



POTENCIALIDADES E RESTRIÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA CLIMATOLOGIA

DIEGO TARLEY FERREIRA NASCIMENTO¹
IVANILTON JOSÉ DE OLIVEIRA²

Resumo: O advento e o desenvolvimento de sensores e produtos de Sensoriamento Remoto se destacam como alternativa para a rarefeita e problemática rede de estações meteorológicas amplamente empregadas na Climatologia. É nesse contexto que se ancora a elaboração do presente trabalho, de caráter bibliográfico e que tem por objetivo central apresentar os pressupostos e destacar as potencialidades e restrições do emprego de dados provenientes de Sensoriamento Remoto na Climatologia. Apesar das restrições, defende-se o emprego de dados de Sensoriamento Remoto a Climatologia, partindo-se do pontual para uma análise do contínuo espacial, com dados históricos e sinóticos provenientes de imagens satelitárias.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Climatologia, Aplicação, Potencialidade, Restrição.

Abstract: The advent and development of sensors and Remote Sensing products stand out as an alternative to thin and problematic network of weather stations widely used in Climatology. It is in this context that anchors the preparation of this paper, bibliographical and whose central objective of presenting the assumptions and highlight the potential and limitations of the use of data from Remote Sensing in Climatology. Despite the restrictions, we argue the use of Remote Sensing data Climatology, starting point for the analysis of continuous space, with historical and synoptic data from images of satellites.

Key words: Remote Sensing, Climatology, Application, Potentiality, Restriction.

1 – Introdução

O conhecimento do estado e da variabilidade dos elementos climáticos é uma necessidade às atividades antrópicas desde tempos remotos, uma vez que o planejamento das atividades de caça, cultivo e deslocamento dependiam diretamente da condição do tempo e do clima.

Nos primórdios, as referências aos elementos climáticos eram explicadas e justificadas pelo misticismo e, posteriormente, estimadas com base em observações indiretas feitas em descrições e relatos de naturalistas e viajantes, principalmente das grandes explorações geográficas promovidas pelos europeus durante o século XV.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Professor Assistente da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: diego.tarley@gmail.com;

² Doutor em Geografia. Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás. E-mail: ivanilton.oliveira@gmail.com.



A invenção e o desenvolvimento de instrumentos meteorológicos a partir do século XV subsidiou o conhecimento dos reais valores dos elementos climáticos de dada localidade, registrados em superfície ou na atmosfera.

Segundo Sant'Anna Neto (2001), datam de 1844 as primeiras observações meteorológicas brasileiras, feita pelo Observatório Astronômico Imperial do Rio de Janeiro, ao passo que observações meteorológicas regulares começaram a ser realizadas por navios da Marinha brasileira após 1862.

No Brasil, a observação meteorológica passou a ser realizada de forma sistemática apenas em 1910 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Até o final da década de 60 havia cerca de 209 estações meteorológicas instaladas no país sobre a administração do INMET e, atualmente, esse órgão dispõe de cerca de 242 estações convencionais e 475 estações automáticas³ – Figura 01.



Figura 01 – Rede de estações meteorológicas convencionais e automáticas do INMET.
Fonte: INMET (com adaptações).

Contudo, conforme visto pelo mapa da Figura 01, as estações meteorológica se encontram muito mal distribuídas sobre o território brasileiro, sobretudo na região Centro-Oeste e Norte. Sobre isso, Monteiro (1990b, p. 17) comenta a respeito do problema “da extensão dos fatos observados-mensurados além do ponto de leitura” e questiona até onde os valores obtidos pela estação meteorológica podem ser projetados espacialmente. O autor em questão destaca que, por uma questão de lógica, os valores registrados pontualmente seriam válidos e extensíveis enquanto persistirem as mesmas condições fisiográficas e morfoestruturais existentes naquele local (MONTEIRO, 1990a).

³ Atualmente, além do INMET, existem outros órgãos e instituições que possuem rede de estações meteorológicas, como é o caso da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e da Agência Nacional de Águas (ANA), além de outras em âmbitos estaduais e municipais.



