

# CARTA SINÓTICA METEOROLÓGICA EM FORMATO DIGITAL EDITÁVEL: INOVAÇÃO ALIADA À QUALIDADE SUBJETIVA

Meteorological Synoptic Chart in digital editable format:  
innovation combined with subjective quality

Flávia Rodrigues Pinheiro<sup>1</sup>

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo desenvolver e implementar a modernização das cartas sinóticas meteorológicas divulgadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), migrando de um processo de confecção manual, impreciso, para um processo totalmente digital e principalmente editável, agregando o automatismo computacional à experiência humana e evitando a degradação de qualidade do produto. Por meio de uma linha de produção inteligente e automatizada, este estudo apresenta uma mudança de paradigma na confecção de um dos principais produtos oferecidos pelo CHM em apoio aos navegantes em geral e a diversos usuários. Além da otimização de tempo e recursos, entre os resultados desta pesquisa está o georreferenciamento da carta sinótica. Trata-se de um passo primordial para inserir o produto em alguns projetos em andamento na Marinha do Brasil, tais como os projetos nacionais ligados à geoinformação temática para operações conjuntas e o S-100 — *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)* da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), ambos voltados para a integração de dados em sistemas multifuncionais de auxílio à navegação.

**Palavras-chave:** Carta sinótica. Gempak. Georreferenciamento.

**Abstract:** The main goal of this work was to develop and implement the modernization of the meteorological synoptic charts issued by the Navy Hydrographic Center (CHM), migrating from a handmade, imprecise process to a totally digital, and mainly editable, process, combining the computational automatism to human experience, avoiding quality degradation of the product. Through an intelligent and automated production line, this work presents a paradigm change on the preparation of one of the main products issued by CHM in support for general navigators and several users. Apart from resources and time optimization, the synoptic chart georeferencing is among the results of this work, a fundamental step to insert this product into some Brazilian Navy ongoing projects, such as the national projects related to thematic geoinformation for combined operations and the S-100 – *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)* from IHO (International Hydrographic Organization), both related to data integration inside multifunctional systems for navigation support.

**Keywords:** Synoptic chart. Gempak. Georeferencing.

<sup>1</sup> Capitão de Corveta. Meteorologista. Doutora em Assimilação de Dados em Modelos não Lineares pela University of Reading (UK). Encarregada da Divisão de Previsão Numérica do Centro de Hidrografia da Marinha – Niterói, RJ – Brasil. E-mail: flavia.pinheiro@marinha.mil.br

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1950, o Serviço Meteorológico Marinho (SMM), operado no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), produz manualmente cartas de pressão ao nível médio do mar, as cartas sinóticas. O Brasil é signatário da Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), e a missão do CHM é produzir e divulgar informações de segurança da navegação e do ambiente marinho. As cartas sinóticas são utilizadas diariamente por navegantes e usuários em geral como referência em pesquisas acadêmicas e na elaboração de boletins de informações ambientais para inquéritos de apuração de acidentes e fatos da navegação. Esses produtos têm como base as observações meteorológicas dos horários de 0000Z e 1200Z. Até recentemente, o processo de confecção dessas cartas era manual e seguia longos procedimentos. Inicialmente, era realizada a plotagem em papel (no formato A0) das observações meteorológicas de navios e boias localizados no domínio de interesse (entre 70°S-30°N e 090°W-020°E). Após a plotagem, um militar técnico em meteorologia, o “analista”, realizava o traçado manual das isóbaras (linhas de mesma pressão), desenhando o campo de pressão com base nas observações e representando, na carta, fenômenos meteorológicos como frentes frias, centros de baixa pressão etc. Essa análise subjetiva baseava-se na experiência do analista, que seguia as observações meteorológicas impressas e algumas ferramentas externas: imagens de satélite (visualizadas na tela de um computador) e produtos de modelagem numérica de previsão do tempo (impressos em papel), os chamados modelos atmosféricos. Após a análise, o desenho das isóbaras e fenômenos meteorológicos era transferido, também manualmente, para um modelo de tamanho reduzido (formato A4). Este era então escaneado e disponibilizado na internet, além de ser ainda transmitido via rádio fac-símile em alta frequência (*high frequency*— HF) para os navios.

