Universidade de Aveiro – Departamento de Física

Mestrado de Meteorologia e Oceanografia Física

2010/11

Meteorologia Sinóptica

Elsa Samagaio da Silva

Vorticidade Mínima e Padrão “Anti-Vírgula”

Docente Maria de los Dolores Josefa Manso Orgaz

Objectivos

- Identificar e prever os mínimos de vorticidade com o intuito de observar as áreas de advecção de vorticidade negativa;
- Identificar os eixos relacionados com ventos máximos, zonas de cisalhamento, deformação e massas de ar;
- Identificar e prever a localização e a forma da zona de deformação.

1. Índice

2. Introdução 4

3.Desenvolvimento de um Padrão “Anti-Vírgula” 4

4. Morfologia de um Padrão “Anti-Vírgula” 7

4.1 “Anti-Vírgula” por rotação e/ou Cisalhamento Equatorial 7

4.2 “Anti-Vírgula” criada pelo Cisalhamento Polar 8

5. Análise e Discussão Dados 9

6. Interpretação 9

6.1 A Circulação 9

6.2 Padrão “Anti-Vírgula” 10

6.3 Padrão de Mistura 11

6.4Comparativamente com NWP 12

7. Implicações 14

8. Exemplos 15

8.1 Vorticidade Mínima gerada pela Rotação 15

8.2 Vorticidade Mínima gerada pelo Cisalhamento Equatorial 16

8.3 Vorticidade Mínima gerada pelo Cisalhamento Polar 17

9. Conclusões 19

10. Bibliografia 20

2. Introdução

No âmbito da disciplina de Meteorologia Sinóptica, o tema Vorticidade Mínima e Padrão “Anti-Vírgula”, foi selecionado para conhecer e identificar fenómenos meteorológicos importantes que ocorrem em mesoescala (recorrendo a informações por via satélite principalmente por GOES vapor de água da rede de satélites NOAA).

As vorticidades mínimas são tão comuns como as máximas. Indicam as áreas de circulação descendente e a força atmosférica que pode ser utilizada para diagnosticar recursos dinâmicos, tais como o eixo máximo dos ventos e zonas de deformação.

É necessário prever e identificar os mínimos de vorticidade para observar as áreas de advecção de vorticidade negativa e identificar também eixos de ventos máximos, zonas de cisalhamento, convecção e de deformação e massas de ar.

Em Meteorologia Sinóptica é importante estudar estes tipos de fenómenos meteorológicos para adquirir ferramentas de estudo e reflexos científicos superiores.

3.Desenvolvimento de um Padrão “Anti-Vírgula”

A forma do padrão vírgula anticiclónico revela a localização do mínimo da vorticidade.

O mínimo de vorticidade está localizado no ponto de inflexão e é o centro da rotação da nuvem atmosférica.

