

ANÁLISE DE DOIS CASOS DE RESSACA NO LITORAL DA REGIÃO SUL NO VERÃO DE 2002

Daniel Pires Bitencourt

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE,
Cachoeira Paulista/SP, Brasil - email: daniel@cptec.inpe.br

Mário F. Leal de Quadro

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE,
Cachoeira Paulista/SP, Brasil - email: mario@cptec.inpe.br

Nuri O. de Calbete

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE,
Cachoeira Paulista/SP, Brasil - email: nuri@cptec.inpe.br

ABSTRACT

This work analyzes the responsible atmospheric situation for the two occurrences of the phenomenon “ressaca” observed in the summer of 2002 over the coast of the South Region. This phenomenon, that more frequently occurs in the months of autumn and winter, is caused by the increase of the level of the sea due the rise of the astronomical tide and/or meteorological tide, folloied of waves with bigger amplitude that the normal one. For being summer, these events had brought damages add to the economy of the States of the Rio Grande do Sul and Santa Catarina. The analysis of the meteorological conditions had shown that, in both the studied cases, the responsible one for the maritime agitation was the extratropical cyclone in surface. Results of WAM model of the CPTEC/INPE had shown good performance for the forecasts with antecedences of 18, 42 and 66 hours.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno ressaca é o aumento do nível do mar provocado pela elevação da maré astronômica e/ou maré meteorológica, acompanhado de ondas com amplitude maior que o normal. Geralmente o aumento do nível do mar se dá pelo “empilhamento” de água na costa, causado pela força do vento na superfície do mar (maré meteorológica), somado a força gravitacional exercida pelos astros (maré astronômica), principalmente o sol e a lua. O aumento na altura das ondas, na maioria das vezes, ocorre devido a atuação de sistemas meteorológicos de baixa pressão (ciclones extratropicais), os quais muitas vezes se formam em regiões afastadas da costa, mas mesmo assim favorecem a agitação marítima e a propagação de ondas que atingem a região costeira, onde são modificadas ao ingressarem em águas mais rasas (Pond e Pickard, 1986) . O fenômeno ressaca ocorre com maior frequência nos meses de outono e inverno, no entanto em outras estações do ano, ciclones extratropicais também podem se desenvolver sobre o Oceano Atlântico, provocando ventos fortes e gerando agitação marítima na costa da Região Sul.

Foi o que aconteceu neste último verão, quando o mar ficou agitado por duas vezes, favorecendo a ocorrência de ressaca no litoral dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O primeiro evento foi observado no dia 16 de janeiro de 2002 e o segundo caso de ressaca foi observado durante o final de semana dos dias 2 e 3 de fevereiro de 2002. Por ser verão, esses eventos trouxeram prejuízos adicionais à economia dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Além da destruição de edificações e embarcações à beira mar, que comumente acontece nesses casos, a agitação marítima atrapalhou a exploração turística no litoral, pois apesar das condições de sol com poucas nuvens, milhares de turistas evitaram ir à praia por causa do mar perigoso ou devido a redução da faixa de areia verificada em vários pontos do litoral. Alguns donos de quiosques tiveram prejuízos econômicos tanto pela ausência de turistas nas praias, como por causa da destruição parcial de seus estabelecimentos, devido a ressaca (Bastos, 2002). De acordo com a matéria “Ressaca Atinge Avenida – Ondas de 2 metros invadiram calçada de Balneário Camboriú”, divulgada no Jornal Diário Catarinense de 17/01/2002 (Kindlein, 2002), as nove ressacas ocorridas em Balneário Camboriú, no litoral norte de Santa Catarina, durante o ano de 2001, custaram aos cofres públicos quase R\$ 1.000.000,00.

Diante do perigo que tripulantes de embarcações são submetidos frente a condições adversas de mar ou mesmo considerando os inúmeros prejuízos contabilizados devido a ocorrência de ressaca, torna-se cada vez mais necessário interpretar melhor os resultados de modelos oceânicos, assim como adquirir cada vez mais conhecimento dos processos físicos que provocam agitação marítima. Para tanto, é fundamental o estudo de casos passados de ocorrência de mar agitado e/ou fenômeno ressaca (Candella, 1997; Innocentini e Caetano Neto, 1996). Este trabalho objetiva analisar a situação atmosférica responsável pelas duas ocorrências do fenômeno ressaca

registrados no verão de 2002, na costa da Região Sul. Para tanto, serão analisados campos de variáveis atmosféricas, obtidas pela reanálise do “National Centers for Environmental Prediction” - NCEP. Para o caso da ressaca ocorrida em janeiro, também serão avaliados os resultados do modelo de ondas oceânicas WAM do CPTEC/ INPE.

