

Previsão de Tempo no Brasil: Uma Breve Revisão Histórica

Weather Forecasting in Brazil: A Concise Historical Review

Valdo da Silva Marques¹  & Claudine Dereczynski² 

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciências e Tecnologia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: valdosmarques@gmail.com; claudine@acd.ufrj.br

Resumo

O objetivo principal deste artigo é descrever os fatores e as questões que determinaram a evolução da previsão de tempo no Brasil. Isso é feito com base numa revisão histórica da formação e evolução dos serviços meteorológicos nacionais nos últimos 170 anos e o desenvolvimento dos métodos de previsão de tempo. As mudanças nas rotinas dos serviços de previsão de tempo nas duas instituições centenárias brasileiras, o Instituto Nacional de Meteorologia e a Marinha do Brasil, desde a elaboração das primeiras previsões subjetivas até os dias atuais, são destacadas. Acrescentam-se informações sobre os 14 cursos de graduação em Meteorologia no Brasil, que apoiam o desenvolvimento tecnológico dessa ciência, por meio de pesquisas científicas e formação de recursos humanos. A introdução do radar meteorológico na década de 1970, e suas atuais redes, assim como a elaboração das primeiras previsões numéricas de tempo (PNTs) pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) em 1995, também são descritas. Para complementar, apresenta-se uma enquete que retrata as atuais condições de trabalho dos previsores de tempo. Os resultados dessa enquete revelam que 45% dos 102 meteorologistas entrevistados utilizam o aplicativo Windy da República Tcheca para elaborar a previsão do tempo operacionalmente e quase 60% recorrem ao sítio da Wyoming University para obter dados de radiossondas lançados no Brasil. É importante ressaltar que a partir da introdução da PNT pelo CPTEC/INPE, no final da década de 1990, houve um grande avanço na previsão do tempo. Ademais, as redes observacionais sofreram grande ampliação, com aumento expressivo do número de estações meteorológicas nas últimas décadas. Apesar de todo o progresso alcançado, ainda existe a necessidade de investimentos na integração das redes observacionais e dos bancos de dados de várias instituições e na elaboração de aplicativos que atendam a demanda dos jovens meteorologistas nos centros operacionais.

Palavras-chave: Meteorologia Sinótica; Serviços de Meteorologia; Previsão Numérica de Tempo

Abstract

The main objective of this article is to describe the factors and issues responsible for the evolution of the weather forecast in Brazil. This is done based on a historical review of the formation and evolution of the national meteorological services in the last 170 years and the development of weather forecasting methods. Changes in the routines of weather forecasting services in two centenary Brazilian institutions, the National Institute of Meteorology and the Brazilian Navy, since the creation of the first subjective forecasts to the present day, are highlighted. Information about the 14 undergraduate courses in Meteorology in Brazil is given, which support the technological development of this science, through scientific research and training of human resources. The introduction of meteorological radar in the 1970s, and its current networks, as well as the elaboration of the first numerical weather predictions (NWP) by the Center for Weather Forecasting and Climate Studies (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE), in 1995, are also described. To complement, a survey is presented, showing the current working conditions of weather forecasters. The survey results reveal that 45% of the 102 meteorologists interviewed use the Czech Republic Windy application to prepare their weather forecasts operationally and almost 60% use the Wyoming University website to obtain data from radiosondes launched in Brazil. It is important to highlight that, since the introduction of NWP by CPTEC/INPE, at the end of the 1990s, there has been a great advance in the field of weather forecasting. Moreover, observational networks have undergone a great expansion, with a significant increase in the number of weather stations in recent decades. Despite all the progress achieved, there is still a need for the integration of observational networks and databases of various institutions. Finally, the development of applications that meet the demand of young meteorologists in the operational centers is advisable.

Keywords: Synoptic meteorology; Meteorology services; Numerical weather prediction

1 Introdução

A palavra Sinótica é proveniente do grego “Synoptkós” que significa apresentar uma visão geral do todo, elaborar uma sinopse. A Meteorologia Sinótica é o ramo da Meteorologia que trata do diagnóstico e previsão de sistemas meteorológicos com escalas espacial e temporal em torno de 1000 km e de 2 semanas, respectivamente (Gerrity et al. 2020). A história da Previsão de Tempo se confunde com própria história da Meteorologia e das instituições meteorológicas, já que as primeiras atividades desta ciência foram dedicadas à previsão de tempo. No Brasil, as primeiras atividades da Repartição Central Meteorológica da Marinha fundada em 1888, que se transformou no atual Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e o atual Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), fundado em 1909 tiveram como objetivo o fornecimento de “Avisos”, respectivamente aos Navegantes e aos Agricultores (Oliveira 2009). Esses avisos se transformariam mais tarde em previsões meteorológicas para os usuários. Assim, históricos abrangentes da Meteorologia no Brasil podem ser encontrados em textos comemorativos de ambas as instituições associadas com seus centenários: (i) sobre o CHM (Neiva 1988); e (ii) sobre o INMET (Oliveira 2009). Além disso, Sampaio Ferraz em seu artigo “A Meteorologia no Brasil” publicada no livro “As Ciências no Brasil”, organizado por Fernando de Azevedo em 1955, e republicado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1994, descreve em detalhes a fase embrionária da Meteorologia no Brasil desde o século 16 até meados do século 20 (Sampaio-Ferraz 1994).

O principal objetivo deste artigo é descrever os fatores e questões responsáveis pela evolução da previsão de tempo no Brasil. Isso é feito com base numa revisão histórica da formação e evolução dos serviços nacionais de Meteorologia nos últimos 170 anos e no desenvolvimento dos métodos de previsão de tempo. Destacam-se também os fatores que levaram a esta evolução, incluindo os novos métodos de observação meteorológica e de comunicação, além do extraordinário avanço da tecnologia da informação. As primeiras previsões subjetivas elaboradas no início do século 20 até as previsões numéricas de tempo (PNTs) são destacadas. Assim, este sumário histórico é dividido em 3 fases: A primeira fase (descrita na Seção 2), “Os Primórdios da Meteorologia”, cobre desde a fundação do Observatório Astronômico até a elaboração da primeira previsão meteorológica sistemática do início do século 20. A segunda fase (na Seção 3), “A Era da Previsão de Tempo Subjetiva”, estende-se desde os primeiras previsões de tempo até o início da PNT, produzida pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Finalmente, a

terceira fase (descrita na Seção 5) é referida como “A Era da Previsão Numérica de Tempo”. Na Seção 4 é apresentada uma breve história do Radar Meteorológico. A organização atual dos serviços de meteorologia é apresentada na Seção 6 e os principais sítios disponíveis para previsão de tempo são apresentados na Seção 7. Por último, as conclusões e considerações finais são apresentadas na Seção 8.

2 Os Primórdios da Meteorologia

A evolução da Meteorologia brasileira e seu reconhecimento como ciência física só começaram a se firmar após as primeiras observações meteorológicas regulares realizadas pelo Imperial Observatório do Rio de Janeiro. Após a independência do Brasil em 7 de setembro de 1822, o porto da cidade do Rio de Janeiro passou a ser muito frequentado por diversas embarcações, cujos capitães precisavam conhecer a declinação magnética, bem como a hora média e a longitude para regular seus cronômetros. Assim, o Governo Imperial decidiu criar na cidade do Rio de Janeiro, a exemplo de todos os “países cultos”, o Observatório Astronômico, fato que teve seu início com o decreto de 15 de outubro de 1827 (Morize 1987).

O Observatório Astronômico, embora fundado em 1827 só começou a operar quase 20 anos mais tarde, em 1846 quando começou a ser administrado pelo Ministério da Guerra sob um novo nome de “Imperial Observatório do Rio de Janeiro” (Liais 1881). Segundo o cientista alemão Frederico Maurício Draenert, um dos primeiros a descrever o clima do Brasil, as atividades meteorológicas no Observatório começaram em 1851 (Draenert 1886). Em 1871, o Observatório foi retirado da administração militar e reorganizado por seu novo diretor, o astrônomo francês Emmanuel Liais, que em 1881 foi sucedido pelo astrônomo belga Luís Cruls, que foi sucedido, após a sua morte em 1908, pelo astrônomo francês Henrique Charles Morize (Oliveira 2009; Sampaio-Ferraz 1994).

