

Tecnologias aplicadas para análise da atmosfera: breve histórico, cenário atual e perspectivas futuras

Marcos Vinícius Bueno de Moraes

Resumo

Dada a grande questão envolvendo as mudanças climáticas, neste capítulo será realizada uma breve descrição sobre as principais tecnologias aplicadas a dados ambientais e meteorológicos. Uma discussão sobre os instrumentos e metodologias aplicadas, trazendo uma contextualização histórica, assim como uma breve descrição sobre o seu funcionamento e uma análise sobre o cenário atual, é realizada. Para tanto, foram selecionados tópicos como: radiossondagem, o desenvolvimento de estações meteorológicas convencionais e automáticas, imagens de satélites, radares e modelagem numérica como principais elementos utilizados na previsão de tempo e análise ambiental no Brasil. Em seguida, algumas perspectivas futuras são levantadas sobre estes equipamentos, trazendo novos itens que já são utilizados em outras áreas, e que tem potencial para se tornar ferramentas essenciais para pesquisadores e meteorologistas no mundo todo. Fica evidente que a tendência é seguir a redução de custo, focando na compactação dos instrumentos, além da rápida comunicação para obtenção das informações meteorológicas.

Palavras-chaves: Mudanças climáticas; instrumentação meteorológica; inovação ambiental.

Technologies applied for analysis of the atmosphere: brief history, current scenario and future perspectives

Abstract

Given the major issue of climate change, a brief description of the main technologies applied to environmental and meteorological data will be given in this chapter. A discussion of the instruments and methodologies applied, bringing a historical context, a brief description of its operation and an analysis of the current scenario, is carried out. In order to do so, it is selected the radiosounding process, the development of conventional and automatic meteorological stations, satellite images, radar and numerical modeling as the main elements used in weather forecasting and environmental analysis in Brazil. Then, some future perspectives are raised on these equipment, bringing new items that are already used in other areas, and that can become essential tools for researchers and meteorologists worldwide. It is evident that the tendency is to follow the cost reduction, focusing on the compaction of the instruments, as well as the rapid communication to obtain the meteorological information.

Keywords: *Climate change; meteorological instrumentation; environmental innovation.*

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido a discussões a respeito das mudanças climáticas e do aquecimento global, a meteorologia tem se tornado um dos principais assuntos no meio acadêmico e nos noticiários. Este tema envolve muitas dimensões - ciência, economia, sociedade, política e questões morais e éticas - e é um problema global, que afeta escalas locais, e com repercussões que ainda permanecerão por vários anos.

Considerando que já estamos comprometidos com algum nível de mudança climática, a ciência envolve uma abordagem em duas vertentes como resposta a tais mudanças (NASA, 2018):

- Reduzir as emissões e a estabilizar os níveis de gases com efeito de estufa na atmosfera ("*mitigação*");
- Adaptar-se às mudanças climáticas já em curso ("*adaptação*").

Estas duas linhas devem ser a tendência das discussões acadêmicas a respeito das mudanças climáticas. Considerando este fato, o desenvolvimento tecnológico na área ambiental se torna cada vez mais uma necessidade. Mais que isto, aponta uma direção para a sustentabilidade e boas práticas ambientais.

Não é de hoje que surge uma necessidade tecnológica na meteorologia. Smith (1991) detalha o motivo do desenvolvimento e do uso de informações obtidas com a utilização de radiossondas e satélites na meteorologia. Como era de se esperar, o principal deles é a previsão do tempo. Desde o início da previsão numérica do tempo (RICHARDSON, 1922), há necessidade de dados com excelentes resoluções espaciais e temporais para análise e validação destas previsões, e tanto satélites quanto radiossondagens atmosféricas permitiram obter informações do que acontece com variáveis meteorológicas importantes como vento, temperatura e umidade na atmosfera, não somente em níveis mais próximos da superfície assim como das variações em níveis médios e altos da atmosfera.