2. METODOLOGIA

Faz-se uma descrição das condições meteorológicas que foram responsáveis pela ocorrência da agitação marítima e conseqüente ressaca em alguns pontos do litoral da Região Sul. O primeiro evento de ressaca aconteceu no dia 16 de janeiro de 2002, atingindo principalmente o litoral norte catarinense e o segundo evento aconteceu nos dias 2 e 3 de fevereiro de 2002, atingindo pontos isolados do litoral dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A análise sinótica é efetuada por intermédio de imagens do satélite GOES-8, no canal infravermelho, e dos campos de Altura Geopotencial em 500 hPa, Vorticidade Relativa em 925 hPa, Pressão ao Nível Médio do Mar e direção e velocidade do Vento em 1000 hPa, obtidos da reanálise do NCEP. No caso da ressaca ocorrida em 16 de janeiro de 2002, também será analisada a performance dos resultados do modelo de ondas oceânicas WAM do CPTEC/INPE. As simulações realizadas pelo modelo WAM, de altura e direção de propagação das ondas oceânicas, são avaliadas subjetivamente através da comparação visual dos resultados do modelo com o evento de agitação marítima e ressaca, abordados pelos centros operacionais de meteorologia e meios de comunicação.

Nestes dois casos de ressaca a principal situação atmosférica responsável pela agitação marítima foi a atuação de ciclones extratropicais, que desenvolveram-se a partir de ciclogêneses sobre o Oceano Atlântico. Utilizando-se de perfis verticais do campo da componente meridional do vento, faz-se uma análise mais profunda dos sistemas de baixa pressão que atuaram no dia 16 de janeiro e nos dias 2 e 3 de fevereiro. Os dois campos de perfil foram obtidos através do corte vertical entre 1000 e 100 hPa, compreendendo as longitudes de 30 e 60°W e fixados na latitude que coincide com o centro do ciclone extratropical. Para o caso de janeiro, a latitude escolhida foi 30°S e para o caso de fevereiro a latitude escolhida foi 40°S.

3. ANÁLISE METEOROLÓGICA

3.1 – Caso de Ressaca do dia 16/01/2002

Enquanto um sistema frontal se deslocava, sobre a superfície do Oceano Atlântico, na altura da Região Sul, percebe-se a propagação de um cavado em médios níveis. Este sistema meteorológico, ao atingir a região oceânica, na altura do litoral dos Estados de SP e RJ, gera aumento de vorticidade em baixos níveis, favorecendo a ocorrência de uma ciclogênese, com centro aproximadamente na latitude 25°S e longitude 57°W, conforme mostra a figura 1. A propagação do cavado em médios níveis e a região de forte vorticidade relativa negativa gerada por esse sistema meteorológico é mostrada através da figura 2.

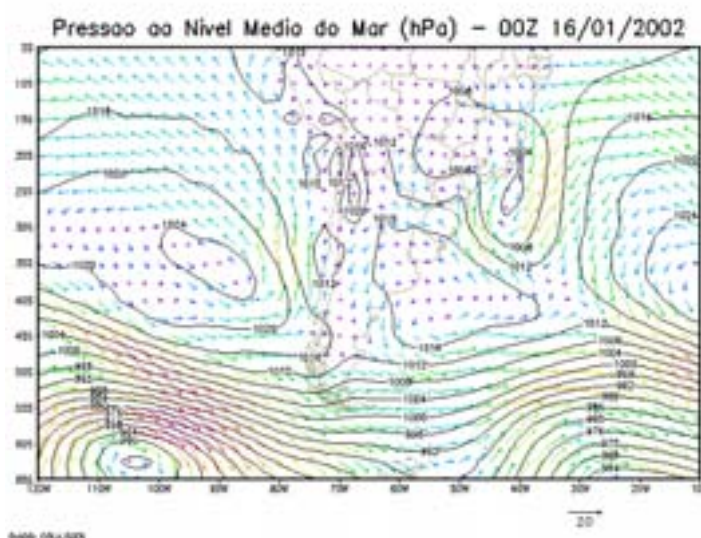


Fig. 1 – Campo de Pressão ao nível Médio do Mar e Vetor Vento (m/s) – Ciclogênese sobre o oceano, na altura do litoral dos Estados de SP e RJ.