Considerando a história de um país que se tornou independente em 1822, as atividades meteorológicas terem sido iniciadas apenas 30 anos depois (em 1851), parece uma rápida evolução. Contudo, no século 16 na Europa, a Meteorologia já havia entrado no seu alvorecer científico graças à invenção dos primeiros instrumentos meteorológicos: o termoscópio, por Galileo Galilei em 1593 e o barômetro do mercúrio, por Evangelista Torricelli em 1644, ambos na Itália, e o higrômetro de cabelo humano por Johann Heinrich Lambert e Horace Benedict de Saussure na Suíça em 1783 (Nebeker 1995; Sorbjan 1996). Na Itália, a primeira rede de observação meteorológica, composta por sete estações localizadas naquele país, envolvendo medições de temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa

do ar e estado do céu, foi criada por Ferdinand II de Médici em 1654 (Sorbian 1996). No Reino Unido, o Almirante Fitz Roy, fundador do Meteorological Office (Met Office), em 1854, produzia previsões sinóticas (um termo criado por ele mesmo) para o público geral desde 1861 (<https://www.metoffice.gov.uk/about-us/who/our-history>). Fitz Roy ficou conhecido também por ser o comandante do HMS (Her/His Majesty's Ship) Beagle, quando Charles Darwin fez sua viagem ao redor do mundo entre 1831 e 1836 (Bergeron 1981).

Segundo Neiva (1988), os navios hidrográficos em campanha na costa brasileira já vinham realizando observações meteorológicas desde 1862. No entanto, apenas em 4 de abril de 1888 foi criada a Repartição Central Meteorológica, subordinada à Secretaria de Estado dos Negócios da Marinha e dirigida pelo Capitão-Tenente Américo Brasília Silvano. Neiva (1988) comenta que a partir de 1886, a Repartição Geral dos Telégrafos, sob a direção do engenheiro Guilherme Schüch, mais conhecido como Barão de Capanema, também iniciou a instalação de postos de observação meteorológica no território nacional.

Barboza (2006) relata que na noite de 11 de julho de 1887, uma tempestade ocasionou o naufrágio do navio a vapor Rio-Apa no litoral de Rio Grande (RS), ocasionando a morte de cerca de 160 passageiros. Naquela época no Brasil, não havia previsão de tempo alguma, apenas uma rede meteorológica incipiente mantida pelo Observatório do Rio de Janeiro. Mesmo assim, Henrique Morize, na época estudante de engenharia e funcionário da Observatório, tomou a iniciativa de prestar contas à sociedade do ocorrido evento. A comoção causada pelo naufrágio do Rio-Apa forçou, de certa forma, a organização de um serviço de previsão de tempo.

Assim, já no final do século 19, conforme descrito em Sampaio-Ferraz (1994), era notória a necessidade de integração e a organização dos serviços meteorológicos era evidente, o que aliás, continua a ser perseguido até os dias atuais. Dessa forma, começa a disputa pela liderança da entidade nacional encarregada de reunir e consolidar os serviços meteorológicos. Silvano defendia a ideia de que essa divisão deveria estar sob a égide do Ministério da Marinha, enquanto Morize defendia que o Observatório Nacional seria o órgão talhado para tal missão. Essa polêmica transcorreu por alguns anos e foi finalmente decidido pelas autoridades governamentais a criação da Diretoria de Meteorologia e Astronomia no Observatório Nacional sob a responsabilidade do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, em 18 de novembro de 1909, sob a direção de Morize. Aliás, o ano de 1909 é considerado pelo atual INMET como marco inicial deste instituto (Oliveira 2009). Com essa decisão, a rede meteorológica nacional foi

unificada, incluindo as redes estaduais, a rede de Telégrafo e a rede da Marinha. Assim, pode-se dizer que este primeiro arranjo institucional foi bem-sucedido visando a unificação das atividades meteorológicas a nível nacional.

Sampaio Ferraz, que se formou em Engenharia Civil na Inglaterra em 1900, foi assistente de Morize e se tornou o Chefe da Seção de Meteorologia do Observatório Nacional. Essa seção era encarregada, por regulamento interno, de desenvolver atividades relacionadas à previsão de tempo, climatologia, estudos de secas além de regimes e inundações de rios. Em 1913, Sampaio Ferraz foi designado para realizar estágios avançados nos principais institutos meteorológicos europeus e aproveitou a oportunidade para imprimir em Bruxelas seu manual denominado “Instruções Meteorológicas”, destinada a uniformizar os processos de observação meteorológica e garantir o emprego de regras consagradas nos países mais desenvolvidos nesse setor. De volta ao Brasil, Sampaio Ferraz recebe de Morize a missão de organizar as primeiras cartas sinóticas e realizar a previsão de tempo, abrangendo grande parte do Brasil, Chile, Uruguai, Paraguai e Argentina. Com grande esforço, em 1917 Sampaio Ferraz efetivou, de forma sistemática, a previsão de tempo e passou a divulgar as referidas previsões para o Distrito Federal e o Estado do Rio de Janeiro (Sampaio-Ferraz 1994).

No início do século 20, na Europa, a Meteorologia já se destacava como ciência e com serviço operacional independente, com autonomia e sem os obstáculos naturais da Astronomia. Portanto, era natural um certo desconforto a situação da Diretoria mista com duas seções: Astronomia e Meteorologia. Visando a uma maior autonomia, em 1921 o governo de Epitácio Pessoa promoveu a separação dos dois institutos e criou a Diretoria de Meteorologia, sendo Joaquim de Sampaio Ferraz seu primeiro diretor, permanecendo no cargo até 1930.

No período entre 1855 e 1890, a maior parte dos serviços meteorológicos mundiais já estavam organizados e tinham como tarefa principal a elaboração da previsão de tempo (Bergeron 1981). Na década de 1850, Joseph Henry, primeiro diretor da Smithsonian Institution em Washington, DC (EUA) e também considerado o pai do *National Weather Service* dos Estados Unidos, produzia um mapa sinótico diário indicando as condições meteorológicas com base na primeira rede de estações meteorológicas ligadas por telégrafo, que tinha sido inventado por Samuel Morse e patenteado em 1838 (<https://siarchives.si.edu/history/joseph-henry>). Naquela época, com a quantidade de dados disponíveis, os cientistas fizeram novas descobertas e desenvolveram novas teorias sobre o tempo. Henry identificou que as tempestades locais faziam parte de sistemas meteorológicos maiores e Lapham usou esses

dados para mostrar que as tempestades se deslocavam em todo o país de oeste para leste e que suas trajetórias poderiam ser traçadas em mapas (<https://www.smithsonianmag.com/history/joseph-henrys-legacy-147074473/>).

3 A Era da Previsão de Tempo Subjetiva

Segundo Neiva (1988) o período entre 1933 e 1948 representou uma fase de obscuridade na Meteorologia nacional, principalmente, com o desaparecimento temporário da Diretoria de Meteorologia. Somente por atos de 1941 e 1942, que surtiram efeito nos anos seguintes, a Meteorologia voltou a se recuperar, com a unificação dos serviços e a extinção nominal de órgãos estaduais. Também em 1943 foi criado o Serviço Meteorológico Aeronáutico, subordinado ao Ministério da Aeronáutica.

Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a Meteorologia tomou um novo fôlego, porque os beligerantes perceberam que a previsão de tempo era extremamente necessária para as operações de guerra. Assim, foram tomadas medidas para um novo surto de desenvolvimento meteorológico, na Europa e nos EUA, com base em observações confiáveis e aplicação de métodos, embora rudimentares, de previsão de tempo de curto e longo prazo, baseados em análises sinóticas elaboradas manualmente. Esse fato refletiu também no Brasil, com o incremento das atividades meteorológicas. Ao mesmo tempo, durante o final da Segunda Guerra Mundial, até a década de 1950, houve uma extraordinária dedicação aos estudos avançados sobre a previsão de tempo, tratada como um importante ramo da Física e com aplicações matemáticas avançadas.