Sendo assim, o fato das estações meteorológicas fornecerem registros válidos apenas para um pequeno entorno dos instrumentos e por elas se encontrarem muito esparsamente localizadas (sobretudo nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil), a representação espacial dos dados por elas registrados resulta em uma forte generalização – essencialmente por conta da interpolação de valores que normalmente são medidos em pontos de coleta localizados muito distantes uns dos outros.

Portanto, a espacialização dos dados registrados por estações e instrumentos meteorológicos realizada com base em métodos de extrapolação/interpolação não apresenta a adequação quanto à compreensão da variabilidade espacial dos elementos climáticos, visto que a representação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real, não informa a verdadeira extensão dos valores, mas sim a extensão da variação entre aqueles coletados (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Com o advento e, na atualidade, o desenvolvimento de novos sensores e produtos do Sensoriamento Remoto, surge a possibilidade de aplicação de dados e informações obtidas por imagens registradas por satélites como alternativa para essa problemática, uma vez que parte-se do pontual, baseado em dados provenientes de estações meteorológicas, para uma análise do contínuo espacial, com dados históricos e sinóticos provenientes de imagens satelitárias.

Contudo, algumas ressalvas devem ser consideradas quando da utilização de dados de Sensoriamento Remoto em Climatologia. É nesse contexto que se ancora a elaboração do presente trabalho, de caráter bibliográfico e que tem por objetivo central apresentar os pressupostos e destacar as potencialidades e restrições do emprego de dados provenientes de Sensoriamento Remoto na Climatologia.

2. Resultados e Discussões

2.1 O problema dos registros feitos por estações meteorológicas

Mesmo se tratando de medidas diretas, Dubreuil (2005) e Yang et al. (2013) destacam que observações oriundas de estações meteorológicas apresentam uma série de problemas, como por exemplo:

- ❖ a qualidade dos dados registrados, que dependerão do tipo de material utilizado nas estações (abrigo meteorológico de madeira, plástico ou metal influenciam diretamente o registro);
- ❖ a densidade da rede de estações, geralmente muito esparsa e desigual;
- ❖ os erros de leituras provocados pela má escolha do local de instalação;



- ❖ defeitos que os instrumentos possam apresentar e resultar dados anômalos ou falhas nas séries de dados;
- ❖ mudanças dos equipamentos ou mesmo do local em que a estação meteorológica se localiza, sobretudo quando ocorre o fechamento de uma estação e abertura de outra em local diferente e;
- ❖ modificações na cobertura e uso do solo onde estão localizados os instrumentos, seja no próprio local ou no entorno, como visto nas estações que foram incorporadas aos centros urbanos.

Os dados derivados de observações de superfície são considerados como a verdade absoluta sem o emprego de modelos de validação ou sequer qualquer análise mais acurada ou desconfiança com relação à qualidade ou validade dos dados registrados.

Outro problema inerente aos dados registrados por estações meteorológicas, e já abordado na introdução do trabalho, consiste na projeção espacial por extensas áreas além do ponto de coleta dos dados meteorológicos, sobretudo em regiões onde a rede de estações é rarefeita.

A rarefeita rede de estações meteorológicas e a dúbia qualidade dos dados por elas registrados, associados à necessidade de registro dos elementos climáticos de forma sinótica, colaboraram para o emprego de dados provenientes de satélites meteorológicos, inicialmente, na observação do tempo, e, posteriormente, no monitoramento do clima.

2.2 O Sensoriamento Remoto e o advento de satélites de observação do tempo e de monitoramento do clima

O Sensoriamento Remoto pode ser compreendido como “a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo” (ROSA, 2001, p.1), visto que diferentes objetos refletem/emitem diferentes quantidades de energia em comprimentos de ondas distintos, sendo essas diferenças espectrais registradas pelos sensores remotos na forma de imagens.