A obtenção de dados meteorológicos mediante a utilização de radiossondagens consiste em acoplar a um balão meteorológico sensores para coletar e transmitir informações como temperatura, umidade e pressão atmosférica, em diversos níveis verticais, sendo que alguns deles são pré-estabelecidos e padrão para todas as medições realizadas mediante este tipo de procedimento. Após atingir uma altura de aproximadamente 35 km acima da superfície, o balão se rompe e um pequeno pára-quadras se abre na radiossonda, trazendo o equipamento (sensores e rádio-transmissor de dados) de maneira segura para a Terra. A sua primeira utilização foi na França, em 1923, com os pesquisadores Pierre Idrac e Robert Bureau (IDRAC; BUREAU, 1927). Harrison (2014) destaca que só em meados dos anos 1930 que a comunidade meteorológica considerou esta medida adequada para uso rotineiro. Estas informações são fundamentais para estudos sobre turbulência atmosférica, formação de gelo em camadas médias e altas da atmosfera, probabilidade de ocorrência de tempestades, formação de nuvens, etc. Por isto, a obtenção de dados através deste método tem grande aplicação na meteorologia aeronáutica, pesquisa e modelagem numérica da atmosfera.

Outra importante fonte de informação é aquela obtida por imagens de satélite. Basicamente, este processo corresponde na obtenção de uma espécie de fotografia de alguma parte da Terra. Nos Estados Unidos, dois experimentos foram desenvolvidos na década de 1960 para o vôo no satélite meteorológico experimental NIMBUS-3: (1) um interferômetro de Michelson, chamado IRIS (do inglês, *Infrared Radiation Interferometer Spectrometer*; CONRATH et al., 1970), que mede o espectro do infravermelho radiação emitida para espaço pela terra e atmosfera, e (2) um espectrômetro de grade chamado SIRS (do inglês, *Satellite Infrared Radiation Spectrometer*; WARK et al., 1969) que mediu a radiação para o espaço em oito bandas espectrais distintas. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) participa do programa de cooperação CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), que já está na quarta geração de satélites em órbita para o estudo e aplicações meio ambientais. Além das imagens que estes satélites proporcionam e que auxiliam a análise e previsão do tempo, alguns contam com sensores que permitem realizar sondagens verticais e obter informações tanto de variáveis meteorológicas como de concentração de poluentes na atmosfera, permitindo estudar, no globo todo, os efeitos das mudanças climáticas.

Além destes equipamentos, também existem inúmeras tecnologias desenvolvidas e aplicadas na meteorologia, seguindo padrões determinados por órgãos internacionais, e que também são utilizadas em outras áreas do conhecimento, como a geração energia, aviação, poluição ambiental, etc. Para estes, destacam-se os radares meteorológicos,

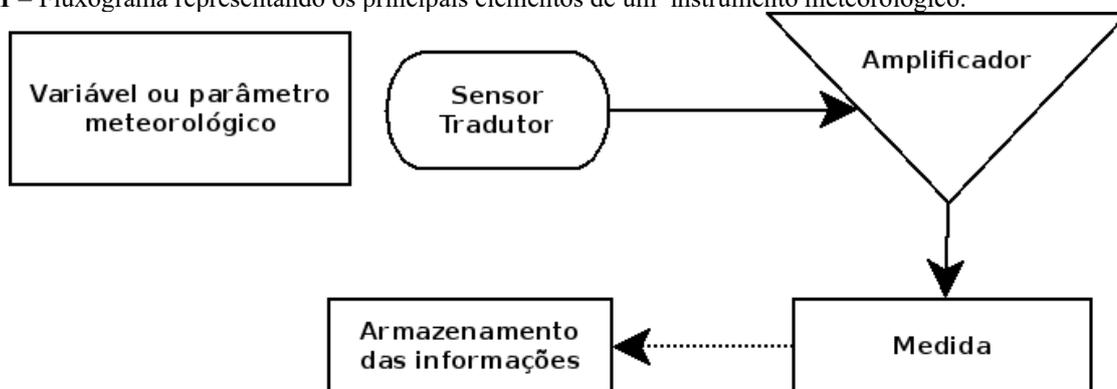
estações automáticas de superfícies, bóias, entre outros. Isto mostra a importância da tecnologia nesta área de estudo. A seguir é apresentada uma breve descrição de alguns equipamentos para monitoramento atmosférico, descrevendo o seu funcionamento e algumas das suas aplicações. Também serão apresentadas algumas perspectivas futuras baseadas nas atuais condições tecnológicas e nas projeções das mudanças climáticas.