Todo esse processo manual, utilizado nas últimas sete décadas, primava pela qualidade da análise subjetiva ligada à experiência dos analistas. É bem sabido que os modelos numéricos geram previsões para os campos de pressão (prognósticos), mas o simples uso de tais campos sem qualquer intervenção subjetiva estaria assumindo uma degradação na qualidade do produto oferecido, já que a modelagem numérica, apesar de apresentar alto nível de precisão, ainda possui uma margem de erros, principalmente no que tange ao posicionamento de

sistemas meteorológicos altamente caóticos. Tais erros estão associados às limitações do modelo numérico no que se refere a sua resolução espacial e temporal e à escassez e à qualidade dos dados que servem de condição inicial para o modelo. Também contribuem para os erros a incapacidade de resolver processos físicos que ocorrem em dimensões de menor escala, inferiores a sua resolução, mas que possuem grande impacto no resultado final. Esses processos são estimados por meio de parametrizações, ou seja, fazendo-se uso de equações aproximadas para o cálculo de prognósticos. Assim, para a manutenção da qualidade do produto, aliada a um processo automatizado, digital e rápido, torna-se necessária a intervenção humana para que os erros numéricos possam ser minimizados. Por outro lado, as desvantagens da produção manual dessas análises mostravam-se evidentes, incluindo o tempo dispendido para sua conclusão, impressões em papel, necessidade de digitalização do produto e conversões em imagens com formatos não vetorizados, limitando o uso do produto final em futuros sistemas integrados, já previstos na cartografia náutica. Diante da evolução dos sistemas de navegação a bordo dos navios, que permite a integração de cartas náuticas com outras informações de segurança marítima, surge a necessidade de os serviços meteorológicos acompanharem tal evolução tecnológica, adaptando seus produtos aos formatos de saída georreferenciados. Os dados estáticos e não georreferenciados impossibilitam a integração a tais sistemas.

Nesse escopo, o presente trabalho aborda a modernização da produção das cartas sinóticas elaboradas pela Marinha do Brasil (MB) com a implementação de um processo de análise digital, que agrega a automação à experiência humana, com grande sincronismo. Para tal, foi utilizada uma suíte de programas do pacote *General Meteorological Package* (Gempak). A principal meta foi gerar rotinas computacionais de conversão do modelo atmosférico usado pelo CHM, o chamado *ICOsahedral Nonhydrostatic model* (ICON), para o formato do pacote Gempak, para que esse modelo passe a servir de base para toda a análise e posterior edição.

## 2. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste projeto foram:

- modernização das cartas sinóticas divulgadas pela MB, com a implementação de uma análise digital que permitisse edição;

- otimização e automação da linha de produção, visando a economias de tempo e recursos;
- georreferenciamento do produto, visando aos novos sistemas integrados de navegação náutica.

### 3. METODOLOGIA

A base do desenvolvimento de modernização da produção da carta é o *software* gratuito Gempak (NCAR, 2017). Esse *software* é destinado à visualização de dados ambientais e foi desenvolvido pela UNIDATA, um programa da *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR). Para alcançar os objetivos mencionados anteriormente, foram seguidas as etapas descritas a seguir.

#### 3.1 CONFIGURAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA AOS PROPÓSITOS DO CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA

O primeiro passo foi a instalação do visualizador Gempak e do sistema de recepção de dados ambientais que o alimenta, o *Local Data Manager* (LDM). Trata-se de um sistema que inclui um cliente de rede e sub-rotinas (programas computacionais) totalmente voltados para a recepção, o tratamento e a distribuição de dados ambientais. Nessa fase do projeto foram configurados os programas que executam os processos relacionados aos tipos de produtos ambientais, e foi feita sua decodificação para posterior visualização no Gempak. Entre os diversos tipos de dados de interesse do SMM, destacam-se: as observações meteorológicas (realizadas por estações terrestres, navios, boias, radiossondas, aeronaves etc.), os produtos provenientes de sensoriamento remoto (imagens de satélite e escaterômetros) e os modelos numéricos.

A plataforma na qual foram compilados e instalados ambos os sistemas e as diversas bibliotecas necessárias baseia-se no sistema operacional Linux, em máquina virtual, com instalação baseada em código fonte e ambiente *bash*.

#### 3.2. INCLUSÃO DO MODELO ATMOSFÉRICO UTILIZADO NO CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA NO GEMPAK

A ideia principal deste projeto foi a utilização da saída do campo de pressão do modelo ICON como base para a análise

da carta sinótica. Esse modelo, enviado pelo centro alemão *Deutscher Wetterdienst* (DWD) e processado pelo CHM, auxilia os previsores na confecção dos boletins meteorológicos no SMM. Foi necessário primeiramente converter o arquivo do modelo para que sua saída pudesse se tornar legível ao *software* Gempak.