Tendo origem com uso da fotografia registrada por pombos, balões e aviões, e possuindo inicialmente aplicações direcionadas a fins militares para atividades de defesa e reconhecimento do território, o Sensoriamento Remoto apresentou uma considerável evolução no decorrer dos anos propiciada pelos avanços na telecomunicação e na informática. Apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960, sendo ao longo dos anos amplamente utilizado na meteorologia e nas comunicações. Atualmente, vem sendo utilizado para fins de reconhecimento e exploração dos recursos naturais com diversas e



distintas possibilidades, a exemplo: no levantamento das características do solo, da água, da vegetação, do substrato geológico e do balanço de energia superficial, no monitoramento de secas, de queimadas e safras e em estudos em áreas urbanas e naturais.

Dentre as vantagens das imagens de satélite, é possível citar a resolução espacial, capaz de cobrir toda a superfície terrestre, permitindo análises globais, regionais e/ou locais, em uma visão holística; os registros temporais constantes, fornecendo dados históricos e sinóticos, que permitem o monitoramento e; por fim, a relativa facilidade de aquisição dos registros, em função dos acervos disponibilizados por agências e órgãos governamentais.

Nas décadas de 1940 a 1960 se deu o advento dos satélites meteorológicos para observação, monitoramento e previsão do tempo. Inicialmente voltados exclusivamente para registro na nebulosidade atmosférica, os satélites meteorológicos abarcaram uma série de possibilidades e aplicações no estudo do tempo e do clima nos anos que se sucederam.

Em primeiro de abril de 1960 foi lançado o primeiro satélite verdadeiramente meteorológico, o TIROS-1 (Television and InfraRed Operating System) e, conforme enfatizado pelo site da *Agência Espacial Norte-Americana (NASA)*, “*the world's first weather satellite lifted off from Cape Canaveral, Fla., opening a new and exciting dimension in weather forecasting*”. Esse satélite foi destinado a fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, e, por conseguinte, a ocorrência e intensidade de eventos chuvosos, mudando para sempre a previsão do tempo e a investigação científica do clima (Figura 02). Nos anos e décadas seguintes, diversas outras séries de satélites com distintos sensores a bordo foram lançadas.

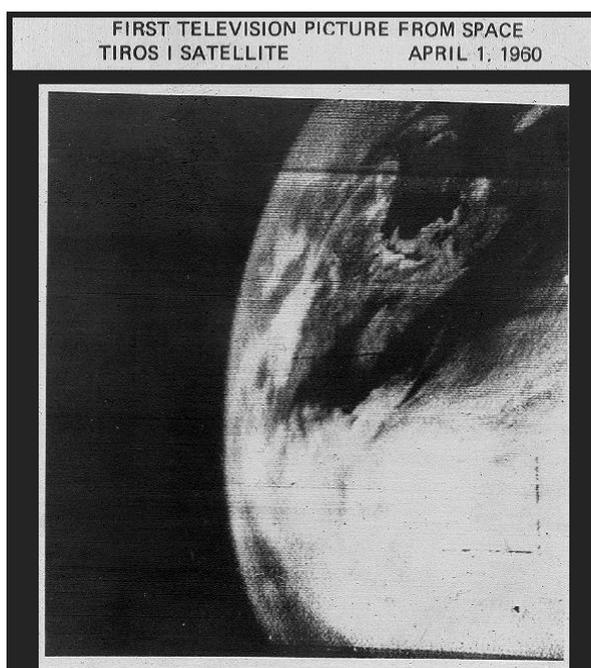


Figura 02 - Primeira imagem do satélite meteorológico TIROS I, de 1 de abril de 1960.
Fonte: Nasa.



2.3 Produtos do sensoriamento remoto voltados à Climatologia

O Quadro 01 sintetiza os principais elementos ou variáveis climáticas referentes à atmosfera, oceano e superfície capazes de serem mensurados remotamente, conforme apontado pelo Segundo Relatório de Adequação do Sistema de Observação do Clima Global (Global Climate Observing Systems, 2003).