Moura (1996) destaca que esse movimento de pós-guerra levou ao estabelecimento da PNT, principalmente nos EUA, com a participação de cientistas alemães, noruegueses e japoneses, incluindo Carl Gustav Rossby, John von Neumann, Jule Gregory Charney, Norman Phillips, Joseph Smagorinsky, Ragnar Fjortoft, Sikuro Manabe, Kikuro Niakoba, entre outros. Esse grupo retomou os estudos pioneiros de Bjerknes (1904) e Richardson (1922), tentando mostrar que as equações primitivas do movimento poderiam ser resolvidas numericamente usando computadores rápidos. Concomitantemente na metade da década de 1940 foi desenvolvido o primeiro computador digital, denominado de ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), com projeto de Von Neumann. No entanto, esse período de altos estudos físico-matemáticos que culminaram com o domínio da PNT nas décadas seguintes não foi seguido imediatamente pelos países da Europa e da América do Sul.

No Brasil, na década de 1940, os meteorologistas Adalberto Serra, Leandro Ratisbona e Salomão Serebrenick,

entre outros, destacaram-se com estudos aprofundados sobre Meteorologia Sinótica e Climatologia, promovendo a publicação de importantes trabalhos pioneiros nessa área em nosso país. É importante citar as obras de Serra (1948), especificamente sobre técnicas de previsão de tempo; Serra e Ratisbona (1942a) com a famosa obra “Massas de Ar na América do Sul”; Serra & Ratisbona (1942b), com o trabalho “Os regimes de chuvas na América do Sul”; Serebrenick (1942) com o trabalho “Classificação meteorológica dos climas no Brasil”. Assim, na década de 1950, no Brasil continuava-se a usar técnicas de meteorologia sinótica para a previsão de tempo subjetiva, com aplicações principalmente na Aeronáutica, na Marinha e na Agricultura.

Em 1958, um grupo de meteorologistas fundou a Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET). Entre os objetivos da SBMET, além de congregar os meteorologistas, era criar um curso superior de Meteorologia no Brasil. A criação do primeiro curso de graduação em meteorologia no Brasil, em 1964, foi precedida por várias negociações no final dos anos 1950 e início dos anos 1960 (Oliveira 2009; Pereira & Spinardi 2003). Cabe aqui mencionar que o primeiro passo foi a criação da Campanha para a Formação de Meteorologistas - CAME, pelo Ministério da Educação e Cultura, em analogia à criação da Campanha para a Formação de Geólogos – CAGE (Barroso 1996). O passo seguinte foi a assinatura de um acordo entre a CAME e a Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil (atual Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ). O papel do CAME era promover o treinamento de meteorologistas, reservando recursos federais para o pagamento de professores, aquisição de material bibliográfico, aprimoramento da infraestrutura e pagamento de bolsas de estudo para os futuros meteorologistas.

Também é importante ressaltar que antes mesmo da criação do primeiro curso de graduação em Meteorologia na UFRJ, a primeira instituição não militar a criar um curso técnico de Meteorologia foi a Escola Técnica Nacional, hoje denominada Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, no ano de 1959 (Neiva Filho, Vasconcellos & Souza 2015). Atualmente, são 14 universidades no país oferecendo cursos de graduação em Meteorologia (Tabela 1), a maioria deles também com cursos de pós-graduação, além do INPE que mantém um curso de Pós-Graduação em Meteorologia, criado em 1968, sendo o mais antigo nesta categoria, no Brasil (<http://www.inpe.br/pós-graduação/Met/sobre-curso.php>). Esses 14 cursos de graduação em Meteorologia, a maioria deles criada após 2000, fornece técnicas e apoio científico ao desenvolvimento da Meteorologia no país.

Tabela 1 Universidades brasileiras que oferecem curso de graduação em Meteorologia e seus anos de criação.

Universidade e Sítio na internet	Sigla	Ano de criação do curso de graduação em Meteorologia
Universidade Federal do Rio de Janeiro https://meteorologia.igeo.ufrj.br	UFRJ	1964
Universidade Federal de Campina Grande http://www.dca.ufcg.edu.br	UFCG	1973
Universidade Federal do Pará https://www.famet.ufpa.br/	UFPA	1975
Universidade de São Paulo https://www.iag.usp.br/atmosfericas/bacharelado	USP	1976
Universidade Federal de Pelotas https://institucional.ufpel.edu.br/unidades/id/335	UFPEL	1978
Universidade Federal de Alagoas https://licat.ufal.br/pt-br/graduacao/meteorologia	UFAL	1979
Universidade Federal de Santa Maria https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/meteorologia	UFSM	2008
Universidade Federal de Itajubá https://meteorologia.unifei.edu.br	UNIFEI	2010
Universidade Federal de Santa Catarina https://meteorologia.grad.ufsc.br/	UFSC	2012
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho https://www.fc.unesp.br/#!/departamentos/fisica/cursos/meteorologia/pagina-inicial/	UNESP	2013
Universidade Federal do Oeste do Pará https://sigaa.ufopa.edu.br/sigaa/public/curso/portal.jsf?id=284585&lc=pt_BR	UFOPA	2013
Universidade do Estado do Amazonas https://sites.google.com/a/uea.edu.br/coordenacao-meteorologia/	UEA	2014
Universidade Federal do Rio Grande do Norte https://www1.ccet.ufrn.br/meteorologia-bacharelado/	UFRN	2014
*Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro https://uenf.br/cct/lamet/	UENF	2020

* Em fase de credenciamento

No período do início da década de 1960 até a implantação operacional da PNT no Brasil na década de 1990, o mundo testemunhou um avanço extraordinário no campo das observações meteorológicas, da tecnologia da informação e dos processos de comunicação. Portanto, esse período pode ser descrito como uma preparação para o desenvolvimento das modernas atividades da Meteorologia atual, com salto de qualidade, consistente com o esforço científico e tecnológico envolvendo vários ramos da ciência. No campo de observação meteorológica para fins operacionais, destacam-se o Radiossonda, o Radar Meteorológico, os Satélites e as estações meteorológicas

automáticas. No campo da ciência da computação, destacam-se o desenvolvimento de *hardware* e *software*, com supercomputadores, modelos e algoritmos numéricos. Finalmente, no campo das comunicações, destaca-se o aprimoramento dos dispositivos para a transmissão de dados e imagens, superando os antigos teletipos e telegramas. Devido à sua importância da previsão de tempo de curto prazo, apresenta-se na Seção 4 um resumo histórico da evolução do radar meteorológico no Brasil, não esgotando o assunto, mas fornecendo uma visão genérica para uma indispensável compreensão do estágio atual da previsão de tempo no país.

4 Uma Breve História do Radar Meteorológico

O Radar (Radio Detection and Ranging) foi inventado em 1904 pelo engenheiro alemão Christian Hulsmeyer, que mostrou ser possível identificar a presença de navios através da reflexão de ondas de rádio. Durante a década de 1930, pesquisadores britânicos, alemães, franceses e americanos desenvolveram o chamado radar pulsado, com objetivo de usar o equipamento para identificar objetos à distância, sem a presença física de outros meios senão as de ondas de rádio (Sauvageot 1982). Até a Segunda Guerra Mundial, os radares eram usados apenas para atividades de guerra. Entretanto, em 1941, experimentos com radar com comprimento de onda de 10 cm (banda S) mostraram ser possível rastrear nuvens de chuva. Isso abriu a perspectiva de uso do equipamento em Meteorologia. As pesquisas continuaram no período pós-guerra, e em 1950 já se dispunha do radar de reflexão capaz de medir a posição e intensidade da precipitação, sendo em seguida incorporado aos serviços meteorológicos na previsão de tempo de curto prazo (Sauvageot, 1982).