2 ALGUMAS APLICAÇÕES ATUAIS

2.1 Instrumentação Meteorológica

Segundo Harrison (2014), um instrumento é um dispositivo ou sistema físico, usado para medir ou monitorar algo. Este equipamento pode assumir a forma de um dispositivo portátil não alimentado, como um termômetro, ou pode necessitar hardware e software para obter e processar os resultados (por exemplo, um receptor e processador de radiosonda). A Figura 1 mostra um fluxograma dos principais elementos presentes em um instrumento ou sistema de medidas de alguma variável meteorológica.

Figura 1 – Fluxograma representando os principais elementos de um instrumento meteorológico.



Fonte: o autor. Adaptado de Harrison (2014).

A *variável* corresponde a uma grandeza física a ser medida, como pressão, temperatura ou umidade. O *sensor* é um dispositivo que responde de alguma maneira às mudanças da variável que se quer medir. O *transdutor* é a energia transferida para converter a resposta do sensor em outra quantidade, como um sinal elétrico. Já o *amplificador* é o que aumenta a magnitude deste pequeno sinal elétrico. A *medida* mostra a saída do sensor e, por último, o *armazenamento de informações* é o dispositivo que guarda as informações medidas. Este pode ser um filme, um papel de anotações ou até mesmo algum armazenamento eletrônico.

Uma **estação meteorológica** é um exemplo típico de um instrumento, conforme descrito na Figura 1. Ela é constituída de aparatos que medem as variáveis da atmosfera. As chamadas *estações convencionais* utilizam equipamentos mecânicos e dependem de um observador capacitado para a leitura correta das informações. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM; 2012), uma estação meteorológica convencional que faz observações de superfície deve observar e registrar as seguintes variáveis: tempo presente, tempo passado, direção e intensidade do vento, quantidade, tipo e altura da base das nuvens presentes, visibilidade horizontal, temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, espessura da camada de neve, insolação e radiação solar, temperatura do solo e evaporação.

Para a OMM, uma estação meteorológica automática corresponde a uma estação que realiza medições de variáveis atmosféricas de forma autônoma e a transmissão dos

dados é feita automaticamente (OMM; 2012). Este tipo de estações contam com equipamentos eletrônicos com a capacidade de armazenar as informações, fornecendo-as, geralmente, num intervalo de tempo menor quando comparada às leituras realizadas em estações convencionais. A Figura 2 mostra uma típica estação meteorológica automática.

Para exemplificar a importância de equipamentos como este, a aquisição de dados nas chamadas *estações solarimétricas* (estações meteorológicas automáticas similares à da Figura 2, mas que contêm sensores específicos para aplicações no âmbito da captação de energia solar fotovoltaica), é um elemento obrigatório exigido pela Empresa Pesquisa Energética (EPE) para participação de leilões de energia fotovoltaica. Nesse caso, dados ambientais adquiridos no ponto selecionado para a instalação do empreendimento devem ter pelo menos 12 meses consecutivos de amostragem para fazer parte da certificação de dados solarimétricos e do cálculo da produção anual de energia, ambos exigidos pela EPE (MME, 2017).

Figura 2 – Imagem de uma estação meteorológica automática. Uma estação deste modelo é capaz de medir chuva, intensidade e direção do vento, temperatura, umidade, radiação solar e pressão atmosférica.



Fonte: Public Domains Image

Não só a estação meteorológica utiliza o princípio apresentado na Figura 1. O próprio *radar (Radio Detection and Ranging)* meteorológico utiliza o mesmo esquema. De maneira geral, os radares meteorológicos enviam rápidos impulsos direcionais de

radiação de micro-ondas, que colidem com algum objeto, seja este hidrometeoros – que são quaisquer elemento sólido ou líquido em suspensão na atmosfera (gota de chuva, cristais de gelo que formam nuvens, gotícula de nuvem, granizo, etc.), ou qualquer outro objeto desde partículas microscópicas de poluentes, poeira, insetos, pássaros ou até aviões. Dependendo do eco que o objeto gera, é possível identificar as características dele assim com a distância com relação ao radar que emitiu a onda. Há diversas categorias de radar dependendo da quantidade de polarizações que medem. Um radar meteorológico convencional mede apenas uma polarização. Isto é faz uma varredura horizontal ou vertical detectando objetos num instante determinado. Já com o radar *doppler*, existe a possibilidade de determinar se o objeto se afasta ou aproxima da fonte emissora da onda. Os radares multipolarizados fazem varreduras em várias polarizações com os quais é possível identificar, por exemplo, o formato de um cristal ou pedra de gelo que gerou o eco. A Figura 3 mostra a imagem do radar do IPMET, do tipo doppler, localizado na cidade de Bauru, interior de São Paulo.