Atmosfera	Temperatura do ar; Precipitação; Pressão atmosférica; Fluxo de radiação; velocidade e direção do vento; Umidade atmosférica; Propriedade das Nuvens e; Composição de dióxido de carbono, de metano, de ozônio e de aerossóis.
Oceano	Temperatura da superfície do mar; Salinidade da superfície do mar; Nível do mar.
Superfície	Vazão fluvial; Nível dos lagos; Cobertura de gelo; Geleiras e cobertura de gelo; <i>Permafrost</i> ; Albedo; e focos de calor.

Quadro 01 – Elementos climáticos passíveis de serem mensurados por sensores remotos
Fonte: Global Climate Observing Systems (2003), - com adaptação.

Dentre os dados levantados por Sensoriamento Remoto e aplicáveis ao estudo do clima, cabe aqui destacar os produtos de estimativa de precipitação, temperatura superficial terrestre e marítima, umidade, direção e velocidade do vento, radiação solar e terrestre, índices de radiação ultravioleta (IUV), insolação, sistemas atmosféricos atuantes, queimadas, cobertura e altura de nuvens, nevoeiros, temperatura vertical da atmosfera, emissividade superficial, cobertura de gelo, albedo, descargas elétricas e até mesmo mensuração de ozônio e poluição na atmosfera.

2.4 Potencialidades e restrições do emprego de dados orbitais na Climatologia

As imagens dos satélites fornecem subsídio ao levantamento das condições do tempo atmosférico e, por consequência, à identificação e à verdadeira compreensão das características e variabilidades espacial e temporal do clima, na medida em que a identificação, quantificação e monitoramento dos elementos climáticos (temperatura, precipitação, massas de ar etc.).

Além disso,

Satellite data are frequently used with climate models to simulate the dynamics of the climate system and to improve climate projections. Satellite data also contribute significantly to the improvement of meteorological reanalysis products (...). Data from satellite remote sensing is also widely used for developing prevention, mitigation and adaptation measures to cope with the impact of climate change (YANG, et al., 2013, p. 875)



Por isso é possível afirmar que o Sensoriamento Remoto proporcionou à Climatologia uma gama de possibilidades, tanto no que se refere ao arcabouço metodológico quanto à disponibilização de dados, ganhando uma dimensão espacial e temporal jamais obtida até então – com os registros pontuais oriundos das estações meteorológicas.

Para tanto, os estudos climáticos por sensores orbitais devem se pautar nos pressupostos de que os satélites fornecem:

As observing systems of the earth and its atmosphere. As such, weather satellites have several specially valuable characteristics and abilities. 2) As highly convenient data collection platforms. 3) As communication links between widely spaced ground stations between which large daily exchanges of weather data must take place (BARRET, 1974, p. 10).

Desde o lançamento do TIROS I em 1960, os satélites contribuíram à pesquisa em Climatologia como fonte de registros meteorológicos, fornecendo dados históricos e sinóticos horários, diários, mensais e anuais de séries de dados que variam conforme a vida útil dos satélites. É esse fundamento que possibilita o emprego de dados de satélites meteorológicos à Climatologia, pelo fato de ser possível compor séries históricas consistentes com os dados provenientes de satélites, permitindo a frequência de suas observações – sejam séries de trinta anos, conforme preconizado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) como capazes de representar todas as variações dos elementos e fenômenos climáticos em determinada porção do espaço geográfico, ou mesmo séries de curto período baseados nas observações de episódios-padrão.

Sobre isso, Dubreuil (2005) lembra que recentemente as séries de dados satelitários passam a ser realmente exploráveis para a Climatologia visto que as observações iniciadas no final dos anos 1970 já duram mais de 40 anos de observação para os produtos NOAA ou GOES, portanto, ultrapassando a série temporal mínima de dados preconizada pela OMM.