Segundo Ligda (1951) os fenômenos meteorológicos com escala espacial de 10 a 100 km não poderiam ser detectados por mapas sinóticos comuns porque eles aparecem nesses mapas apenas como “ruídos”. Por outro lado, a microescala tão pouco poderia identificar esses fenômenos por ser muito pequena. Assim, Ligda (1951) mostrou que a única maneira de superar essas dificuldades seria usar imagens de radar meteorológico, que produzem úteis informações sobre a estrutura e comportamento das porções da atmosfera que não eram cobertos pelas tradicionais informações meteorológicas. Além disso, Ligda (1951) sugeriu que esses fenômenos ocorrem numa escala “mesometeorológica”.

Entre 1950 e 1980, os radares de reflexão, que medem a posição e a intensidade da precipitação, foram incorporados pelos serviços meteorológicos em todo o mundo. Mas só a partir da década de 1970 que os radares começaram a ser padronizados e organizados em redes. Uma das principais inovações nos radares foi a introdução da dupla polarização, com o uso do efeito Doppler. Isso possibilitou o rastreamento da velocidade relativa das partículas de ar, bem como a posição e a intensidade das nuvens de chuva (Sauvageot 1982).

Assim, no período de 1980 a 2000, as redes de radar nos EUA, no Japão e na Europa tornaram-se comuns e os radares convencionais foram substituídos por radares Doppler. O desenvolvimento de radares foi

altamente beneficiado pelos avanços rápidos na tecnologia de computadores, com a formulação de algoritmos para detectar, por exemplo, sinais de tempo severo, melhorando as aplicações meteorológicas operacionais e as pesquisas científicas.

No Canadá foi desenvolvido, em 1985, um radar Doppler de 5 cm de comprimento de onda destinado à pesquisa científica, o qual incorporou a tecnologia Doppler em 1993. Os países europeus, liderados pela França, criaram suas redes de radar Doppler no início dos anos 2000.

A experiência de instalação e operação de radares meteorológicos no Brasil mostra um conjunto de iniciativas realizadas por diferentes instituições em momentos distintos. Hoje, existem três redes nacionais de radar no Brasil, respondendo por 26 equipamentos em operação, mas com pouco grau de interação entre elas (Tabela 2).

Tabela 2 - Informações sobre radares meteorológicos instalados no Brasil por instituições federais

Região	Órgão	Local
Distrito Federal	DECEA	Gama (Brasília)
Acre	SIPAM	Cruzeiro do Sul
Alagoas	CEMADEN	Maceió
Amapá	SIPAM	Macapá
Amazonas	SIPAM	Manaus
		São Gabriel da Cachoeira
		Tabatinga
		Tefé
Bahia	CEMADEN	Salvador
Espírito Santo	CEMADEN	Santa Tereza
Maranhão	SIPAM	São Luiz
Mato Grosso do Sul	CEMADEN	Jaraguari
		Almenara
Minas Gerais	CEMADEN	São Francisco
		Três Marias
Pará	SIPAM	Belém
		Santarém
Pernambuco	CEMADEN	Petrolina
Rio de Janeiro	DECEA	Pico do Couto (Petrópolis)
Rio Grande do Norte	CEMADEN	Natal
Rio Grande do Sul	DECEA	Canguçu
		Santiago
Rondônia	SIPAM	Porto Velho
Roraima	SIPAM	Boa Vista
Santa Catarina	DECEA	Morro da Igreja
São Paulo	DECEA	São Roque

- (i) Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), da Força Aérea Brasileira (FAB). De 1990 em diante, o DECEA desenvolveu e instalou uma rede composta por 6 radares Doppler Banda S, instalado nas seguintes localidades: Gama (Distrito Federal - DF), Pico do Couto (Rio de Janeiro - RJ), Canguçu e Santiago (Rio Grande do Sul - RS), Morro da Igreja (Santa Catarina - SC) e São Roque (São Paulo - SP);
- (ii) Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM). Na década de 2000, o SIPAM instalou uma rede de 11 radares meteorológicos, Band S, Doppler na Amazônia Legal: Manaus, São Gabriel da Cachoeira, Tabatinga e Tefé (Amazonas - AM), Cruzeiro do Sul (Acre - AC), Macapá (Amapá - AP), São Luiz (Maranhão - MA), Belém e Santarém (Pará - PA), Porto Velho (Rondônia - RO) e Boa Vista (Roraima - RR)
- (iii) Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O CEMADEN, em parceria com o DECEA, instalou uma rede de 9 radares banda S, Doppler nos seguintes locais: Maceió (Alagoas - AL), Salvador (Bahia - BA), Santa Tereza (Espírito Santo - ES), Almenara, São Francisco e Três Marias (Minas Gerais - MG),

Jaraguari (Mato Grosso do Sul - MS), Petrolina (Pernambuco - PE) e Natal (Rio Grande do Norte - RN).

Além dessas três redes nacionais, vários radares foram instalados por iniciativas de instituições estaduais e municipais (Tabela 3), compreendendo um conjunto de redes de valor considerável para monitorar chuvas e ajudar na elaboração da previsão de tempo de curto prazo.

Destaca-se que o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET) foi o pioneiro no Brasil em termos de instalação e operação de radares meteorológicos, com a instalação em 1974 do primeiro radar banda C, na cidade de Bauru, SP, que operou até 1992, sendo então substituído por um radar Doppler Banda S, que permanece em operação até os dias atuais (ipmetradar.com.br/2historico.php). Os três radares do Estado de São Paulo (dois do IPMET e um do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo - DAEE), até hoje não foram usados em rede com integração de imagens entre si. Tal iniciativa está sendo levada a termo por uma equipe da Universidade de São Paulo (USP).

O estado do Rio de Janeiro possui quatro radares meteorológicos: o radar banda S, do DECEA (Tabela 2); um radar da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (Sistema

Tabela 3 – Informações sobre os radares instalados no Brasil por instituições estaduais e municipais.

Estado	Órgão	Local	Início operação	Final operação	Tipo radar
São Paulo	IPMET	Bauru	1974	1992	Banda C
			1992	atual	Doppler Banda S
	DAEE	Salesópolis	1990	atual	Doppler Banda S
			1989	2014	Banda S
Rio de Janeiro	Alerta Rio	Rio de Janeiro (Parque Nacional da Tijuca)	2014	atual	Banda S de dupla polarização
			2014	atual	Banda S de dupla polarização
	INEA	Macaé (UENF)	2014	atual	Banda S de dupla polarização
			2014	atual	Banda S de dupla polarização
Ceará	FUNCEME	Fortaleza	1993	atual	Doppler Banda X
			2011	atual	Doppler Banda S
Paraná	SIMEPAR	Teixeira Soares	1998	atual	Doppler Banda S
			2014	atual	Doppler Banda S de polarização circular
Minas Gerais	CEMIG	Cascavel	2012	atual	Doppler Banda S de polarização circular
Espírito Santo	CCMH	Matheus Leme	2012	atual	Doppler Banda C de dupla polarização
Espírito Santo	CCMH	Aracruz	2013	atual	Doppler Banda S de dupla polarização
Santa Catarina	EPAGRI/CIRAM	Lontras	2014	atual	Doppler Banda S de dupla polarização

Alerta Rio), localizado no alto da Serra da Carioca, no Parque Nacional da Tijuca; e dois radares do Instituto Estadual de Meio Ambiente (INEA), sendo um localizado no campus da UENF, em Macaé e outro em Mangaratiba, os quais operam em rede, com imagens integradas. Esses radares fornecem uma cobertura completa do estado do Rio de Janeiro, mas apenas os radares do INEA produzem imagens integradas de toda sua área de cobertura. A integração desses quatro radares produz um mosaico único para toda a área de cobertura. Tais equipamentos têm sido usados intensivamente para ajudar nas previsões de tempo regional, com grande vantagem, principalmente nas análises meteorológicas, permitindo a elaboração de alertas antecipados, em situações de tempo adverso no estado do Rio de Janeiro.