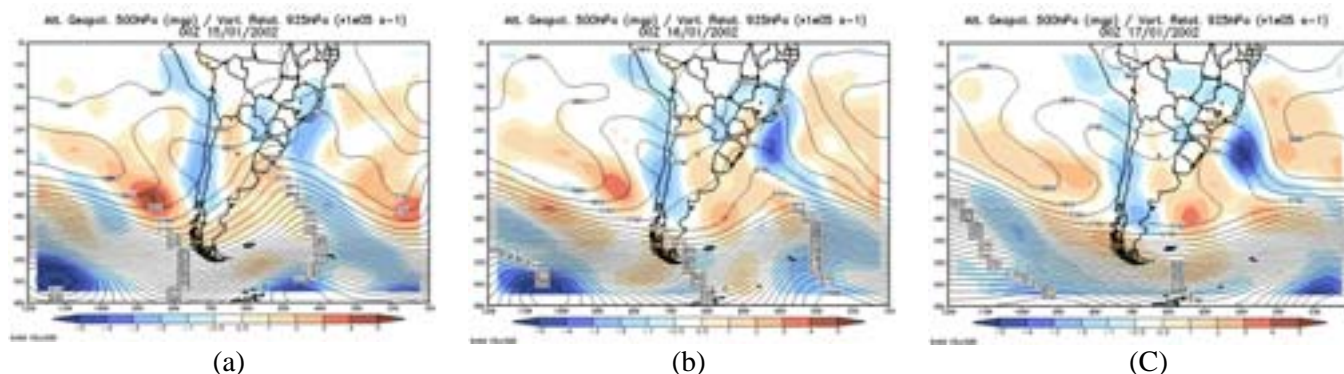


Fig. 2 – Campo de Altura Geopotencial em 500 hPa e Vorticidade Relativa em 925 hPa, das 00Z dos dias (a)15, (b)16 e (c)17/01/2002.

A formação do sistema de baixa pressão (centro em 30°S e 59°W) gerou intensa circulação ciclônica sobre o oceano. Na retaguarda do sistema frontal (frente fria), que também deslocou-se sobre o oceano, a presença de um sistema de alta pressão (centro em 41°S e 66°W) gerou circulação anti-ciclônica, igualmente com ventos intensos sobre a superfície do mar. A associação desses dois sistemas formou um “corredor de ventos fortes” a sudoeste do ciclone e nordeste do anti-ciclone, conforme verifica-se na figura 3. Esses ventos fortes foram suficientes para gerar ondas oceânicas em alto mar, as quais propagaram e atingiram com maior intensidade o litoral norte catarinense, provocando mar agitado e ressaca na costa.

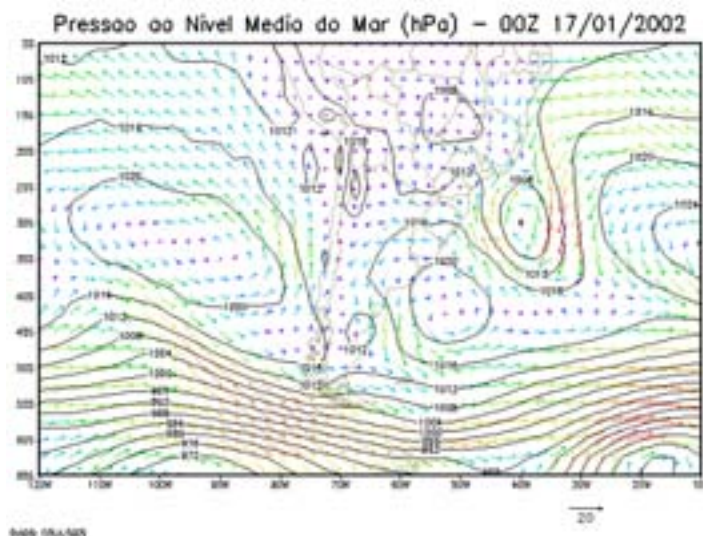


Fig. 3 – Campo de Pressão ao Nível Médio do Mar e Vetor Vento (m/s) – Corredor de vento responsável pela agitação marítima.