Outra vantagem da Climatologia por satélite se baseia na abrangência espacial dos sensores remotos capaz de cobrir toda a superfície terrestre (desde áreas habitáveis, como grandes, cidades a regiões inóspitas, como geleiras e desertos), permitindo análises globais, mas também as regionais e/ou locais.

Possivelmente, esses dois pontos sejam as maiores vantagens em empregarem-se dados de Sensoriamento Remoto em Climatologia, postos a limitação da esparsa e irregular localização das estações meteorológicas, sobretudo em áreas localizadas em países em desenvolvimento como é o caso do Brasil, e a qualidade e pequena extensão das séries temporais, por falta de manutenção, de problemas nos equipamentos de registros ou erro dos profissionais responsáveis pela coleta e registro dos dados meteorológicos.



Ainda, uma das grandes vantagens em se trabalhar com dados orbitais climáticos se refere a relativa facilidade de aquisição dos registros, em função dos acervos disponibilizados por agências e órgãos governamentais, como é o caso do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*.

Contudo, a Climatologia por satélites não possui apenas vantagens; visto que alguns cuidados e ressalvas devem ser consideradas, como: 1) o manejo de grande volume de dados; 2) o trabalho com diferentes escalas espaciais e temporais; 3) a manutenção e degradação temporal do sensor orbital; 4) a calibração do sensor e validação do dado; 5) o recurso computacional necessário para processamento. (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2004).

O problema do grande volume de dados praticamente se encontra solucionado devido ao desenvolvimento dos sistemas de armazenamentos móveis (mídia *pendrive* e DVD) e fixos (HD) dos computadores, uma vez que os arquivos orbitais referentes aos elementos climáticos se tratam de dados matriciais que, dependendo da extensão da área registrada, pode chegar a mais de 4 gigabytes. Ainda sobre os recursos computacionais, vale ressaltar o grande avanço na capacidade de processamento desses equipamentos. A esse fato também se dá a resolução do 5º ponto apresentado pela *National Research Council* (2004), uma vez que o desenvolvimento dos computadores, tanto nos seus sistemas de armazenamento quanto de processamento, possibilitam recursos ágeis e eficientes para o processamento de arquivos digitais.

No que concerne às diferentes escalas espaciais dos dados climáticos orbitais, a tecnologia computacional dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilita a compilação e manipulação de diversos dados de fontes e escalas distintos. Porém a correlação de dados de diferentes escalas deve respeitar a menor escala cartográfica existente entre os dados inseridos no ambiente SIG e ainda, considerar que a simples manipulação visual (em termos de *zoom*) não é capaz de alterar a escala dos dados.

No que concerne aos dados climáticos levantados por satélites, convém destacar que os diferentes elementos serão levantados por distintos satélites que possuem resoluções espaciais diferentes. Senso assim, para a correlação de dados de diferentes resoluções, tratamentos digitais para a homogeneização das escalas se fazem necessários.

Ao elaborar uma base de dados em climatologia, outro ponto a ser observado se dá na homogeneização da série temporal. Considerando que os dados referentes aos elementos climáticos serão levantados por diferentes sensores orbitais que possuem data de lançamento, vida útil e período de visita/registro de imagem distintos, é necessário que a



compilação dos dados respeite a delimitação de uma série temporal comum à todos os dados.

Além de considerar que os satélites necessitem de manutenção conforme a degradação temporal de seus sistemas orbitais, também se fazem necessárias a calibração e a validação dos dados orbitais com base em dados registrados em superfície, visto que as imagens e informações orbitais sofrem a interferência da atmosfera. Alguns autores chamam a atenção para o fato de não ser possível depender apenas dos dados climáticos orbitais, uma vez que essa tecnologia é ainda jovem e não proporciona uma extensa série temporal de dados – essencialmente pelo recente começo dos registros de dados e da curta vida útil dos satélites.