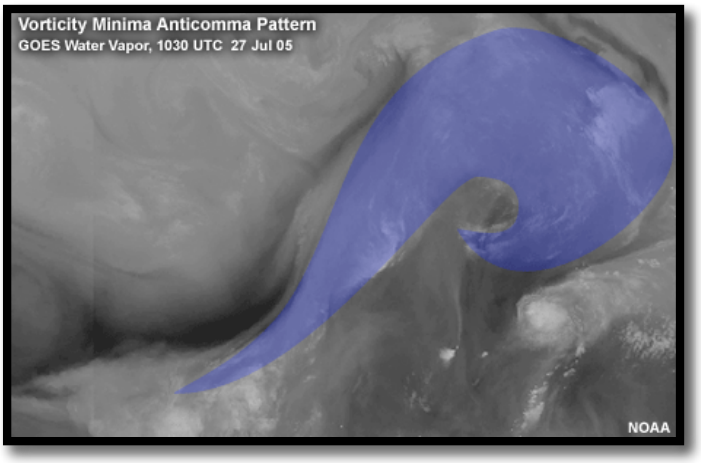


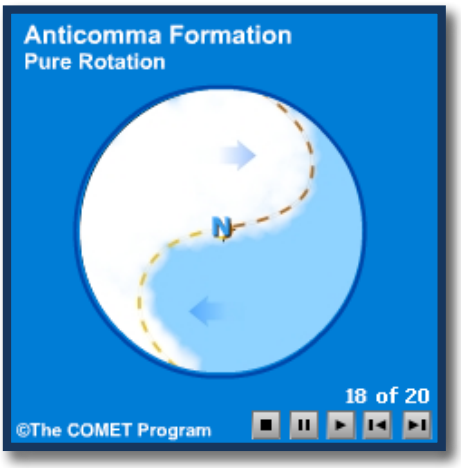
Fig.1 – Padrão “anti-vírgula” gerado pela vorticidade mínima

A forma afluxo côncavo e fluxo convexo dos arcos está relacionada com a intensidade mínima relativa da vorticidade e da duração do tempo que actuam sobre estes arcos. Os arcos tornam-se mais côncavos ou convexos com a intensidade da vorticidade mínima e com o tempo.

O mínimo de vorticidade (**N**) é a soma de ambos os vórtices rotacionais (**R**) e de ventos horizontais de cisalhamento (**S**).

Os gráficos seguintes ilustram o conceito. O tamanho dos símbolos indica a intensidade relativa.

- **Ilustração do conceito**



Dada a rotação, esta nuvem conceitual evoluirá de forma simétrica.

A posição da vorticidade mínima é o centro da rotação, que é também o ponto de inflexão. A vorticidade rotacional é o única componente da vorticidade. Não há nenhuma componente de vorticidade de cisalhamento.

Fig.2 – Formação do “Anti-Vírgula”- Rotação

Com o aumento do cisalhamento do lado equatorial da deformação da rotação, o ponto de inflexão e a vorticidade total é deslocado para a região de maior cisalhamento.

O arco côncavo é reforçado pelo forte fluxo relativo.

O arco convexo não é reforçado, é exclusivamente criado pela componente de rotação da vorticidade que permanece inalterado e localizado no centro do círculo.

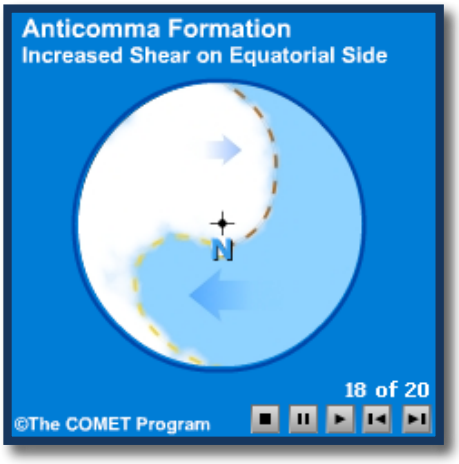
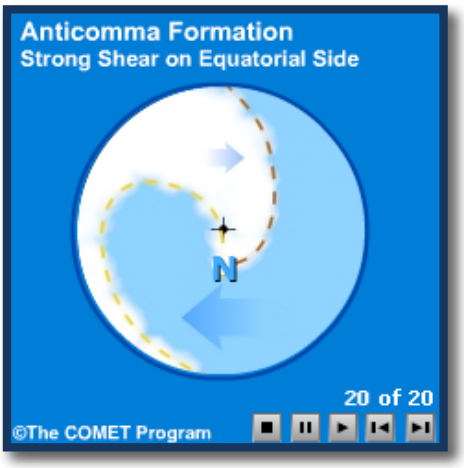


Fig.3 – Formação do “Anti-Vírgula” com o aumento do Cisalhamento do lado Equatorial da Deformação

O ponto de inflexão ainda continua a ser o centro de rotação e também o local do mínimo de vorticidade total, resultante da soma da rotação e dos vórtices de cisalhamento.