Além dos radares instalados nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, a Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME); o Sistema de Monitoramento e Tecnologia Ambiental do Paraná (SIMEPAR); a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), o Centro Capixaba de Monitoramento Hidrológico (CCMH); e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM), mantêm mais sete radares em operação em seus estados.

Apesar do quadro de 39 radares meteorológicos em operação no Brasil, ainda existem áreas desprovidas de cobertura, como a região Centro Oeste do Brasil. Ademais a integração dos radares e a elaboração de mapas completos de imagens são necessárias em muitas partes do Brasil. Outra questão se refere à integração das imagens de radar com as imagens de satélites para compor um quadro completo de imagens que possa ajudar efetivamente na previsão de tempo.

5 A Era da Previsão Numérica de Tempo

Antes da implementação operacional da PNT no Brasil, diversos artigos científicos sobre o assunto foram publicados, principalmente por pesquisadores do INPE. Portanto, as bases científicas já eram suficientemente conhecidas naquela época, mas os elementos indispensáveis para a elaboração da PNT operacional ainda estavam faltando: um modelo numérico e um supercomputador para integrar esse modelo, além de uma instituição para acomodar todas as operações da PNT no Brasil. Segundo Miguel, Escada & Monteiro (2016), o primeiro supercomputador (NEC-SX-3, de 3,2 bilhões de operações de ponto flutuante por segundo, 3,2 gigaflops de capacidade de processamento) foi adquirido em 1994, sendo acomodado no CPTEC. A criação dessa instituição vinha sendo recomendada desde 1987, mas foi

implementada apenas em 1993, sendo também escolhido o modelo numérico apropriado na época, o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do “Center for Ocean-Land Atmosphere Studies (COLA) - EUA. Portanto, foram criadas condições para a implementação da previsão numérica do tempo no Brasil a partir de 1995, com o CPTEC/INPE como instituição precursora do novo estágio de desenvolvimento da Meteorologia brasileira. Desde então, a previsão de tempo no Brasil experimentou um salto de qualidade, associando-se a PNT com disseminação de sistemas modernos de observação, incluindo estações meteorológicas automáticas, imagens de satélite e de radar, além da melhoria dos sistemas de comunicação de dados. Atualmente (2021) o Supercomputador CRAY XT-6 encontra-se em operação no CPTEC/INPE, executando 244 trilhões de operações de pontos flutuantes por segundo (244 teraflops).

O MCGA desenvolvido pelo COLA e utilizado pelo CPTEC recebeu melhorias crescentes ao longo do tempo e, assim, os pesquisadores passaram a denominá-lo de CPTEC/COLA a partir de 2002. As mudanças continuaram nos anos seguintes e em 2004 já completamente modificado em partes de sua dinâmica e física passou a se chamar MCGA CPTEC/INPE. Em 2016, o MCGA do CPTEC/INPE foi substituído pelo BAM (Brazilian Global Atmospheric Model), que funciona até hoje, com uma resolução horizontal de 20 X 20 Km e 96 camadas verticais, cobrindo o globo inteiro e produzindo previsões para até 264 horas (11 dias).

Além dos MCGAs existem também modelos atmosféricos regionais como, por exemplo, o modelo Eta (Mesinger et al. 1988) que foi implementado no CPTEC em 1995 (Chou 1996). Essa categoria de modelo leva em conta a orografia, as interações terra-mar, entre outras, e tem como objetivo prever fenômenos meteorológicos em mesoescala com mais detalhes. Esse modelo (Eta) foi o primeiro regional a tornar-se operacional no CPTEC e facilitou muito o trabalho dos meteorologistas no Brasil na faina diária de elaboração de análises e previsão de tempo. O modelo Eta também foi o modelo pioneiro na América do Sul, com foco em simulações em escalas mensais a sazonais. Essa técnica de *downscaling* dinâmico sobre a América do Sul foi realizada por Chou, Nunes & Cavalcanti (2000) que realizaram simulações mensais com o objetivo de explorar a qualidade de previsões estendidas, aninhando o Eta no MCGA CPTEC/COLA (Solman 2013). Infelizmente, em 2019, o modelo Eta foi substituído, para fins operacionais, pelo modelo Weather Research and Forecasting (WRF - Iriart et al. 2011) para fins de pesquisa e previsão de tempo, com uma resolução horizontal de 5 km. O Sistema de Modelagem Atmosférica Regional Brasileiro (BRAMS) teve o mesmo destino. O BRAMS foi uma adaptação

do American Regional Atmospheric Modeling System (RAMS), implementado em 2003, mas que atualmente não está mais em operação no CPTEC/INPE.

Além do CPTEC/INPE, devem ser mencionados mais dois importantes centros nacionais que executam operacionalmente a PNT. Trata-se do INMET e do CHM. Em 2000, o INMET passou a operar o Modelo Brasileiro de Alta Resolução (MBAR), com uma resolução horizontal de 25 km, desenvolvido em cooperação com o governo alemão (Oliveira 2009). Para implementar o MBAR, o INMET criou o seu Centro de Computação Meteorológica de Alto Desempenho (CCMD). Atualmente, o INMET opera também o Consortium for Small-Scale Modeling (COSMO), que é um modelo hidrostático de área limitada desenvolvido com o apoio do centro meteorológico alemão Deutscher Wetterdienst (DWD) e o centro meteorológico suíço MeteoSchweiz (MCH). O COSMO é aninhado ao alemão Icosahedral Non hydrostatic Model (ICON), produzindo previsões de médio prazo (até 15 dias) na América do Sul com resolução horizontal de 7 km (<https://vime.inmet.gov.br/>).

O Serviço de Previsão de Tempo do CHM opera dois modelos numéricos regionais: o COSMO e o WRF, ambos descritos acima. O COSMO da Marinha segue os mesmos critérios do modelo operado pelo INMET, ou seja, um consórcio de países europeus e o Brasil. O COSMO operado pelo CHM também é inicializado pelos dados produzidos pelo ICON, com a mesma resolução horizontal (7 km). Por outro lado, o WRF é usado no CHM em momentos de contingência, como uma reserva técnica para o COSMO, ou seja, o WRF entra em operação nos casos em que, devido a algum problema técnico, o COSMO deixa de funcionar normalmente.

6 A Atual Organização dos Serviços Meteorológicos

Para entender a organização dos serviços meteorológicos brasileiros deve-se considerar, em primeiro lugar, que no Brasil a Meteorologia não é uma atividade de competência exclusivamente da União. Sem um arranjo ou responsabilidade pública para o setor, existe um espaço enorme para a criação de diversas instituições públicas: federais, estaduais e municipais. Assim, em alguns casos, nota-se a sobreposição de atividades, causando desperdício de recursos financeiros e humanos, além de dificultar o uso racional de tecnologias modernas na ciência da computação, nas observações meteorológicas e nos sistemas de comunicação. No entanto, deve-se observar a existência de indispensáveis instituições de serviços setoriais importantes,

como aeronáutica, marinha, agricultura, defesa civil, entre outros.

Na área de Meteorologia Aeronáutica, destacam-se o Centro Integrado de Meteorologia Aeronáutica (CIMAER), que é uma unidade do DECEA, no âmbito do Ministério da Defesa (<https://www.decea.mil.br/>). O CIMAER tem como objetivo fornecer o serviço de Meteorologia Aeronáutica, fazendo parte do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), para garantir os padrões de segurança, de economia e de eficiência dos voos. A centralização do serviço meteorológico aeronáutico sob o CIMAER, criado em 2019, teve como um dos objetivos evitar a redundância de pessoal e funções na realização da vigilância e nas atividades de previsão de tempo, anteriormente realizadas pela Rede de Centros Meteorológicos do SISCEAB e a interação esparsa entre esses centros. De forma a integrar o produtos meteorológicos para a aviação civil e militar e para tornar o acesso a essas informações de forma mais rápida, eficiente e segura, o DECEA criou um sítio denominado “Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica” (REDEMET) - (<https://www.redemet.aer.mil.br/>). Nesse sítio, além das mensagens meteorológicas horárias de aeródromos (METARs) obtidas de cerca de 100 estações meteorológicas, imagens de satélite e de radar e campos meteorológicos produzidos pelo WRF também estão disponíveis. Infelizmente, até o momento, o número limitado (34) de sondagens de ar superior (TEMPS) não estão disponíveis na REDEMET.

O Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM - <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/censipam>), um órgão civil criado em 2002 e ainda subordinado ao Ministério da Defesa, atua na vigilância meteorológica na Amazônia, mantendo uma rede de 11 radares meteorológicos na região (ver Tabela 2).

O CHM, do Comando da Marinha do Brasil, no âmbito do Ministério da Defesa, visa apoiar a aplicação do Poder Naval por meio de atividades relacionadas à meteorologia, hidrografia, oceanografia, cartografia, navegação e sinalização náutica, garantindo a qualidade das atividades de segurança da navegação. No sítio do serviço de previsão de tempo do CHM (<https://www.marinha.mil.br/dhn/>), além das previsões meteorológicas produzidas pelo modelo regional COSMO, é possível acessar dados em tempo real de 13 estações meteorológicas costeiras e de algumas boias ancoradas. Além disso, o CHM mantém, desde 1994, o Banco de Dados Oceanográfico (BNDO) para apoiar a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI).

O CPTEC/INPE, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), tem como objetivo

proporcionar ao país o estado-da-arte em tecnologias de previsão numérica de tempo e de clima e de melhorá-los continuamente. Assim, a implementação da PNT pelo CPTEC/INPE deveria apoiar outras instituições brasileiras em suas tarefas de previsão de tempo. Mas de fato, como apontado na Seção 5, isso não é o que ocorre, pois os modelos regionais do CHM e do INMET estão aninhados ao modelo alemão ICON e não ao modelo de Circulação Geral do CPTEC.

Em 3 de maio de 2021, foi anunciada a criação do Sistema Nacional de Meteorologia (SNM). Esse foi formado pelo INMET, INPE e CENSIPAM. O objetivo do SNM era eliminar qualquer tipo de sobreposição de atividades entre essas três instituições, a fim de tornar a Meteorologia Nacional mais eficiente. Dessa forma, o CPTEC/INPE deixou de divulgar para o público em geral as previsões e avisos meteorológicos, uma atividade que passou a ser realizada exclusivamente pelo INMET. No entanto, é claro que, para evitar sobreposições, o INMET deveria usar os modelos do INPE, o que na verdade nunca ocorreu. De qualquer modo, após apenas cinco meses, em outubro de 2021, o SNM foi extinto pelo Governo Federal.

O CEMADEN é outro órgão federal, também subordinado ao MCTI, que tem se dedicado a monitorar ameaças naturais em áreas de risco em municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de tais desastres. O objetivo final do CEMADEN é reduzir o número de fatalidades e danos materiais em todo o país. O CEMADEN foi criado em 2011, após o megadesastre na Região Serrana do Rio de Janeiro, que causou a morte de mais de 900 pessoas entre 11 e 12 de janeiro de 2011. No site do CEMADEN (<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden/>), é possível acessar os dados de sua rede de mais de 3.000 pluviômetros automáticos, assim como dados de estações hidrológicas.

Além do CEMADEN, tem-se o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), do Ministério de Desenvolvimento Regional, que visa reduzir os riscos de desastres, incluindo prevenção, mitigação, preparação, resposta e ações de recuperação, atuando nas três esferas de governos: federal, estaduais e municipais. Todos os estados brasileiros têm um órgão responsável pelo desenvolvimento da proteção civil e atividades de defesa em seus respectivos territórios, incluindo o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico de áreas de risco, realizando um trabalho em conjunto com a União e municípios. Destacam-se aqui os serviços do Amazonas (<http://www.defesacivil.am.gov.br/cemoa/>), Espírito Santo (<https://alerta.es.gov.br/>), Rio de Janeiro (<http://www.contingenciaverao.rj.gov.br/index.php>), Santa Catarina (<https://www.defesacivil.sc.gov.br/avisos-meteorologicos/>) e São Paulo (<http://www.defesacivil.sp.gov.br/previsao-servicos-do-tempo/>). A

Primeira Defesa Civil estadual brasileira (Defesa Civil do Estado da Guanabara) foi criada em dezembro de 1966 após a grande enchente de 11 e 12 de janeiro de 1966, quando 117 pessoas morreram.

Em termos de agrometeorologia, o INMET é oficialmente a instituição brasileira responsável pelo desenvolvimento de atividades meteorológicas aplicadas à agricultura, sendo subordinado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O INMET também é representante do Brasil na Organização Meteorológica Mundial (OMM). Atualmente o INMET opera 570 (170) estações meteorológicas automáticas (convencionais) e, também, armazena as mais longas séries de dados meteorológicos do Brasil, em seu banco de dados, denominado “Banco de Dados Meteorológicos do INMET” (BDMEP).

Uma iniciativa conjunta entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e o CPTEC/INPE resultaram no sítio “Agritempo”. O site Agritempo fornece dados e produtos meteorológicos gratuitos, visando atender à diferentes atores do setor agrícola, como produtores, cooperativas, empresas privadas, agências governamentais e institutos públicos de pesquisa agrícola. Também digno de nota na área de agrometeorologia está a EPAGRI/CIRAM de Santa Catarina, que fornece informações meteorológicas, hidrológicas e até avisos marítimos em seu sítio (<https://ciram.epagri.sc.gov.br/>).

No que diz respeito ao setor elétrico brasileiro, o desempenho da meteorologia é de fundamental importância e tem crescido nos últimos anos para apoiar a geração, transmissão e distribuição de energia. De acordo com Lima (2005), a inserção da Meteorologia nas atividades de empresas do setor elétrico ocorreu somente após o acidente com as usinas do Rio Pardo no estado de São Paulo, em janeiro de 1977, quando as barragens de Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira se romperam. Algumas empresas do setor começaram então a se estruturar com a implantação de centros meteorológicos, como foi o caso da Companhia Energética de São Paulo (CESP), da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e de Furnas Centrais Elétricas. No caso do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), teve as suas atividades de meteorologia apoiadas pelo SIMEPAR, por meio de um acordo entre as duas empresas. Com a reestruturação do setor elétrico no final dos anos 1990, foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que começou a coordenar e a controlar as operações de geração e facilidades em transmissão de eletricidade estabelecendo o Sistema

Interligado Nacional (SIN). Entre as atribuições do ONS destacam-se o monitoramento e as previsões meteorológicas para as bacias hidrográficas e linhas de transmissão de interesse do SIN e para os centros de consumo de energia (Machado et al. 2007).

Alguns estados brasileiros estabeleceram seus serviços meteorológicos, para atender às suas próprias demandas e, em alguns casos, cobrindo regiões mais amplas. Assim, podem ser citadas as seguintes instituições: (i) FUNCEME (<http://www.funceme.br/>), hoje integrando à Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará, que produz a previsão do tempo para o estado de Ceará e também para vários estados da Região Nordeste do Brasil; (ii) SIMEPAR (<http://www.simepar.br/>), vinculado à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável e Turismo do Estado do Paraná, criado em 1993, e que realiza monitoramento meteorológico e atividades climáticas no estado do Paraná. O SIMEPAR instalou e mantém uma boa rede de observação meteorológica por meio de plataformas automáticas de coleta de dados, bem como uma rede de detecção de raios, além de radares meteorológicos e recepção de imagens de satélites.

Um exemplo de organização municipal que realiza atividades de previsão e monitoramento do tempo é o Sistema Alerta Rio (www.alertario.rj.gov.br), criado em 1996, vinculada à Prefeitura do Rio de Janeiro. O Alerta Rio utiliza uma rede de estações meteorológicas e postos pluviométricos, equipados com sistemas de telemetria, bem como um radar meteorológico, com imagens em tempo real. É importante notar que o Alerta Rio foi criado em setembro de 1996, após o desastre provocado por fortes chuvas no município do Rio de Janeiro em 13 de fevereiro de 1996 (Pinguelli Rosa & Lacerda 1997). Durante esse desastre, 200 pessoas morreram e cerca de 30.000 ficaram desabrigados (Dereczynski, Calado & Barros 2017).