Contudo, alguns cuidados devem ser observados no emprego de dados de estações de superfície para validação de dados satelitários em Climatologia. Primeiramente, convém a ressalva de que a rede de estações meteorológicas utilizadas para a validação dos dados orbitais ainda é bastante rarefeita e concentrada em regiões mais desenvolvidas. Em segundo momento, é oportuno lembrar que enquanto o dado pontual representa o valor do elemento climático em questão apenas em um pequeno entorno da estação, o pixel da imagem registrada pelo satélite diz respeito a uma média da área registrada que varia conforme a resolução espacial do sensor orbital. Por exemplo, um sensor com a resolução espacial de 1 km representa o valor médio de uma área de 1 por 1 km de extensão. Portanto, no processo de validação do dado orbital empregando os dados coletados por estações, é necessário considerar a característica fisiográficas e morfoestrutural da área considerada pelo pixel da imagem de satélite, sendo importante haver certa homogeneidade por toda extensão do pixel para que os dois dados sejam realmente correlacionáveis.

Como deficiências e questões a serem sanadas para assegurar a utilidade da aplicação de satélites de Sensoriamento Remoto na Climatologia, o Segundo Relatório de Adequação do Sistema de Observação do Clima Global (Global Climate Observing Systems, 2003) aponta, a respeito da continuidade e homogeneidade da série de dados orbitais, que novos sensores com tecnologias mais avançadas podem gerar medições distintas daquelas realizadas pelos sensores anteriores, e períodos de sobreposição entre o velho e o novo sensor deve ser realizada com calibração para garantir a continuidade dos registros; e lembra, acerca da calibração dos dados orbitais para os propósitos climáticos, que os sensores devem incluir informações sobre a calibração *on-board* e disponibiliza-las como parte dos metadados e que a calibração cruzada entre sensores semelhantes é essencial para registros de longas séries temporais.



3. Conclusão

As imagens obtidas por satélites de Sensoriamento Remoto têm servido ao estudo do tempo e do clima, mudando drasticamente as pesquisas realizadas no âmbito da Climatologia, propiciando avanços no entendimento do sistema climático e providenciado a mensuração e monitoramento de elementos e fenômenos atmosféricos, em intervalos regulares de tempo e em uma escala, conforme apontado por Yang et al (2013) e Dubreuil (2005).

Apesar das restrições, o emprego de dados de Sensoriamento Remoto a Climatologia se mantém como uma alternativa para os problemas derivados do registro de dados de superfície realizado por estações e instrumentos meteorológicos, partindo-se do pontual para uma análise do contínuo espacial, com dados históricos e sinóticos provenientes de imagens satelitárias.

4. Referências Bibliográficas

- BARRET, E. C. **Climatology from Satellites**. London, New Fetter Lane, 1974. 11 ed.
- BRADLEY, R. S.; JONES, P. D. **Climate Since A.D. 1500**. London: Routledge, 1992. 144 P.
- DUBREUIL, V. Clima e Teledetecção: uma abordagem geográfica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1. n. 1, dez. 2005, p. 76-99.
- FERREIRA, A. G. **Interpretação de imagens de satélites meteorológicos**: uma visão
- GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEMS. The second report on the adequacy of the global observing systems for climate in support of the UNFCCC. Rep. GCOS-82, WMO/TD n. 1143, 74 p, 2003.
- KIDD, C.; LEVIZZANI, V.; BAUER, P. A review of satellite meteorology and climatology at the start of the twenty-first century. **Progress in Physical Geography**. 33 (4). 2009. p. 474-489.
- MONTEIRO, C. A. F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. **Geosul**, v. 5, n. 9, p. 7-19, 1990.
- _____. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990.
- _____; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Climate Data Records from Environmental Satellites**. Washington, DC: The National Academies Press, 2004. 136 p.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4º ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 210 p.
- SANT'ANNA NETO, J. L. História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima. Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.



_____; NERY, J. N. Variabilidade e Mudanças Climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: SOUZA, C. R. de G. et al. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. Cap. 2. P. 28-51.

YANG, J. et al. *The role of satellite remote sensing in climate change studies*. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 875-886, out. 2013.