Resumidamente este ponto de inflexão é um vértice anticiclónico externo formado pela intersecção de dois arcos anticiclónicos virada para o vértice. Normalmente, um vértice anticiclónico é criado por ventos de cisalhamento leste e marca a localização de um mínimo de vorticidade.

Com cisalhamento ainda maior no lado equatorial, a componente de cisalhamento da vorticidade aumenta e existe mais deslocamento.



A vorticidade total e o ponto de inflexão deslocam-se para a região de cisalhamento e é afastado da posição do centro da vorticidade rotacional. O arco côncavo é novamente reforçado com forte fluxo relativo.

Fig.4 – Formação do “Anti-Vírgula”- com o Cisalhamento Intenso do lado Equatorial da Deformação

Se o cisalhamento situa no lado polar da rotação, ocorre o mesmo deslocamento do ponto de inflexão e com o centro de vorticidade total para a região de cisalhamento. Em contraste, porém o arco convexo no local da vorticidade máxima de cisalhamento é reforçado.

O arco côncavo não é reforçado, mas criado exclusivamente pela componente de rotação da vorticidade, que permanece inalterado e localizado no centro do círculo.

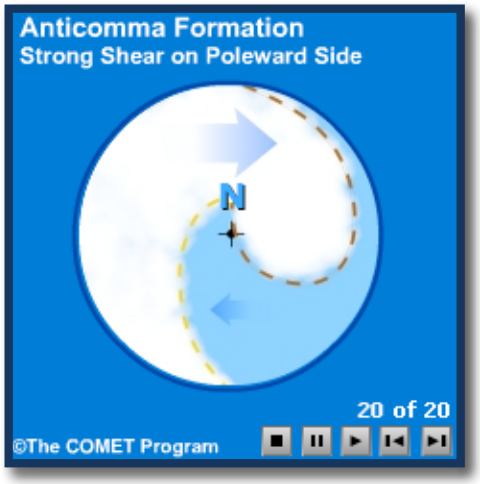


Fig.5 – Formação do “Anti-Vírgula”- Cisalhamento Intenso do lado Polar da Deformação

A vorticidade mínima estará localizado na área húmida, opondo-se às ilustrações anteriores onde está localizado na parte seca da circulação.

Sintetizando este ponto de inflexão, baseia-se num vértice anticiclónico interno produzido pela intersecção de dois arcos anticiclónicos curvos voltados para o vértice. Normalmente, um vértice anticiclónico interno é criado por ventos de cisalhamento oeste e é onde se localiza a vorticidade mínima. Este padrão é muito comum, devido às circulações oeste dominantes em torno do planta.

É importante notar que nestes exemplos idealizados a humidade estende-se da direita para o centro de vorticidade. Na atmosfera real a humidade pode diminuir

perto do centro da circulação, especialmente com o “envelhecimento” da circulação. Como resultado, o verdadeiro ponto de inflexão pode ser deslocado a montante do ponto de inflexão aparente, isto é provado pelos padrões de mistura.

4. Morfologia de um Padrão “Anti-Vírgula”

Roger Weldon inicialmente identificou o padrão "vírgula" das nuvens, no início dos anos 1980. O padrão “anti-vírgula” é o reflexo desta interpretação.

Weldon indicou correlações entre as nuvens, linhas de corrente e isolinhas de vorticidade absoluta.

Denota-se que as isolinhas da vorticidade absoluta são utilizados como um suplente do sistema operacional para linhas de corrente relativas. A variação na altitude da nuvem a partir de diferenças de 500 hPa e do tempo entre a análise e os dados de satélite, que podem conter alguns erros.

O centro de rotação da nuvem conforme identificado pelo ponto de inflexão é o mínimo de vorticidade para uma aproximação operacional muito limitada.

4.1 “Anti-Vírgula” por rotação e/ou Cisalhamento Equatorial

O arco côncavo está associado com o máximo vento de cisalhamento que define este tipo de “anti-vírgula”. A extremidade inferior do “anti-vírgula” está ajusante da vorticidade mínima. A advecção da vorticidade negativa será mais intensa na extremidade superior do anti-vírgula.