Além de todos esses serviços, é importante mencionar a tentativa do MCTI de criar uma rede de serviços oficiais do estado dedicados às atividades regionais, em parceria com os estados da federação, cobrindo as áreas de Meteorologia e Hidrologia, denominadas PMTCRH (Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos, PMTCRH (1991)). O PMTCRH sobreviveu por mais de dez anos, mas foi interrompido no início dos anos 2000. O Sistema de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro (SIMERJ), vinculado ao PMTCRH, teve um bom desempenho de 1997 até 2011 e serviu de base para a criação do atual CEMADEN Rio de Janeiro, subordinado à Defesa Civil do Estado. É importante observar que CEMADEN e CEMADEN Rio de Janeiro têm o mesmo nome, mas são instituições distintas, sendo a primeira subordinada ao MCTI.

Em relação aos importantes dados gerados por essas várias instituições federais, estaduais e municipais, seria muito útil se eles pudessem ser disponibilizados em um único banco de informações. Hoje em dia é necessário acessar separadamente os bancos de dados disponíveis no país, como o BDMEP, o BNDO, o HIDROWEB da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), e os dados da rede observacional do CEMADEN.

7 Principais Sítios Meteorológicos Disponíveis para Previsão de Tempo

Atualmente, o meteorologista conta com diversos sítios e aplicativos para elaborar a previsão de tempo. Dos sítios brasileiros os mais acessados são os mantidos pelo CPTEC/INPE (<https://www.cptec.inpe.br>), INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>) e CIMAER/DECEA (REDEMET-<https://www.redemet.aer.mil.br/>). Além desses, existem aplicativos de empresas privadas que são acessados por leigos e meteorologistas, como por exemplo o Windy desenvolvido na República Tcheca (<https://www.windy.com>).

A Figura 1 apresenta os resultados de uma enquete sobre sítios meteorológicos utilizados para previsão do tempo, realizada em março de 2021 através do “Google Forms” (<https://forms.gle/mwgc1KifV92BFD58>). Um total de 102 meteorologistas trabalhando operacionalmente em serviços de previsão de tempo nacionais, responderam o questionário, sendo todas as respostas únicas e obrigatórias. Os resultados mostram os três sítios preferenciais onde os meteorologistas acessam cada tipo de informação: Para as imagens de satélite (Figura 1A), o Windy foi o mais votado (30,4% dos meteorologistas) e em segundo lugar foi o CPTEC/INPE (29,4%), seguido pelo INMET (18,6%). Imagens de radar (Figura 1B) são obtidas preferencialmente no sítio REDEMET (58,8%), a seguir no Windy (16,7%) e depois no CEMADEN (7,8%). Quase 60% dos meteorologistas preferem consultar radiossondagens (Figura 1C) por meio do sítio da Universidade de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/>), em segundo lugar (19,6%) no sítio Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER) do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo - IAG/USP (<http://www.master.iag.usp.br/>) e finalmente 5,1% no INMET. Dados observacionais (Figura 1D) e previsões em forma de meteogramas (Figura 1E) são acessados preferencialmente no INMET (39,2% e 30,4%, respectivamente). Uma última pergunta formulada: “Se você tivesse que escolher apenas um dos sítios/aplicativos listados para elaborar toda a sua previsão de tempo, qual deles seria? A resposta de 45,1% dos entrevistados foi o Windy (Figura 1F).

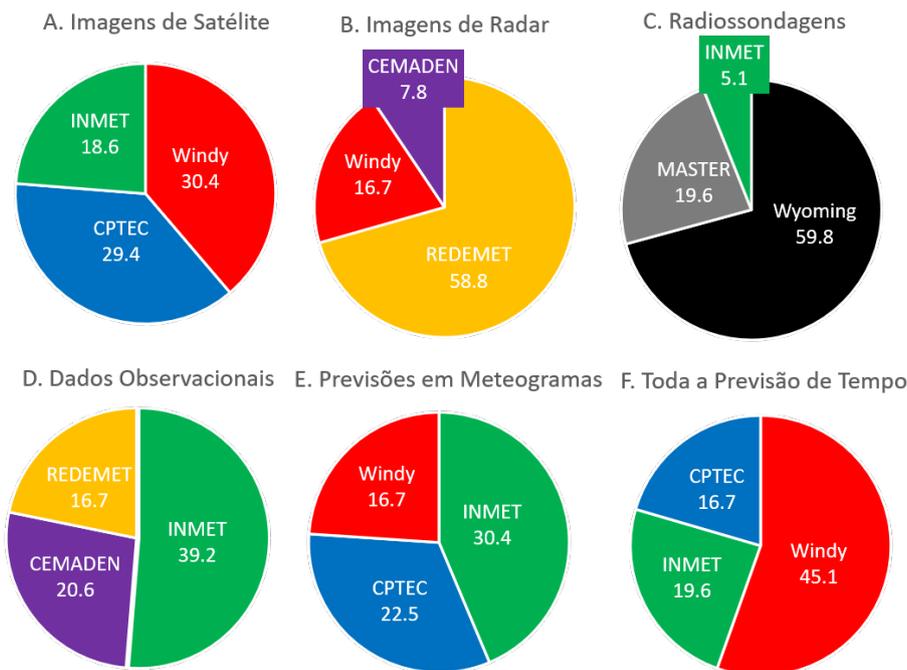


Figura 1 Sítios preferenciais para consultas de A. imagens de satélite B. imagens de radar; C. radiossondagens; D. dados observacionais; E. previsões em meteogramas e F. toda a previsão de tempo.

É importante realçar que este levantamento junto aos meteorologistas operacionais foi realizado num período de isolamento social provocado pela pandemia do Coronavírus (COVID-19). A partir de meados de março de 2020, a maior parte dos serviços meteorológicos passou a ser realizado remotamente, e os usuais *briefings* diários presenciais dos centros de previsão de tempo, foram substituídos por curtas reuniões remotas. Assim, os previsores tiveram que se adaptar rapidamente a uma nova dinâmica de trabalho, preferindo aplicativos leves e de rápido acesso via internet residencial. Soma-se a isso o fato dessa nova geração de meteorologistas estar acostumada a utilizar as mídias sociais, onde a comunicação é feita de forma resumida e muitas vezes superficial. Por outro lado, a previsão de tempo popularizou-se através do acesso a diversos aplicativos via celular, aumentando a demanda por informações para atender às necessidades de práticas esportivas ao ar livre, turismo e lazer em geral. Devido a todos esses fatos entende-se porque o aplicativo *Windy* tenha se tornado tão popular.

8 Conclusões e Considerações Finais

Este artigo apresenta uma breve revisão da história da previsão de tempo no Brasil, dividindo-a em três fases principais: i) “Os Primórdios da Meteorologia”; ii) “A

Era da Previsão de Tempo Subjetiva” e iii) “A Era da Previsão Numérica de Tempo”. Ademais apresenta-se uma breve história do radar meteorológico, a atual organização dos serviços meteorológicos e os resultados de uma enquête envolvendo 102 meteorologistas que trabalham operacionalmente em serviços de previsão de tempo.

Em primeiro lugar, fica claro que o grande avanço alcançado no campo da previsão de tempo só ocorreu após a introdução da PNT pelo CPTEC/INPE no final da década de 1990. Além disso, nas décadas recentes as redes observacionais foram grandemente ampliadas, com um significativo aumento no número de estações meteorológicas. Ademais, o atual quadro de 14 cursos de graduação em Meteorologia, a maior parte criado após o ano de 2000, procura atender o aumento na demanda por especialistas.