Utilizou-se o programa “dcgrib2”, um decodificador da UNIDATA destinado a converter arquivos em formato GRIB/GRIB2 para um formato de grade legível ao Gempak. O programa faz uso de diferentes bibliotecas e tabelas de configuração, as quais são a chave para que o arquivo possa ser reconhecido pelo Gempak. Tais tabelas estão relacionadas a algumas informações do modelo: nome do centro originário e número de identificação, coordenadas verticais, descrição dos parâmetros meteorológicos envolvidos, seus números de identificação, unidades e escalas, parâmetros meteorológicos da *World Meteorological Organization* (WMO), e nelas são definidas variáveis descritoras e categorias, de acordo com tabelas e octetos do guia da WMO (2003) e parâmetros referentes ao centro originário.

Após estudo e configuração das tabelas mencionadas, foi necessário ainda utilizar a saída do modelo ICON com projeção regular, pois o programa “dcgrib2” não suporta a saída com projeção rotacionada. Realizados todos esses ajustes, foi possível aplicar o programa para reconhecer e converter o arquivo inicial do modelo, em formato GRIB2, para a extensão de arquivo “.gem”, legível para a ferramenta Gempak.

#### 3.3. OPERACIONALIZAÇÃO DO PROCESSO

A etapa de operacionalização deste processo envolveu os seguintes procedimentos principais:

- elaboração de rotinas (*scripts*) operacionais para recepção, conversão e direcionamento dos dados do modelo atmosférico ICON de forma automatizada;
- elaboração de *scripts* e ajustes para a geração do campo de pressão baseado no modelo ICON;
- ajustes das ferramentas e produtos envolvidos na análise editável;
- automatização da geração da carta sinótica final no formato adequado.

Para a elaboração de rotinas computacionais, todos os *scripts* destinados ao processo de manipulação dos arquivos

e execução dos comandos e procedimentos foram baseados em linguagem *shell* (EBRAHIM; MALLET, 2018), um interpretador de linha de comando amplamente utilizado no ambiente Linux.

Para a geração da carta de pressão, foram utilizados cinco diferentes programas existentes no Gempak: *gpmap*, *gdentr*, *gpanot*, *gpbox* e o *gpend*. Tais programas são executados por linha de comando e rodam processos relacionados aos dados que contêm pontos de grade, i.e., o modelo atmosférico, e também realizam a plotagem gráfica de informações.

Assim, a primeira sub-rotina do *script* principal destina-se à definição das configurações de mapa, para que o produto final tenha *layout* semelhante ao da carta sinótica manual. Para tal, foi usado o *gpmap*. Neste passo, foram definidos a área, a projeção do mapa, as cores, as características de linhas, filtros etc.

A segunda sub-rotina refere-se à leitura do arquivo de modelo convertido (i.e., com extensão “.gem”) e à definição de uma série de variáveis ligadas à plotagem das linhas de pressão na escala de grade. O programa *gdentr* foi usado para esse fim. Neste passo, é realizada a leitura do arquivo e são definidas variáveis inerentes ao parâmetro pressão ao nível médio do mar e ao intervalo de plotagem entre as diferentes linhas, entre outras. Também é definido um item de extrema importância: o formato de saída da primeira visualização do campo, ou seja, linhas de pressão originadas pelo modelo, mas ainda sem qualquer intervenção humana. Para que se torne editável, o arquivo precisa ser salvo em formato *vector graphics file* (VGF). Este é um formato vetorizado, que torna o arquivo escalável e inclui mais informações (atributos de objeto) em seu conteúdo. Tais objetos serão editáveis quando visualizados, permitindo que alterações sejam salvas e sobrepostas ao arquivo inicial. É de interesse do CHM que não somente as linhas de pressão possam ser alteradas conforme a experiência do analista, mas também que o produto final possua os elementos meteorológicos previstos na publicação da WMO (2012). Tal publicação especifica a forma com que os símbolos que representam os sistemas meteorológicos devem ser apresentados na carta sinótica, em forma mono e policromática. O programa Gempak possui as ferramentas necessárias para que tais símbolos sejam inseridos pelo usuário, de acordo com as orientações da WMO.