De acordo com a figura 4, percebe-se que a imagem de satélite das 02:09 Z do dia 16/01 indica a configuração de nebulosidade característica de uma ciclogênese próximo a costa do RJ. Na mesma imagem percebe-se a banda de nebulosidade, ao sul do sistema de baixa pressão, proveniente da frente fria que deslocou-se pelo oceano. Posteriormente, a frente fria se afastou para alto mar, posicionando os sistemas de baixa e alta pressão de forma favorável para geração do “corredor de ventos fortes”.

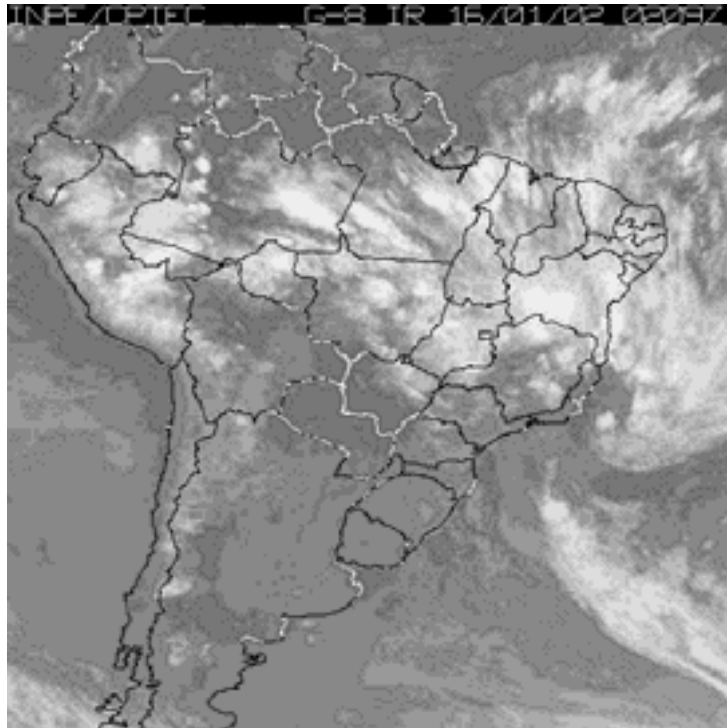


Fig. 4 – Imagem do Satélite GOES-8, no canal infravermelho, das 02:09 Z do dia 16/01/2002.

O perfil vertical da componente meridional do vento, mostrado na figura 5, indica o quanto o sistema de baixa pressão apresenta estado baroclínico. Percebe-se isso analisando a inclinação para oeste, com a altura, da faixa branca na figura, a qual mostra a região onde há ausência de vento meridional, ou seja, região do centro do sistema de baixa pressão. As cores tendendo para o azul representam os valores negativos da componente v do vento, ou seja, ventos de norte para sul, que é a situação observada a direita do centro da baixa pressão. As cores tendendo para o vermelho indicam ventos de sul para norte, que é a situação verificada a esquerda do centro do ciclone extratropical. Percebe-se que, apesar da intensidade do vento ser maior à direita do centro do sistema, no lado esquerdo tem-se velocidade do vento meridional máxima de 12 m/s, em 45°W. Essa área em vermelho mostrado na figura 5 é justamente o corte vertical, em leste/oeste, do “corredor de ventos fortes”, responsável pela geração das ondas mais altas que atingiram o litoral norte catarinense.