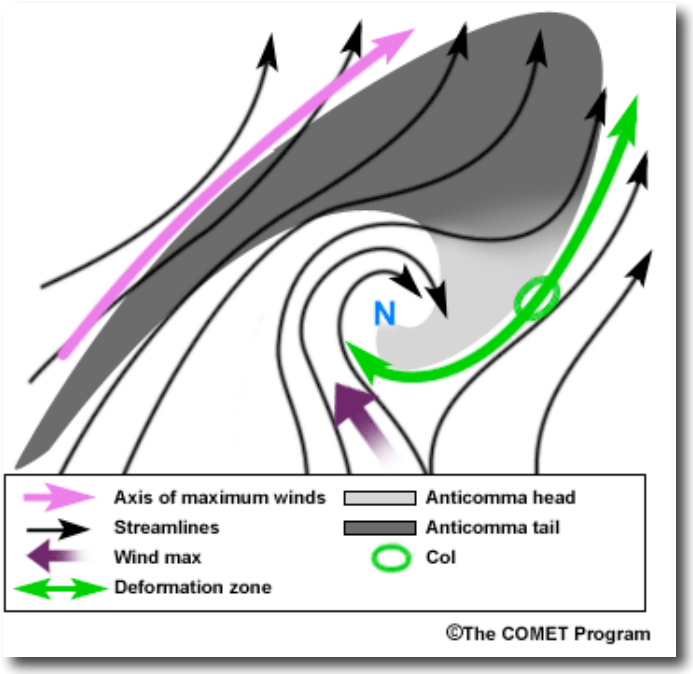
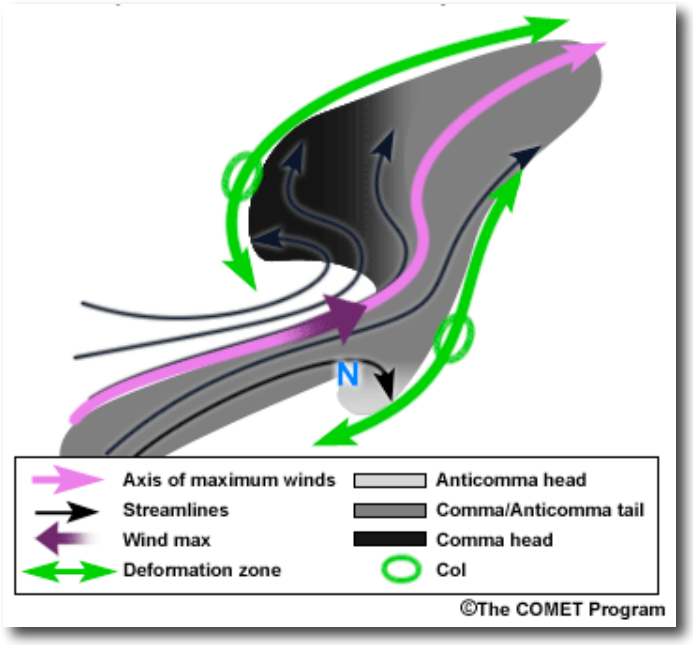


Fig.6 – Padrão gerado pelo Cisalhamento Equatorial da Zona de Deformação

4.2 “Anti-Vírgula” criada pelo Cisalhamento Polar



O arco convexo está associado com o vento polar máximo, define este tipo de padrão “anti-vírgula”. A região do arco côncavo é mínima e o ponto de inflexão encontra-se na zona de mistura. A extremidade superior do “anti--vírgula” continua abaixo da última linha de corrente.

Fig.7 – Padrão gerado pelo Cisalhamento Polar da Zona de Deformação

Nota:

Em ambos os padrões, a extremidade inferior do padrão “anti-vírgula” está associado ao transporte de massa de ar quente. A advecção da vorticidade será mínima nesta região.

