seus diversos objetivos em prol da sociedade e do meio ambiente. Em geral apenas citam algumas imagens - sem referência de fonte - enviadas por satélites voltadas para a previsão meteorológica.

Por meio deste trabalho pode-se constatar o esforço de várias nações com o objetivo de defender a natureza em nosso planeta e os recursos naturais de que tanto dependemos, e, portanto, temos o dever de preservar. Os satélites de monitoramento contribuem tanto para mostrar o que o homem tem feito ao planeta, como para, em caso de agressões e desastres ambientais, gerar produtos – dados e imagens – acerca de gerenciamento de recursos, vigilância e detecção de processos sobre a terra, os oceanos e atmosfera, que possam embasar e orientar tomada de decisões que possam apoiar ações em defesa do cidadão e do nosso ambiente natural.

Nosso planeta – nossa casa – é sensível a qualquer mudança em sua estrutura, seja ela em seus biomas, climática, geológica, hidrológica, e até mesmo social. Num mundo que se transforma rapidamente, principalmente devido às ações antropogênicas, não podemos abrir mão desta poderosa ferramenta de monitoramento e controle de nossa biosfera.

O advento dos satélites artificiais a partir do final da década de cinquenta do século vinte, foi sem dúvida um paradigma para a Ciência e para nossa história. O progresso tecnológico aeroespacial evoluiu com altas taxas de produtividade, e hoje enviando

informações em tempo real, faz de nós cidadãos um vigilante que enxerga dinâmica do nosso planeta com outros olhos, aqueles situados a centenas de quilômetros de altitude.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, R.A. **O Uso de Vídeos Reais como Recurso Didático para Aprendizagem de Leis de Newton do Movimento**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Faculdade de Física, da Universidade Federal do Pará (2019).

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift 22, 711-728.

BEZERRA, J.M., MOURA, G.B.A., SILVA, B.B., LOPES, P.M.O., SILVA, E.F.F. **Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18, 73-84 (2014).

BRASIL INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Principais Realizações das Unidades de Pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia**, (2008).

CAMPOS, A. T. C.; SAHEB, D.; CARVALHO, A. M. **A Educação Ambiental nas propostas formativas dos cursos de Pedagogia: desafios e experiências desenvolvidas no estado do Paraná**. Ambiente & Educação, v.22, n.2, p.47-64, 2017.

DUPUY, J. P. **A catástrofe de Chernobyl vinte anos depois**. Revista Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 243-252, 2007. Disponível em: . Acesso em: 5 mar. 2014.

ECEYE.COM **Concepção artística do satélite brasileiro**. (2022). [www.eceye.com](http://www.eceye.com)

ENGESAT. **Imagens de satélite e geoprocessamento**. <http://www.engesat.com.br>. Acesso em 22-05-2022. (2014).

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

GIONGO, P.R., VETTORAZZI, C.A. **Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18, 833-838. 2014.

INPE. **Termo de Compromisso de Gestão de 2018**. Relatório Anual. Subsecretaria de Unidades Vinculadas - Coordenação-geral de Gestão de Unidades de Pesquisa- CGUP, 2018.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N.T.; SANTOS, F. A. C. **Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica**. Experiências em Ensino de Ciências, v.13, n.5, p.125-151, 2018.

LIRA, D. R.; ARAÚJO, M. S. B.; SÁ, E. V.; SAMPAIO, B.; SILVA, H. A. **Mapeamento e quantificação da cobertura vegetal do agreste central de Pernambuco utilizando o NDVI**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.3, n.3, p.157-162, 2010.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2000.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MARTINS, R. A. **Como não escrever sobre a história da Física**. Um Manifesto Historiográfico, Revista Brasileira do Ensino de Física, n 23, p. 113-129, 2001.

MENESES, P. R. **Princípios do Sensoriamento Remoto**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB/CNPQ. p.1-31, 2012.

METSUL. **Meteorologia. Tragédia em Petrópolis**. Acesso em 17 de fevereiro de 2022. [www.metsul.com](http://www.metsul.com)

MONGABAY, **Notícias ambientais para informar**. Acesso em 02 de novembro de 2019, <https://brasil.mongabay.com>

NASA. **Construção do satélite TIROS-1 da NASA (a) e a primeira imagem da Terra por meio de fotografia em 01 de abril de 1960**. [www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_1627.html](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1627.html)

SANTOS, F.; MASSONI, N. T.; DANTAS, C. R. ; JUNGES, A. L. **Sensoriamento Remoto (SR) como formação ambiental na disciplina de física**. Porto Alegre: UFRGS, 2018.

SCIENCE EDUCATION THROUGH EARTH OBSERVATION FOR HIGH SCHOOLS (SEOS). **Imagem de área portuária do Rio de Janeiro obtida e 20/04/02 pelo satélite IKONOS**. <https://seos-project.eu/world-of-images/world-of-images-c04-p06.pt.html>. Acesso em 13-04-2022.

SILVA, B.B.D., BRAGA, A.C., BRAGA, C.C., OLIVEIRA, L.M., MONTENEGRO, S.M., BARBOSA JUNIOR, B. **Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 20, 3-8. 2016.

RAMOS, M. N.; MOREIRA, T. M.; SANTOS, C. A. **Referências para uma política nacional de educação do campo**: caderno de Subsídios. Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Grupo Permanente de Trabalho de Educação do Campo, 48 p. 2004.

RESERCHGATE. **Sequência de imagens capturadas de 1977 a 2013**. [https://www.researchgate.net/figure/Landsat-satellite-imagery-mosaics-showing-visible-changes-of-the-Aral-SeaSource\\_fig2\\_356173915](https://www.researchgate.net/figure/Landsat-satellite-imagery-mosaics-showing-visible-changes-of-the-Aral-SeaSource_fig2_356173915).

THE EUROPEAN SPACE AGENCY. **Imagem adquirida pelo satélite ERS-1 em 13-01-1992**. [www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth).

WESTFALL, R. S. **A Vida de Isaac Newton**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, no. 2, Junho. 2001