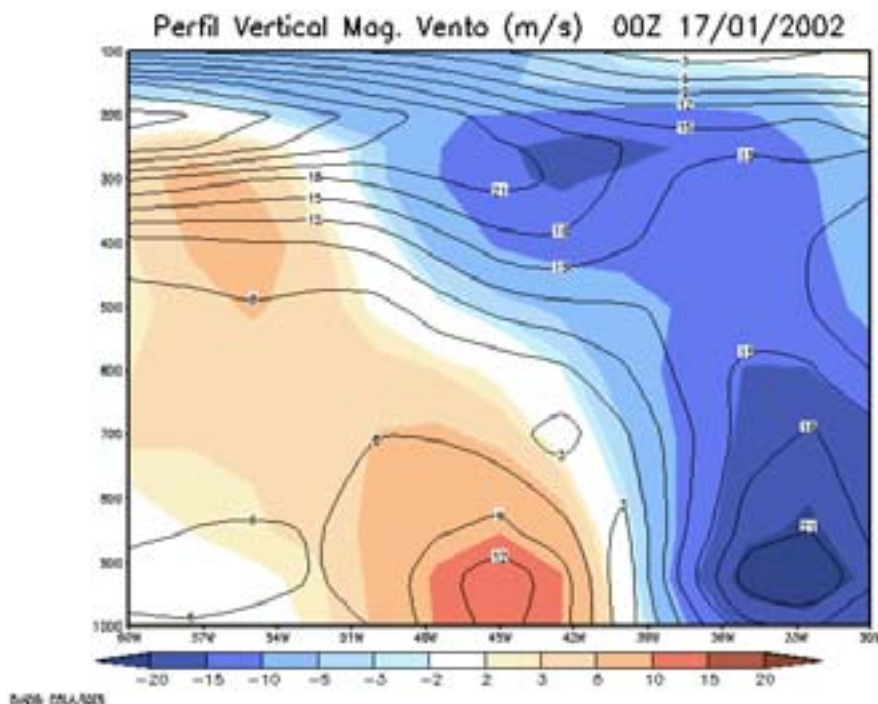


Fig. 5 – Perfil vertical (entre 1000 e 100 hPa) da componente v do vento na latitude de 30°S, entre as longitudes 30°W e 60°W.

3.2 – Caso de Ressaca dos dias 02 e 03/02/2002

Em geral, a situação atmosférica que causou a agitação marítima e ressaca em alguns pontos do litoral dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, nos dias 02 e 03 de fevereiro de 2002 foi semelhante com a situação observada em 16 de janeiro. No entanto, essa semelhança entre os dois casos restringe-se apenas ao tipo de sistema meteorológico, pois no caso da ressaca de fevereiro o ciclone extratropical atuou com maior intensidade e um pouco mais ao sul, em relação ao caso da ressaca de janeiro. Um cavado em altitude se deslocou sobre o continente americano, favorecendo a formação (ciclogênese) de um intenso sistema de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico. De acordo com os dados de reanálise do NCEP, este sistema atuou com maior intensidade as 00 Z do dia 02 de fevereiro. Analisando a figura 6 (a), observa-se que as 00 Z do dia 02 o centro do sistema de baixa pressão encontrava-se com 992 hPa em aproximadamente 40°S de latitude e 40°W de longitude. Ressalta-se que, conforme a figura 6 (b), o cavado em médios níveis encontra-se, neste estágio de desenvolvimento do sistema, praticamente na mesma região, gerando forte vorticidade relativa (aproximadamente $< -5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) próximo a superfície.

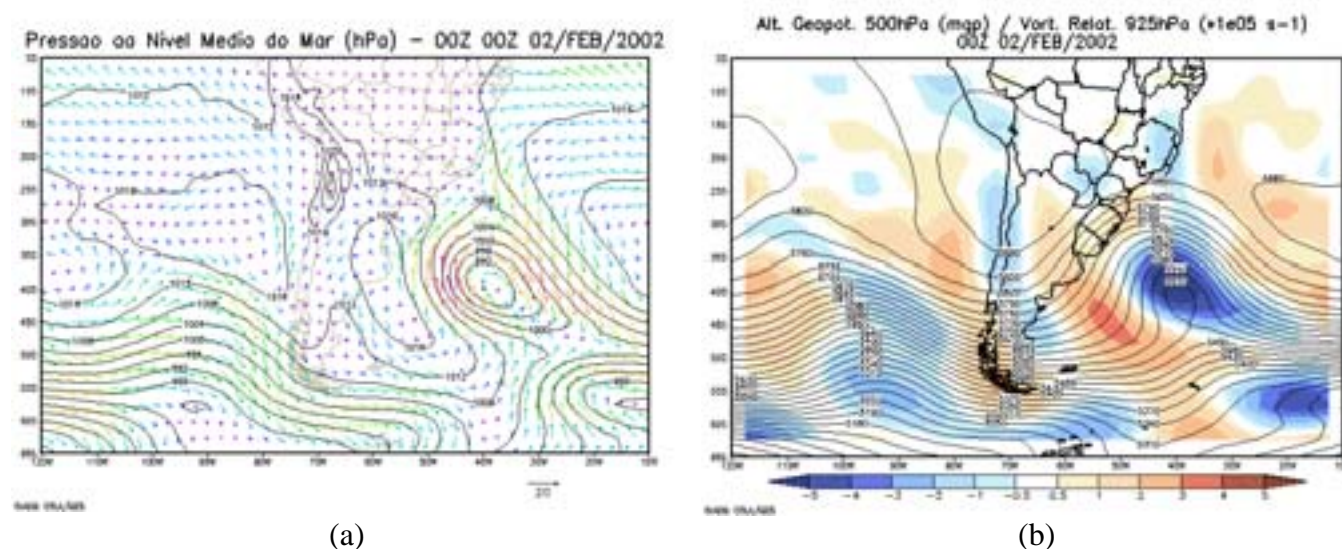


Fig. 6 – (a) Campo de Pressão ao nível Médio do Mar e Vetor Vento (m/s); (b) Campo de Altura Geopotencial em 500 hPa e Vorticidade Relativa em 925 hPa. Reanálise das 00Z do dia 02/02/2002.