Figura 3 – Imagem da torre do radar meteorológico do IPMET, no campus da UNESP de Bauru.



Fonte: Faculdade de Ciências/UNESP, campus Bauru.

2.2 Poluição Atmosférica

Uma das principais causas para as mudanças climáticas é o aumento dos gases antrópicos, surgidos principalmente após a revolução industrial na década de 50 (ANDREAE, 2001). São vários os gases que influenciam e modificam a estrutura e balanço da atmosfera, e muitos deles também diretamente a saúde das pessoas. Entre eles, as emissões de Material Particulado (MP) podem causar problemas de coração (MAR et al., 2000). Para este poluente, Almeida et al. (2017) utilizou um equipamento que continha um monitor de massa de partícula portátil para identificar entre a partícula fina (com espessura de 2,5 micrometros – $MP_{2,5}$) e a grossa (com espessura de até 10 micrometros – MP_{10}). A contagem é feita a partir do espalhamento de um laser.

Outro poluente de extrema importância para estudos com foco na saúde humana é o ozônio troposférico. No trabalho de Urbina Guerrero (2016) são citadas algumas das

características deste poluente assim como também seus efeitos na saúde das pessoas e plantações. Por suas características oxidativas e inflamatórias, o ozônio troposférico afeta principalmente as vias respiratórias superiores das pessoas. Já nas plantas, em regiões de concentrações elevadas deste poluente se observa modificação na coloração de folhas o que reduz a fotossíntese. Equipamentos como o aethalometro (MIROWSKY et al. 2015) é capaz de medir este poluente. Este equipamento se baseia na atenuação de um feixe de luz transmitido numa amostra coletada num filtro.

2.3 Modelagem Numérica

O desenvolvimento de modelos de computador para simulação numérica da atmosfera e os oceanos é um dos grandes triunfos científicos dos últimos cinquenta anos. Estes modelos melhoraram a compreensão dos complexos processos que acontecem tanto na atmosfera assim como nos oceanos. Os modelos do sistema terrestre podem ser considerados como um dos melhores meios que temos para prever o futuro do nosso clima. As ideias básicas de previsão numérica e modelagem climática foram desenvolvidas cerca de um século atrás, muito antes do primeiro computador eletrônico ter sido construído (KALNAY, 2002).

No entanto, avanços em várias frentes foram necessários antes da previsão numérica do tempo ser colocada em prática de modo rotineiro. Destacam-se os avanços no entendimento da dinâmica atmosférica, no desenvolvimento de sistemas simplificados de equações, nas observações regulares da atmosfera para fornecimento das condições iniciais, esquemas de diferenças finitas estáveis e computadores eletrônicos poderosos. Todos estes itens favoreceram a melhoria da previsão numérica do tempo e do clima no mundo.

Em nível de área de abrangência, há basicamente dois tipos de modelos numéricos de previsão do tempo: os de escala global, que resolvem equações para o globo todo de forma simultânea, que tem um refinamento espacial limitado pelo tempo de cálculo para resolução destas equações; e os de escala regional, que por focar numa área menor, permite que o tempo gasto para resolver as equações das diferentes variáveis seja menor o bem permita um resultado mais próximo da realidade local dado o melhor detalhamento dos diversos parâmetros de entrada que alimentam estes modelos.

Muitos destes modelos de previsão do tempo também têm em consideração a evolução dos poluentes atmosféricos. Atualmente, no Brasil, o CPTEC-INPE (Centro de Previsão do Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) conta com o modelo BRAMS (FREITAS et al., 2016; MORAIS et al. 2016). Até meados de 2017, o software utilizava 9,6 mil processadores do supercomputador Tupã, instalado no CPTEC, adquirido com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Com espaçamento de grade horizontal de 20 km e com antecedência de 84 horas, cuja nova versão permite a visualização da poluição atmosférica em megacidades da América do Sul como São Paulo e Rio de Janeiro, e de plumas de monóxido de carbono de queimadas. Já a previsão do tempo sem a presença da química atmosférica – sem incluir os aspectos químicos – tem espaçamento horizontal de 5 km.