O programa *gpanot* foi usado para desenhar as delimitações da área marítima conhecida internacionalmente como METAREA V e de suas dez subáreas (denominações e

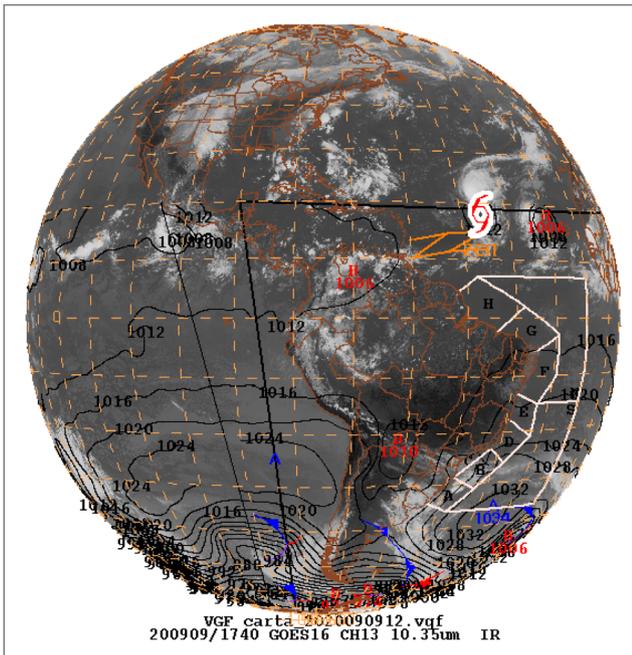
extensões geográficas podem ser consultadas em: BRASIL, 2022). O programa *gpbox* foi usado para configurar as latitudes e longitudes de borda da carta sinótica e o *gpend* termina todos os processos relacionados ao pacote de plotagem, gerando o arquivo de saída em VGF.

Para auxiliar no processo de edição da carta, foram configurados alguns produtos meteorológicos no Gempak, que podem ser sobrepostos ao arquivo base, em formato VGF, auxiliando significativamente o analista no que diz respeito ao posicionamento de centros de pressão, frentes frias e demais fenômenos meteorológicos. Tal sobreposição de informações ambientais torna a confecção da carta sinótica muito mais precisa em termos geográficos, conceituais e físicos. Ressalta-se que, como os arquivos VGF são vetorizados, eles ajustam-se automaticamente à projeção do dado sobreposto, além de permitir a função *zoom* sem deformar ou perder qualquer informação do campo de pressão utilizado.

Entre os produtos que são sobrepostos à carta como ferramentas auxiliares, destacam-se as imagens de satélite, as observações meteorológicas realizadas em terra e/ou no mar e os dados do *Advanced SCATterometer* (ASCAT), um instrumento satelital que mede intensidade e direção dos ventos sobre os oceanos. Este último dado agrega enorme valor à análise da carta, já que as medições no oceano realizadas por navios e boias são escassas e pontuais, enquanto os medidores satelitais proveem um imageamento abrangente em suas áreas de cobertura. Na Figura 1 é possível visualizar no Gempak um arquivo editável em VGF, com as linhas de pressão do modelo numérico e os símbolos meteorológicos sobrepostos a uma imagem do satélite GOES-16. Note que o arquivo vetorizado acompanha a curvatura da Terra na imagem de satélite. É possível dar um *zoom* em qualquer uma das feições meteorológicas e não perder nenhuma das características dos atributos de tais objetos.

Essa sobreposição de produtos fornece uma clara visão do posicionamento dos sistemas frontais no Atlântico Sul, propiciando uma análise mais precisa da carta se comparada ao processo manual. As Figuras 2 e 3 representam outros produtos que podem ser sobrepostos ao arquivo editável: observações meteorológicas de navios (Figura 2) e produtos de escatêrômetros com direção e intensidade dos ventos oceânicos (Figura 3).