Considerando a organização dos atuais serviços meteorológicos é evidente que não houve um planejamento de forma a unificar os trabalhos das instituições, tanto a nível federal, como estadual e municipal ou mesmo considerando as áreas civil e militar. Muitos serviços foram criados para atender uma certa demanda, sem conexão com outras instituições já existentes. Dessa forma, observa-se uma grande duplicação de esforços, com sobreposição de atividades, despesas adicionais e em alguns casos algumas lacunas. Além disso, através da história da Meteorologia,

instituições são formadas como uma resposta governamental à ocorrência de eventos adversos.

Uma visão ampla e completa das observações à superfície sobre o continente e regiões oceânicas poderia ser obtida considerando a integração das redes do INMET, INPE, CEMADEN, CIMAER e CHM. Além disso, o atual quadro de 39 radares meteorológicos no Brasil não é desprezível, contudo, precisa ser completado, pois ainda existem áreas desprovidas de cobertura, tais como a Região Centro-Oeste do Brasil. Outra questão é a necessidade de integração das imagens de radar e de satélite de forma a compor um quadro completo de imagens que possam ajudar efetivamente na previsão de tempo.

Finalmente, o resultado da enquete sobre os sítios meteorológicos consultados para acesso aos produtos destinados à elaboração da previsão de tempo, indica que mudanças precisam ser implementadas, garantindo fácil acesso aos dados. Um aplicativo rápido e bem desenvolvido como o Windy, contudo com maiores detalhes para uma boa análise meteorológica, em maior profundidade, deveria ser criado para atender principalmente a nova geração de meteorologistas.

9 Agradecimentos

Aos 102 meteorologistas operacionais que responderam ao questionário sobre sítios meteorológicos utilizados na previsão de tempo. Aos revisores anônimos que muito contribuíram para a melhoria deste artigo.

10 Referências

- Barboza, C.H. 2006, 'A História da Meteorologia no Brasil', *Artigo apresentado no Congresso Brasileiro de Meteorology*, Florianópolis, 27th November - 1st December.
- Barroso, J.A. 1996, 'Os 40 anos da CAGE – Campanha Nacional de Formação de Geólogos, os Cursos de Geologia no Brasil e, em Particular, no Rio de Janeiro', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 19, pp. 143-56.
- Bergeron, T. 1981, 'Synoptic Meteorology: An Historical Review', in G.H. Liljequist (ed.), *Weather and Weather Maps. Contributions to Current Research in Geophysics*, Birkhäuser, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-5148-0_2
- Bjerknes, V. 1904, 'Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und Physik'. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 21, pp. 1-7.
- Chou, S.C. 1996, 'Modelo regional Eta', *Climanálise Edição Especial Comemorativa de 10 anos*, MCT/INPE-CPTEC, vol. 10.
- Chou, S.C., Nunes, A.M.B. & Cavalcanti, I. 2000, 'Extended range forecasts over South America using regional eta model', *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, no. D8, pp. 10147-60.
- Dereczynski, C.P., Calado, R.N. & Barros, A.B. 2017, 'Chuvas Extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 40, no. 2, pp. 17-30. http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_17_30
- Draenert, F.M. 1886, 'Breve noticia historica das observações meteorologicas no Brazil', *Revista do Observatorio*, vol. 1, no. 10, pp. 153-4.
- Gerrity, J.P., Gyakum, J.R., Anthes, R.A., Bosart, L.F. & O'Lenic, E.A. 2020, 'Weather forecasting and prediction', *Access Science*, viewed 28 June 2021. <https://doi.org/10.1036/1097-8542.742600>
- Iriart, P.G., Carvalho, M.V.C. & Pereira Neto, A.V. 2011, Manual de instalação, compilação e execução do sistema de modelagem numérica WRF no ICEA, Instituto de Controle do Espaço Aéreo (Airspace Control Institute) São José dos Campos.
- Liais, E. 1881, 'Description de L'Observatoire Impérial de Rio de Janeiro et de ses Instruments', *Annales de L'Observatoire Impérial de Rio de Janeiro*, vol. 1, no. 1, pp. 1-252.
- Ligda, M.G.H. 1951, *Radar storm observation – Compendium of Meteorology*, American Meteorological Society.
- Lima, D.R.O. 2005, 'Diagnóstico de Chuvas e Previsão Meteorológica para a Bacia Hidrográfica do Rio Manso', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Machado, C.O, Rocha, V.R., Cataldi, M. & Oliveira, F.J.A. 2007, 'A Aplicação das Informações Meteorológicas no Planejamento Eletroenergético de Curto Prazo e Operação em Tempo Real do Sistema Interligado Nacional', *Artigo apresentado no IX EDAO (Encontro para Debates de Assuntos de Operação)*, Goiás, 25th – 29th March.
- Mesinger, F., Janjic, Z.I., Nickovic, S., Gavrilov, D. & Deaven, D.G. 1988, 'The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment', *Monthly Weather Review*, vol. 116, p. 1493-518.
- Miguel, J.C.H., Escada, P. & Monteiro, M. 2016, 'Políticas da Meteorologia no Brasil Trajetórias e disputas na criação do CPTEC', *Revista Brasileira de História da Ciência*, vol. 9, no. 1, p. 36-50.
- Morize, H. 1987, *Observatório Astronômico: um século de história (1827-1927)*, Museu de Astronomia e Ciências Afins, Coleção Documentos de História da Ciência, Rio de Janeiro, Salamandra.
- Moura, A.D. 1996, 'Von Neumann e o desenvolvimento da previsão de tempo e clima', *Revista Estudos Avançados*, vol. 10, no. 26, pp. 227-36.
- Nebeker, F. 1995, *Calculating the Weather. Meteorology in the 20th Century*, Academic Press, San Diego.
- Neiva, E.J.F. 1988, 'Centenário da Criação da Repartição Central Meteorológica', *Anais Hidrográficos*, vol. XV, pp. 45-53.
- Neiva Filho, D.M., Vasconcellos, C.A.B. & Souza, R.O.L. 2015, 'Políticas Públicas em Educação Profissional Tecnológica: Um Foco na Formação do Curso Técnico de Nível Médio em Meteorologia do CEFET/RJ (2000-2009)', *HOLOS*, vol. 8, pp. 304-13.

- Oliveira, F. 2009, *100 Anos de Meteorologia no Brasil*, Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília.
- Pereira, V.M. & Spinardi, A. 2003, *Memórias do Tempo*, São Paulo, SP.
- Pinguelli Rosa, L. & Lacerda, W. 1997, *Tormentas Cariocas*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Richardson, L.F. 1922, *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge University Press.
- Sampaio-Ferraz, J. 1994, 'A Meteorologia no Brasil' in F. Azevedo (ed.), *As Ciências no Brasil*, UFRJ, pp. 233-72.
- Sauvageot, H. 1982, *Radarmétéorologie – Télédétection active de l'atmosphère*, Collection Technique et Scientifique des Télécommunications, Publisher Eyrole.
- Serebrenick, S. 1942, 'Classificação meteorológica dos climas do Brasil', *Artigo apresetado no Congresso Brasileiro de Geografia*, Rio de Janeiro.
- Serra, A. 1948, 'Previsão do tempo', *Boletim Geográfico*, vol. 66-69, pp. 827-904.
- Serra, A. & Ratisbona, L. 1942a, *As massas de ar da América do Sul*, Serviço de Meteorologia, Rio de Janeiro.
- Serra, A. & Ratisbona, L. 1942b, 'Os regimes de chuvas da América do Sul', *Revista Meteorológica*.
- Solman, S. 2013, 'Regional Climate Modeling over South America: A Review', *Advances in Meteorology*, vol. 2013, pp. 1-13.
- Sorbjan, Z. 1996, *Hands-on Meteorology. Stories, Theories, and Simple Experiments*, American Meteorological Society.

Recebido em: 30/07/2021

Aprovado em: 03/11/2021

Como citar:

Marques, V.S. & Dereczynski, C. 2021, 'Previsão de Tempo no Brasil: Uma Breve Revisão Histórica', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 45358. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_45358