Assim como podem ser realizadas previsões das condições atmosféricas em curtos prazos de tempo com a ajuda dos modelos de previsão do tempo, modelos climáticos de previsão ajudam a estimar as condições da atmosfera vários anos para frente, considerando não apenas as condições atuais do tempo e clima, senão que também incluindo diversos cenários de evolução poluentes, expansão dos centros urbanos,

mudanças na utilização do solo e evolução e mudança da agricultura tanto no mundo quanto em áreas mais reduzidas (IPCC, 2013).

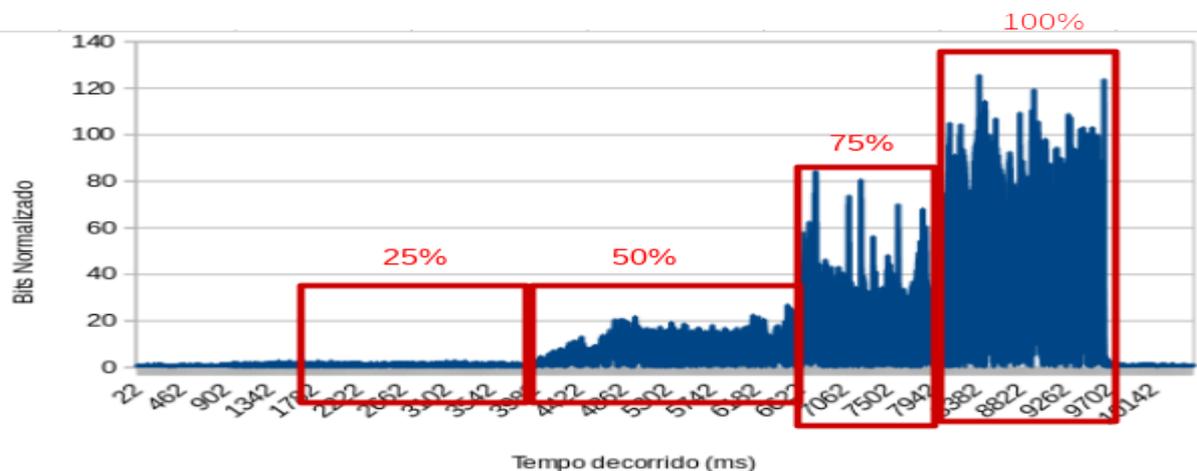
3 PERSPECTIVAS FUTURAS

Do ponto de vista de avanço tecnológico, a tendência dos instrumentos meteorológicos é a redução de custo. A necessidade de uma ampla rede de estações, para discussões como o avanço das mudanças climáticas, tem aberto uma série de discussões sobre o barateamento das estações automáticas de medição. Isto não só devido à aquisição do equipamento, mas também na manutenção e reposição de peças. Estações modulares e compactas (SILVA et al., 2017), com rápida aquisição de dados (FERREIRA ROSÁRIO et al., 2017), independente da plataforma (web, pc ou mobile), serão tendências num futuro próximo.

Segundo Marengo et al. (2009), poderá haver o aumento de eventos atmosféricos extremos em função das mudanças climáticas. Para tanto, equipamentos eletro-mecânicos deverão ser considerados aliados dos pesquisadores, engenheiros e meteorologistas. Por exemplo, se considerarmos as tempestades de granizo, equipamentos eletrônicos que simulam o ouvido poderão ser usados para a análise da duração da chuva e tamanho das pedras. Afinal, o próprio ouvido humano é capaz de identificar o início do granizo quando as pedras colidem com o telhado. Alves e Morais (2017) mostram que com um simples sensor de detecção de intensidade sonora, as tempestades de granizo podem ser descritas de maneira mais eficaz que com os chamados *hailpads* (MARTINS et al., 2016), realizando esta simulação. A Figura 4 mostra resultados deste trabalho.