Após a edição das linhas de pressão do modelo que estejam incoerentes com a realidade (mostrada pelas imagens de



**Figura 1.** Arquivo editável da carta sinótica do dia 9 de setembro de 2020, em VGF, sobreposto a uma imagem do satélite GOES-16, canal 13 (infravermelho) utilizando o programa Gempak.

satélite, observações e escaterômetros) e a inserção dos símbolos meteorológicos necessários, um *script* final é executado para gerar o arquivo em formato GIF. É automaticamente adicionado a esse arquivo um cabeçalho com a logomarca da MB e outras informações. O *script* finaliza o processo enviando automaticamente a carta sinótica para o *e-mail* do supervisor de serviço, a fim de facilitar e agilizar a disseminação do produto. O *script* de preparação do arquivo VGF para edição leva menos de 10 segundos para ser processado. O tempo de edição das linhas e fenômenos meteorológicos depende da experiência do analista, mas não se compara ao tempo gasto no antigo processo manual de desenho de todas as linhas feito do zero. O *script* final de geração e envio do arquivo para o *e-mail* de serviço leva menos de 5 segundos para ser executado.

O último item listado nos objetivos versa sobre o georreferenciamento da carta sinótica, visando sua inserção nos novos sistemas integrados de navegação náutica. Essa foi mais uma grande vantagem da migração do processo para o meio digital. O produto do CHM agora está mais preparado para as evoluções que envolvem os sistemas de navegação. O programa *gpmap* possibilita ao usuário salvar um arquivo VGF

já editado em formato FAX (*6-bit*). Esse é um formato que utiliza *subsets* de números para determinar as dimensões do produto. Tais dimensões estão definidas em uma tabela com números de identificação, descrições das variáveis, fatores de rotação e tamanho das dimensões  $x$  e  $y$  (em que  $x$  é o número de *bits* por linha e  $y$  é o número de linhas). É possível usar o programa *gpfax* para converter o arquivo em formato FAX para o formato TIFF, que usa um esquema de compressão e também faz uso de uma tabela para definir as dimensões do produto. O arquivo então pode ser convertido para o formato GEOTIFF, utilizando-se programas específicos tais como o *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL), um programa de leitura e escrita de dados geoespaciais em formatos *raster* e *vetoriais*. Uma carta sinótica em GEOTIFF torna-se um produto georreferenciado, acompanhando os padrões internacionais de disseminação de informações de segurança marítima dos modernos sistemas integrados de navegação que estão sendo projetados.

## 4. RESULTADOS

O resultado deste trabalho é a produção de cartas sinóticas em formato digital, georreferenciado e totalmente editável. A primeira versão oficial da carta digital foi disponibilizada no dia 21 de setembro de 2020 no *site* do CHM (BRASIL, 2020) e a inovação foi apresentada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) durante as comemorações do Dia do Hidrógrafo.

A Figura 4 mostra a evolução do produto do formato manual para o digital. Na forma manual, totalmente desenhada em papel, as curvas de pressão são ajustadas seguindo as observações plotadas na carta, imagens de satélite mostradas numa tela e modelos numéricos impressos em papel. Os sistemas meteorológicos são posicionados com base nas informações desses produtos externos. A experiência do analista é primordial, pois todo esse processo é realizado do zero. A análise no formato digital, em contrapartida, já se inicia com as linhas de pressão fornecidas pelo modelo numérico. É sobreposta nessa mesma tela a imagem de satélite, a fim de auxiliar o analista no posicionamento de frentes frias, tempestades tropicais etc. (conforme já mostrado na Figura 1). A sobreposição das observações meteorológicas (conforme Figura 2) auxilia no posicionamento das diferentes massas