O fato do cavado em médios níveis estar quase na mesma região do sistema de baixa pressão em superfície, indica que este sistema encontrava-se barotrópico em quase toda sua extensão vertical. A condição de barotropia, que também pode ser verificada na figura 7, difere esta situação da estudada no item 3.1 deste trabalho.

O perfil vertical do campo de vento meridional observado na figura 7 indica que o ciclone extratropical, as 00 Z do dia 02 de fevereiro, apresenta barotropia da superfície até aproximadamente 400 hPa, conforme indica a faixa branca (ausência de vento meridional) na figura. Da mesma forma que o ciclone extratropical estudado no item 3.1, este sistema apresenta ventos mais intensos à direita do seu centro. No entanto, os ventos de sul para norte (cores tendendo para o vermelho) à esquerda do centro da baixa pressão, são suficientemente intensos (de 15 a 20 m/s) para gerar um “corredor de ventos fortes”, favorável à maior agitação marítima e ondulações mais altas capazes de provocar ressaca no litoral da Região Sul. Lembramos que o fenômeno ressaca foi observado durante os dias 02 e 03 de fevereiro, ao contrário do caso de janeiro, quando observou-se ressaca em apenas um dia. O “corredor de ventos fortes” foi estimulado tanto pela circulação do sistema de baixa pressão como pelo sistema de alta

pressão, localizado mais a oeste (centro em ~ 40°S e 62°W). Mas ressalta-se que os ventos que geraram as ondas mais altas foram predominantemente oriundos do sistema de baixa pressão.

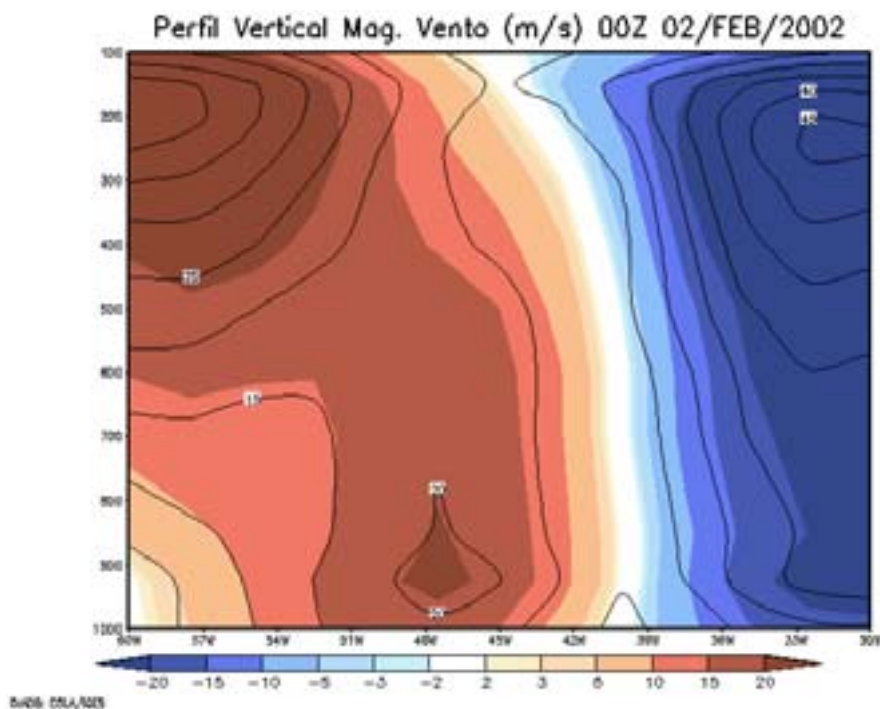


Fig. 7 - Perfil vertical (entre 1000 e 100 hPa) da componente v do vento na latitude de 40°S, entre as longitudes 30°W e 60°W

4. AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES DO MODELO WAM

Os resultados do modelo são avaliados para o caso de ressaca do dia 16/01/2002. O Modelo de Ondas Oceânicas WAM (WANDI, 1988) do CPTEC/INPE é um modelo de terceira geração e produz duas previsões diárias nos horários das 00 e 12 Z. Sua versão operacional utiliza como forçantes os campos de ventos produzidos pelo modelo atmosférico global T126L28 do CPTEC.