Dado ao elevado custo de manutenção dos supercomputadores, a tendência na previsão numérica da atmosfera é a execução destes modelos em outras arquiteturas, como as GPUs (*Graphics Processing Units*; MICHALAKES & VACHHARAJANI, 2008). Devido a capacidade de alto processamento gráfico em paralelo, e com a adaptação dos códigos dos modelos para o CUDA (*Compute Unified Device Architecture*), os modelos numéricos são capazes de ser executados até 8 vezes mais rápidos e eficientes que em computadores domésticos. Além disso, devido ao baixo custo, aplicativos armazenados na nuvem (MORAIS et al. 2014) e equipamentos com arquiteturas como o ARM (MORAIS et al. 2017), também são tendências. Este último é válido quando executado em clusters.

Figura 4 – O gráfico apresenta os resultados de um teste com o sensor KY-038 em uma posição fixa entre ele e uma caixa de som. O som foi aumentado gradualmente simulando as pedras de granizo.



Fonte: Alves e Morais (2017)

Axisa e DeFelice (2016) destacam outra ferramenta para aplicação na meteorologia: o uso de Veículos Não Tripulados (VNT). Numa análise com outras aplicações, como a aplicação da agricultura de precisão, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode ser utilizado para identificar condições atmosféricas, como por exemplo, o aumento da precipitação numa nuvem, formação de granizo e dispersão de nevoeiro. No momento, a grande dificuldade do uso do VANT para aplicações na meteorologia é o elevado custo e o manuseio do equipamento.

4 CONCLUSÃO

É notório que o avanço tecnológico e a meteorologia sempre andaram lado a lado. E a tendência é continuar assim. O desenvolvimento computacional contínuo, as pesquisas na área e a necessidade de rápida comunicação sugerem que o aumento do volume de dados observacionais continuará. Para tanto, será necessário um aperfeiçoamento e a redução de custo no desenvolvimento de sistemas para redes de observação automatizados e melhorias no sistema de sensoriamento remoto já existentes.

Os computadores utilizados para previsão do tempo precisarão de mais largura de banda, capacidade de armazenamento e poder de processamento para lidar com o aumento rápido esperado de dados. Isto porque os modelos serão cada vez de maior resolução temporal e espacial. Com isto, alternativas de novas metodologias para processamento deverão ser o foco de pesquisadores e desenvolvedores.

Além disso, deve-se dar destaque aos VANTs. Estes sistemas de voês tem grande potencial, podendo garantir informações espaciais tridimensionais, e com alta resolução espacial. Para tanto, o sistema deve garantir alta autonomia de carga e redução de custo, sendo este o grande desafio para os desenvolvedores nesta área.

REFERÊNCIAS

ANDREAE, M.O. The dark side of aerosols. **Nature**, [S.l.], v. 409, p. 671-672, 2001.

ALMEIDA, Daniela Sanchez et al. Genotoxic effects of daily personal exposure to particle mass and number concentrations on buccal cells, **Atmospheric Environment**, [S.l.], v. 176, p. 148-157, 2018. Disponível em: [http://portal.research.lu.se/portal/en/publications/genotoxic-effects-of-daily-personal-exposure-to-particle-mass-and-number-concentrations-on-buccal-cells\(529a0de3-1430-4060-ad81-63481b4f31cb\).html](http://portal.research.lu.se/portal/en/publications/genotoxic-effects-of-daily-personal-exposure-to-particle-mass-and-number-concentrations-on-buccal-cells(529a0de3-1430-4060-ad81-63481b4f31cb).html). Acesso em: maio 2018.

ALVES, C. A. ; MORAIS, M. V. B. Sensibilidade do sensor de intensidade sonora para detecção de granizo. In: CONGRESSO DE PESQUISA CIENTÍFICA, 7., 2017, Garça. **Anais...** Garça: Faculdade de Tecnologia de Garça, 2017. v. 7.

AXISA, D.; DEFELICE, T. P. Modern and prospective technologies for weather modification activities: a look at integrating unmanned aircraft systems. **Atmospheric Research**, [S.l.], v. 178–179, p. 114-124, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809516300552>. Acesso em: maio 2018.