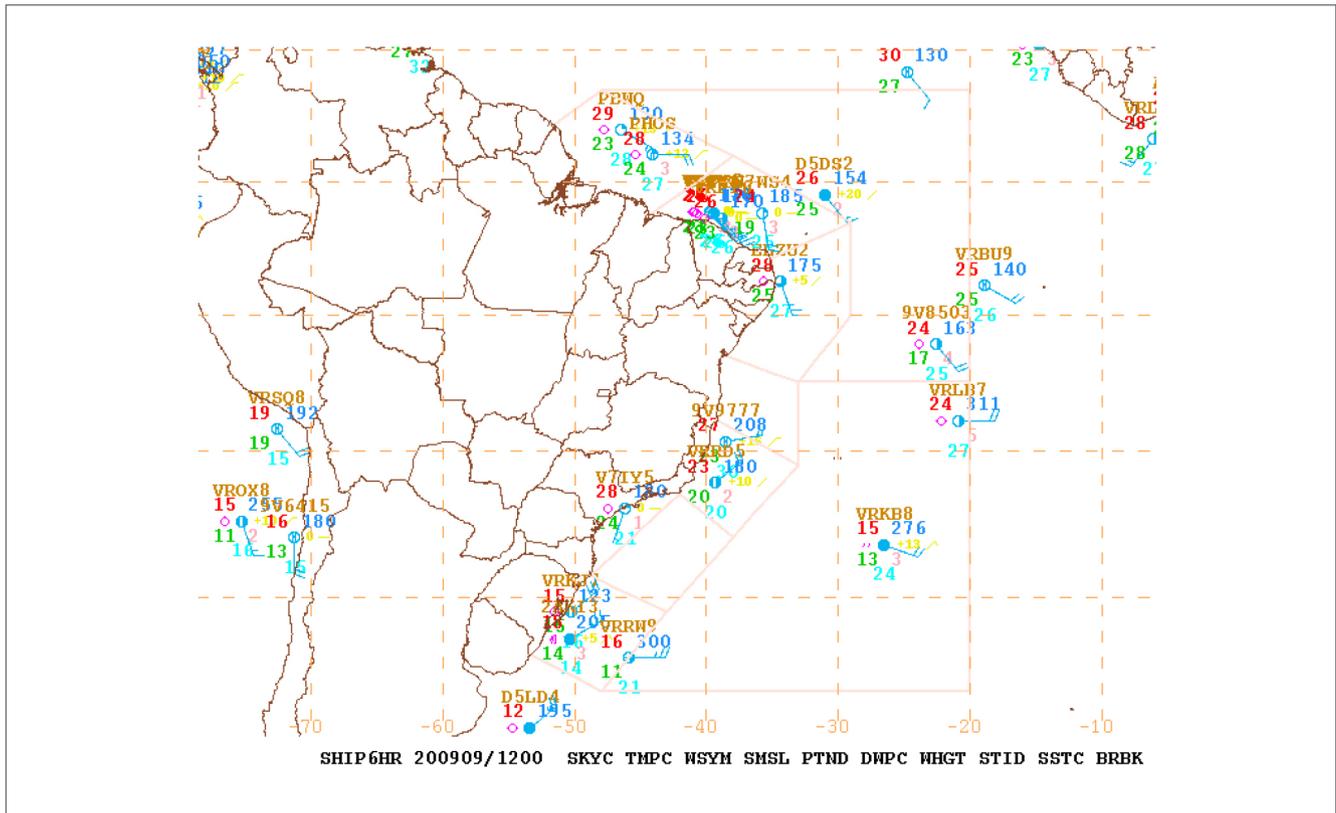


Figura 2. Observações meteorológicas provenientes de navios, plotadas no Gempak.