Todos os recursos de satélite são gerados pelo sistema de movimentos relativos. O padrão é identificado por uma lacuna de nuvens e os padrões de mistura evidentes nas imagens de vapor de água podem ser um bom meio de localizá-los.

Se os elementos de mistura no lado equatorial (da zona de deformação[1]) da circulação anticiclónica encontram-se estacionários ou deslocam-se para oeste em relação à superfície terrestre, a alta pressão tende a aumentar.

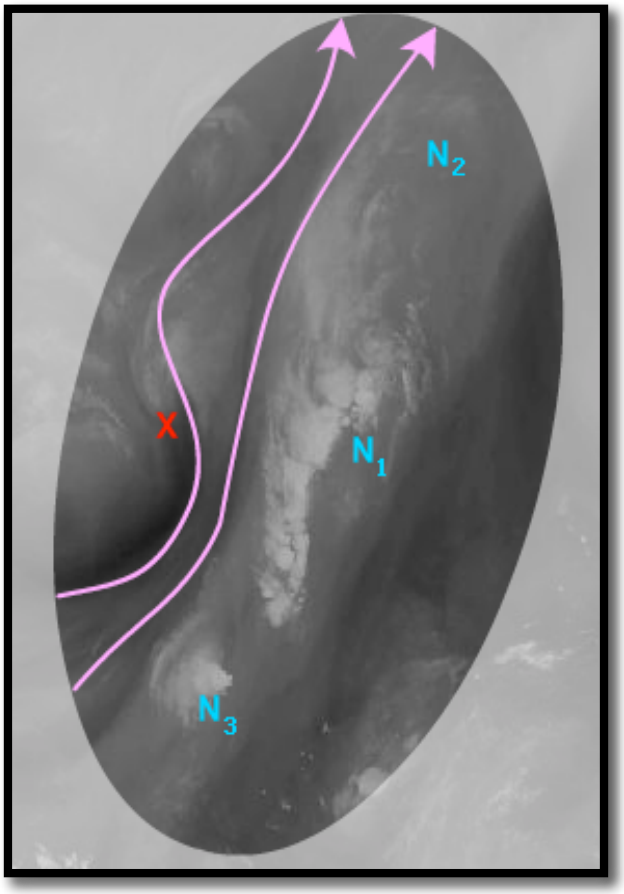
---

[1] A zona de deformação é muito previsível tornando-se a zona de equilíbrio entre as circulações. Esta zona resulta de fluxos opostos que pode ser identificada a partir de uma circulação.

A forma da zona de deformação pode revelar muito sobre os centros de vorticidade. A zona de deformação é o balanço entre as circulações adversárias.

5. Análise e Discussão Dados

Identificação das seguintes características: vorticidade mínima (**N**), vorticidade máxima (**X**) e os eixos de ventos máximos:



A formação do “anti-vírgula” mais saliente é o N1. A formação comum deste é composta por nuvens convectivas que se uniram.

Existe um mínimo de vorticidade envelhecido a nordeste, N2 não muito visível e o N3 que é o mais recente, desenvolve-se a sudoeste.

Encontram-se todos à direita do centro do eixo da deformação.

A vorticidade máxima, X, localiza-se à esquerda do centro do eixo de deformação.

Fig.8 – Identificação da Vorticidade Mínima

6. Interpretação

6.1 A Circulação

É possível observar na circulação atmosférica o padrão “anti-vírgula” principal, vorticidade mínima e posteriormente os padrões de mistura associados a uma série de “anti-vírgulas” (anticiclones).

A Sul da deformação principal, o fluxo vem de sul. A norte da deformação os meandros do fluxo provém de Oeste.

Existem turbilhões em ambos os fluxos. Os turbilhões anticiclónicas estão confinados à direita do fluxo principal. Os vórtices ciclónicos estão confinados à esquerda do fluxo principal.