CONRATH, B. J, C. et al. The infrared interferometer experiment on Nimbus-3. **Journal of Geophysical Research**, [S.l.], v. 75, p. 5831-5857, 1970.

FERREIRA ROSÁRIO, G. P. A.; MORAIS, M. V. B. Desenvolvimento de uma API para monitoramento de variáveis meteorológicas. In: CONGRESSO DE PESQUISA CIENTÍFICA, 7., 2017, Garça. **Anais...** Garça: Faculdade de Tecnologia de Garça, 2017. v. 7.

FREITAS, S. R. et al. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. **Geoscientific Model Development Discussions**, [S.l.], v, 130, p. 1–55, 2016. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/english/biblio/brazilian-developments-regional-atmospheric-modeling-system-brams-52-int>. Acesso em: maio 2018.

HARRISON, Giles. **Meteorological measurements and instrumentation**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2014.

IDRAC, Pierre; BUREAU, Robert. Expériences sur la propagation des ondes radiotélégraphiques en altitude. **Comptes Rendues**, [S.l.], v. 184, p. 691-692, 1927.

IPCC. **The physical Science basis: working group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

MAR, T. F. et al. Associations between air pollution and mortality in Phoenix, 1995–1997. **Environmental Health Perspective**, [S.l.], v. 108, p. 347-353, 2000.

MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, [S.l.], v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.1863>. Acesso em: maio 2018.

MARTINS, J. A. et al. Climatology of destructive hailstorms in Brazil. **Atmospheric Research**, [S.l.], v. 184, p. 126-138, 2016.

MICHALAKES, J.; VACHHARAJANI, M. GPU acceleration of numerical weather prediction. **Parallel Processing Letters**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 531–548, 2008.

MIROWSKY, J. E. et al. Repeated measures of inflammation, blood pressure, and heart rate variability associated with traffic exposures in healthy adults. **Environmental Health**. [S.l.], v. 14, n. 66. Disponível em: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-015-0049-0>. Acesso em: maio 2018

MME/EPE. **Expansão da geração de empreendimentos fotovoltaicos**. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de>

[energia/Documents/Instrucoes/EPE-DEE-065_2013_R4_2017_UFV.pdf](#). Acesso em: 15 jan. 2018.

MORAIS, M. V. B. et al. Análise do desempenho computacional de modelos In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL,35., 2014, Natal. **Anais...** [S.l.], Natal, 2014. v. 5.

MORAIS, Marcos Vinicius Bueno de et al. A modeling analysis of urban canopy parameterization representing the vegetation effects in the megacity of São Paulo. **Urban Climate**, Amsterdam, v. 17, p. 102-115, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.004>. Acesso em: maio 2018.

MORAIS, M. V. B.; URBINA GUERRERO, V. V.; MANFIO, E. R. Análise do desempenho da previsão numérica de tempo em arquiteturas ARM para nowcasting, e-F@tec, Garça, v. 7, p. 4, 2017.

NASA. **Responding to climate change**. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation/>. Acesso em: 15 Jan. 2018.

ORGANIZAÇÃO METEOROLOGICA MUNDIAL (OMM). **Guide to meteorological instruments and methods of observation WMO-No. 8**, 2008 edition, 2012.

RICHARDSON, Lewis Fried. **Weather prediction by numerical process**. Cambridge: Cambridge University Press, 1922.

SILVA, V. A. D. ; MORAIS, M. V. B. ; MANFIO, E. R. Aplicação do conceito de indução eletromagnética para velocidade do vento. IN: CONGRESSO DE PESQUISA CIENTÍFICA,7., 2017, Garça. **Anais...** Garça: Fatec, 2017. v. 7.

SMITH, William L. Atmospheric soundings from satellites—false expectation or the key to improved weather prediction?. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, [S.l.], v. 117, n. 498, p. 267–297, 1991. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.49711749802>. Acesso em: maio 2018.

URBINA GUERRERO, V. V. **Condições atmosféricas associadas à dispersão de poluentes nas cidades de São Paulo e Santiago**. 2016. 203 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

WARK, D. Q. et al. Atmospheric temperature determinations from the SIRS-A on Nimbus 111. In: SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 6., 1969, Ann Arbor, Michigan. **Anais...** Ann Arbor, Michigan: University of *Michigan*, 1969. p. 451-467.