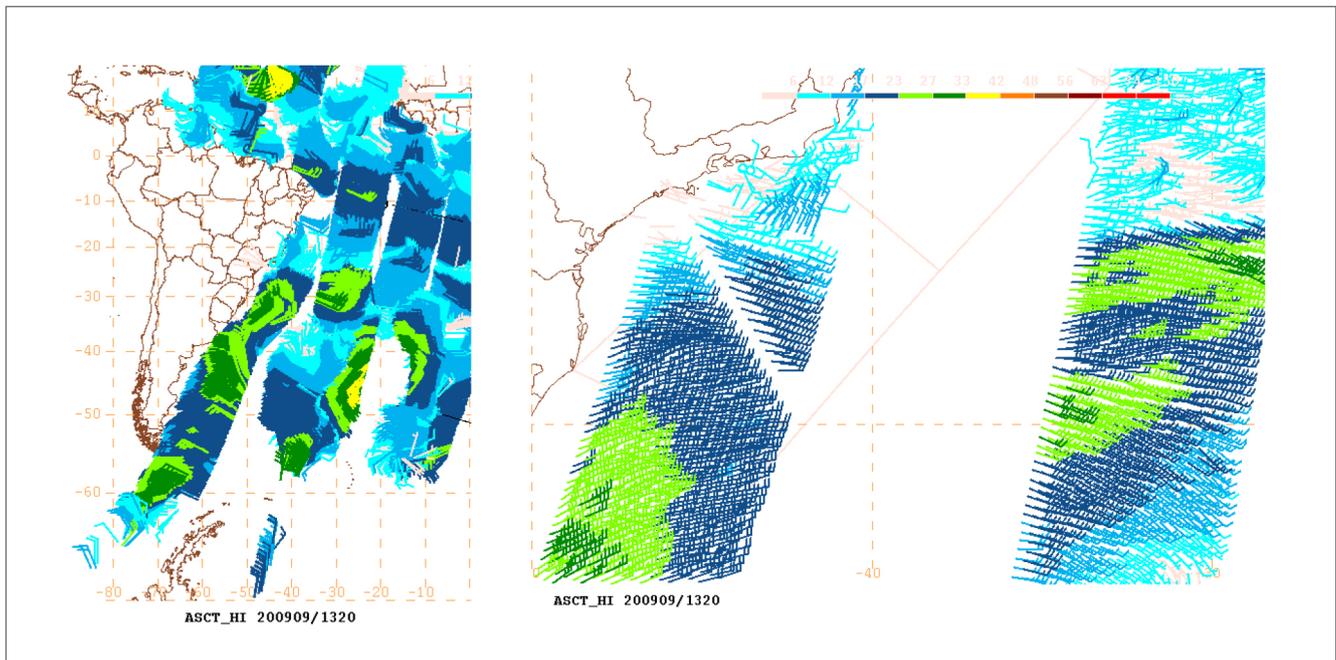
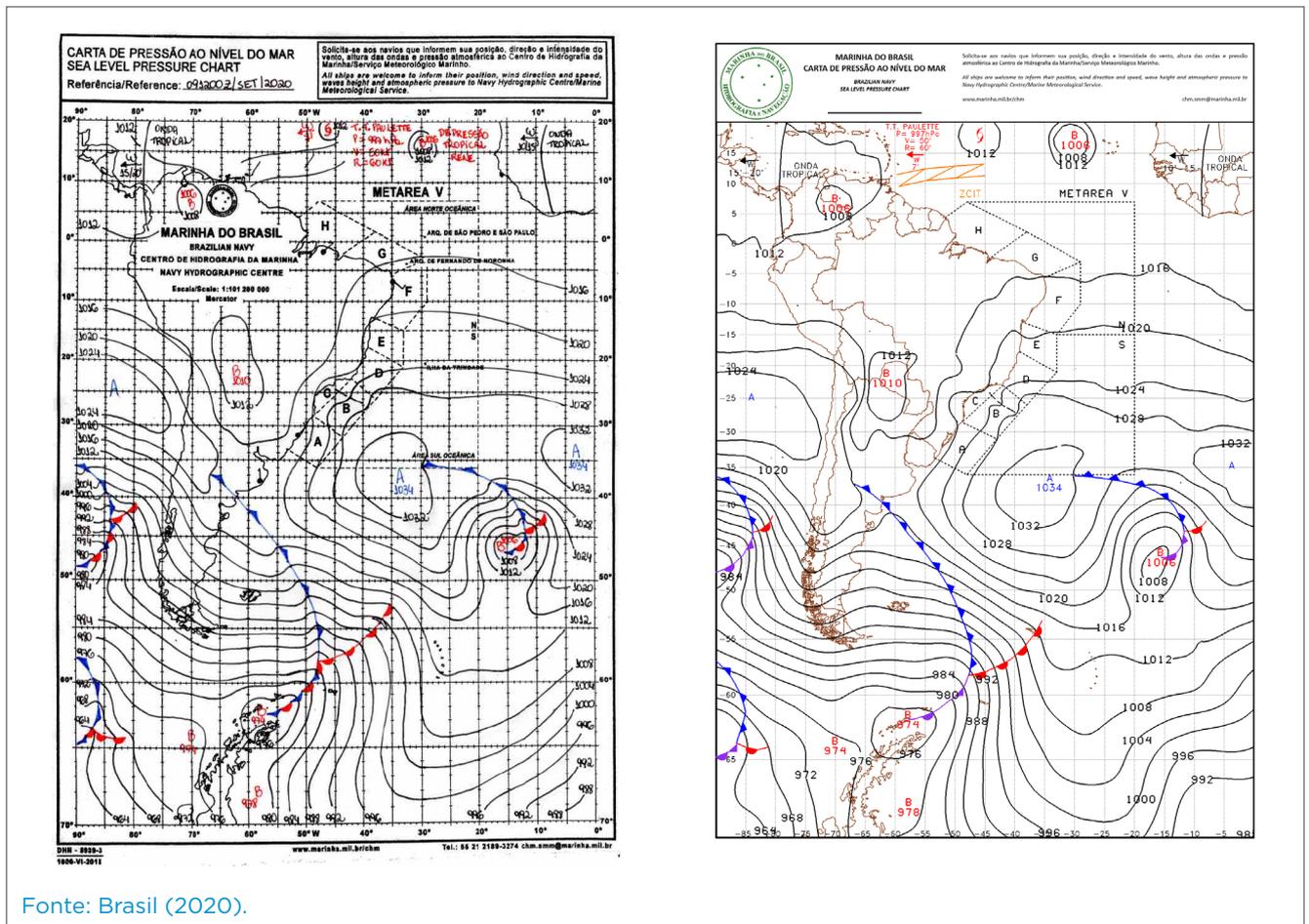