As simulações realizadas pelo modelo WAM, de altura e direção de propagação das ondas oceânicas, são avaliadas subjetivamente através da comparação visual dos resultados do modelo com o evento de agitação marítima e ressaca, abordados pelos centros operacionais de meteorologia e meios de comunicação. Os campos apresentados na figura 8 mostram seis simulações realizadas com diferentes prazos de antecedência. As previsões são realizadas sempre para as 18 Z de 16 de janeiro de 2002, quando verificou-se forte agitação marítima e ocorrência de ressaca. Os prognósticos foram inicializados as 00 Z dos dias 11, 12, 13, 14, 15 e 16/01, ou seja, estaremos avaliando as previsões do modelo WAM feitas para as 18 Z do dia 16 de janeiro, com antecedência de 18, 42, 66, 90, 114 e 138 horas.

De acordo com a figura 8 percebe-se que em todas as simulações há indicativo que ocorreria agitação marítima ao longo da costa da Região Sul. No entanto, somente as previsões com antecedência de 18, 42 e 66 horas apresentaram performance suficiente para se detectar que teria-se uma faixa no oceano com ondas mais altas, propagando de sudeste e sul, suficientes para atingir o litoral norte catarinense, a ponto de provocar o fenômeno ressaca, como de fato aconteceu em Balneário Camboriú – SC. A avaliação das previsões feitas com antecedências de 90 e 114 horas indica que o modelo WAM detectou a agitação marítima, mas sem ser preciso quanto a região de maior impacto. E, estranhamente a previsão feita com o maior prazo de antecedência (138 horas) detectou melhor a configuração da agitação marítima observada no dia 16, em relação as previsões realizadas com antecedências de 90 e 114 horas.