Figura 3. Barbelas de direção e intensidade do vento provenientes do escaterômetro ASCAT, plotadas no Gempak. A imagem da direita mostra um zoom na costa sul/sudeste do Brasil.



Fonte: Brasil (2020).

**Figura 4.** Cartas sinóticas produzidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha: forma manual (esquerda) e digital (direita).

de ar, com informações de temperatura, pressão, vento etc. A sobreposição dos dados de escaterômetro (denotados na Figura 3) completam a suíte de ferramentas no auxílio da edição da carta. Todos os setores de linhas de pressão inconsistentes com tais informações poderão ser apagados e redesenhados com o simples uso do *mouse*. Os símbolos meteorológicos também são incluídos com a mesma facilidade, utilizando-se ícones próprios do Gempak. Algumas modificações estéticas foram feitas no *layout* da carta, tornando-o mais limpo.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma mudança de paradigma na confecção de um dos principais produtos oferecidos pelo CHM em apoio ao navegante e diversos usuários: a carta sinótica.

Tal inovação precisava ser acompanhada pela manutenção da qualidade subjetiva que o produto do CHM já possuía, sob pena de degradar sua qualidade e uso dos navegantes em geral. A automação dos processos envolvidos e a precisão e a facilidade propostas pelo projeto permitiram que sua pronta implementação no CHM dependesse apenas da capacitação de pessoal, a qual foi finalizada em aproximadamente dois meses. As cartas sinóticas em formato digital estão disponíveis para uso ostensivo à comunidade marítima, científica e à sociedade em geral no sítio eletrônico do CHM, em dois horários diferentes por dia.

Adicionalmente, este trabalho gera soluções para alguns temas em andamento na MB, entre eles:

- projetos nacionais ligados a sistemas integrados de geoinformação temática para operações conjuntas — possibilidade de inclusão da carta em portais atualmente em desenvolvimento;

- projeto da OHI, o chamado S-100 — *Universal Hydrographic Data Model (e-Navigation)*; foi dado o primeiro passo para a inclusão da carta no projeto *Weather Overlay* para *Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)*.

A ideia desse projeto internacional é produzir um sistema multifuncional e único de informações, disponível no passageiro dos navios, que contribua para o aumento da segurança da navegação (MORAIS, 2016).

Por fim, este trabalho mostra como a exploração de soluções de baixo custo e, neste caso específico, gratuitas, pode ampliar os horizontes da MB, agregando valor a seu ambiente operacional, além de permitir avanços nos projetos da atualidade. No caso deste projeto, tais avanços tecnológicos não preterem a interferência humana e sua capacidade subjetiva, pois, apesar de toda a automação envolvida, a importância dos anos de experiência de um analista do tempo no processo é considerada. Essa é a grande vantagem de se colocarem as máquinas a serviço da sabedoria humana.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. *Áreas marítimas*. Brasil: Centro de Hidrografia da Marinha. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-informacoes-gerais/areas-maritimas>. Acesso em: 9 mar. 2022.

BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. *Cartas sinóticas*. Brasil: Centro de Hidrografia da Marinha, 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em: 9 mar. 2022.

EBRAHIM, M.; MALLETT, A. *Mastering linux shell scripting*. 2. ed. Birmingham: Packt, 2018.

MORAIS, C. R. B. Desenvolvimento de um produto de meteorologia marinha usando o modelo de dados hidrográficos

universal (S-100). *Anais Hidrográficos*, Niterói, tomo 73, p. 75-82, 2016.

NCAR. *GEMPAK Online Tutorial*. Boulder, 2017. Disponível em: <http://www.unidata.ucar.edu/software/gempak/tutorial/index.html>. Acesso em: 10 dez. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Guide to the WMO Table Driven Code Form Used for the Representation and Exchange of Regularly Spaced Data in Binary Form: FM 92 GRIB Edition 2*. Genebra: WMO, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System*. Genebra: WMO, 2012.