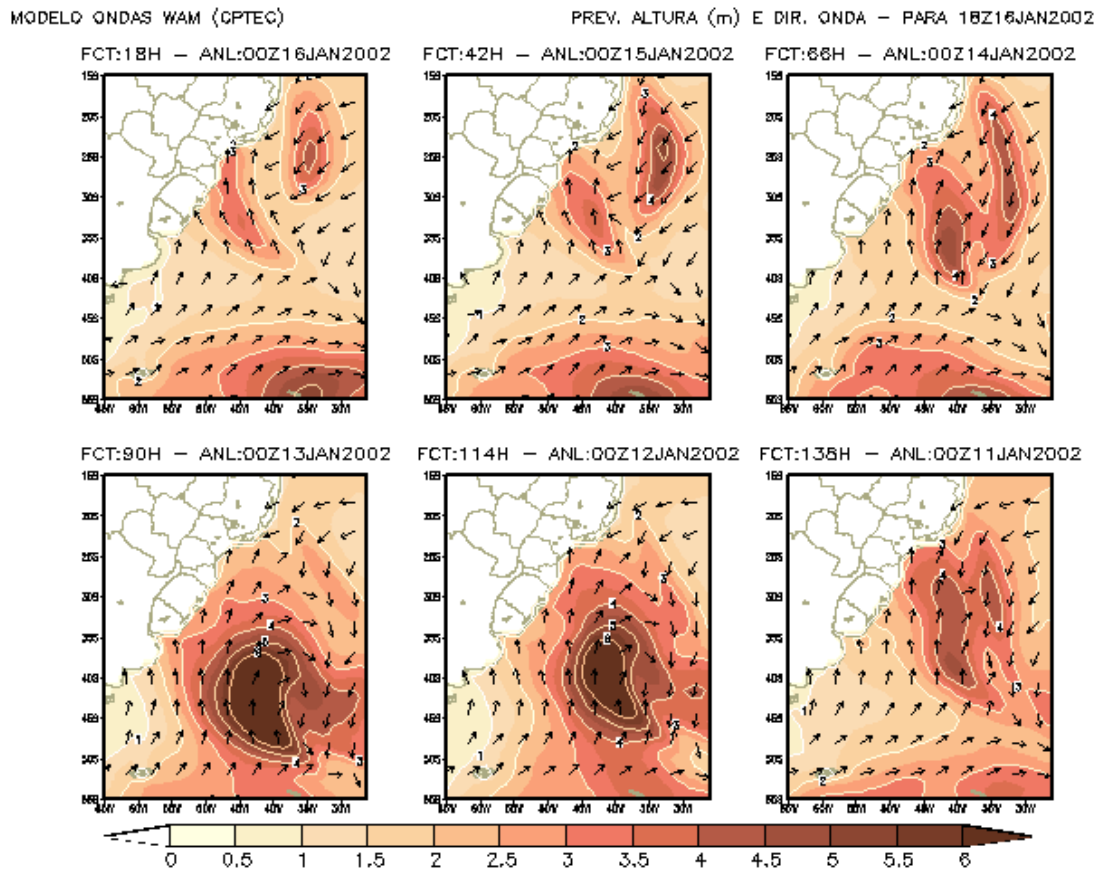


Fig. 8 – Simulações do Modelo WAM das condições oceânicas ocorridas às 18 Z do dia 16 de janeiro de 2002. Os campos de altura e direção das ondas mostram as previsões realizadas com antecedências de 18, 42, 66, 90, 114 e 138 horas, respectivamente.

5. CONCLUSÃO

A análise das condições meteorológicas efetuadas através da reanálise do NCEP e imagens de satélite mostraram que, para os dois casos de ressaca estudados, o principal sistema meteorológico responsável pela agitação marítima foi o ciclone extratropical, desenvolvido a partir da propagação de um cavado em médios níveis e conseqüente ciclogênese em superfície. Tanto para a ressaca do dia 16 de janeiro ocorrida no litoral norte catarinense, como para o caso da ressaca ocorrida nos dias 02 e 03 de fevereiro em pontos isolados dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, observou-se um “corredor de ventos fortes” estimulado pela circulação anticiclônica de um sistema de alta pressão, mas principalmente estimulado pela circulação ciclônica do sistema de baixa pressão (ciclone extratropical). Verificou-se também, através dos campos de Pressão ao Nível Médio do Mar e dos campos de Perfil Vertical do Vento Meridional, que o ciclone extratropical ocorrido em fevereiro foi mais intenso que o ocorrido em janeiro. Em conseqüência disso, a ressaca observada em fevereiro atingiu uma extensão maior do litoral da Região Sul, persistindo durante dois dias, ao contrário do fenômeno ressaca observado em janeiro, que ocorreu apenas no litoral norte catarinense e durou apenas um dia.

A avaliação dos resultados do Modelo WAM do CPTEC/INPE, para o caso de ressaca de 16 de janeiro, mostrou boa performance para as previsões com antecedências de 18, 42 e 66 horas. Esses prognósticos, além de ter detectado a região oceânica com mar agitado e ondas mais altas causada pelo “corredor de ventos fortes”, indicou com bastante precisão a faixa litorânea que seria atingida com possível ressaca, que no caso foi o litoral norte catarinense. As previsões com antecedências de 90 e 114 horas detectaram que o mar estaria agitado, com possibilidade de ressaca no litoral da Região Sul, mas sem precisar a faixa litorânea com maior impacto. Estranhamente, o prognóstico efetuado com a maior antecedência (138 horas) apresentou melhor performance que os prognósticos efetuados com antecedências de 90 e 114 horas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastos, A. Fim de semana não empolgou os banhistas. **Jornal Zero Hora**. Porto Alegre, 4 fev. 2002. Caderno Geral.
- Candella, R. N., Estudo de Caso de Ondas no Atlântico Sul através de Modelagem Numérica, Dissertação de Mestrado – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 1997.
- Innocentini, V. e Caetano Neto, E. S., A case study of the August 1988 South Atlantic Storm: Numerical of Wave Activity, *Weather and Forecasting*, v. 11, pp. 78-88, 1996.
- Kindlein, G. Ressaca atinge a avenida. **Jornal Diário Catarinense**. Florianópolis, 17 jan. 2002. Caderno Geral.
- Pond, S. e Pickard, G.L. *Introductory Dynamical Oceanography*. New York, Pergamom Press, 1986.
- The WAMDI Group (Hasselmann, S.; Hasselmann, K.; Bauer, E.; Janssen, P.A.E.M; Komen, G.J.; Bertotti, L.; Lionello, P.; Guillaume, A.; Cardone, V.C.; Greenwood, J.A.; Reistad, M.; Zambresky, L.I. and Ewing, J.A.), “The WAM Model – a third generation ocean wave prediction model”, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810, 1988.