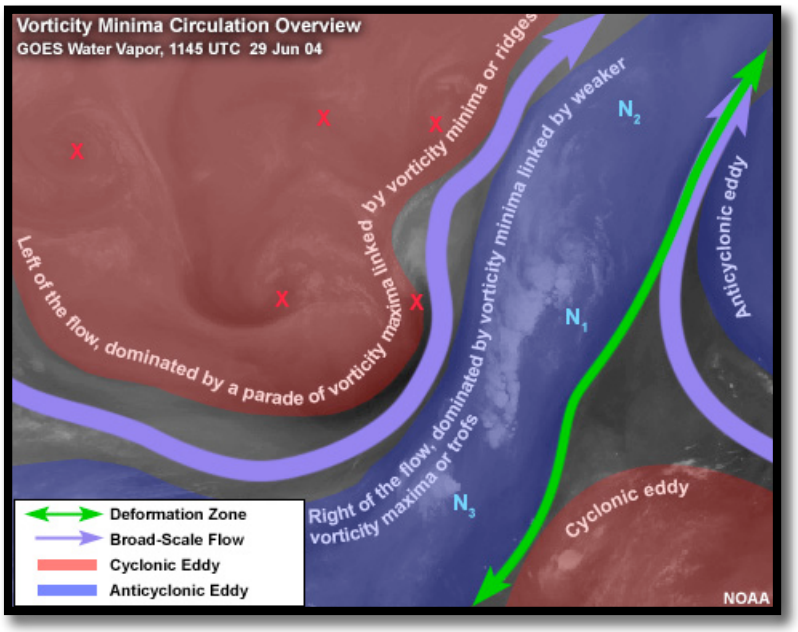


Fig.9 – Resumo da Circulação

6.2 Padrão “Anti-Vírgula”

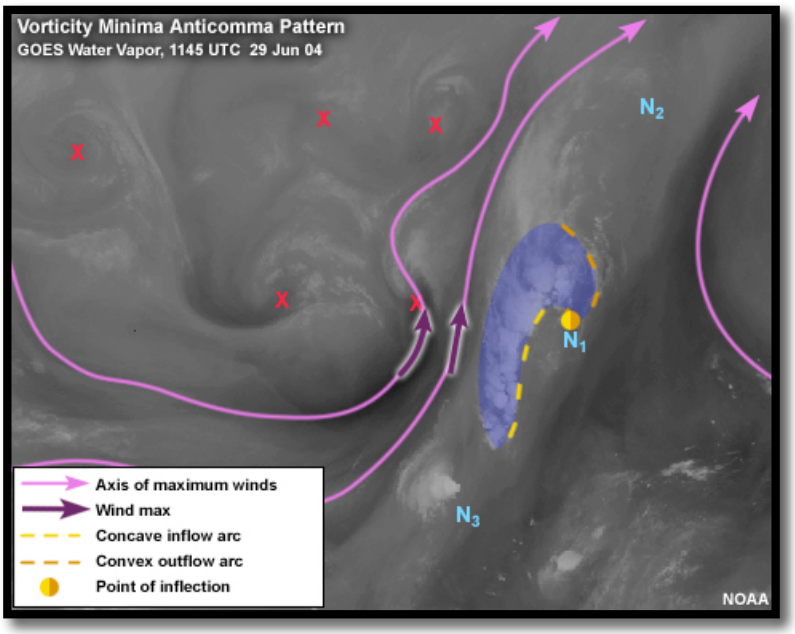


Fig.10 – Padrão “Anti-Vírgula”

- A vorticidade mínima dominante encontra-se à direita da corrente.
- O padrão “anti-vírgula” mais comum é composta por nuvens convectivas que se uniram.

- A vorticidade mínima é o centro de rotação da nuvem. O centro de vorticidade encontra-se no centro de rotação da nuvem e provavelmente no ponto de inflexão.
- O arco côncavo está associado com a entrada de fluxo na zona de mistura. O arco convexo está associado à saída de fluxo da zona de mistura.

6.3 Padrão de Mistura

A partir do padrão de mistura[2] identifica-se a vorticidade mínima (através do arco côncavo ou do padrão anticiclónico)

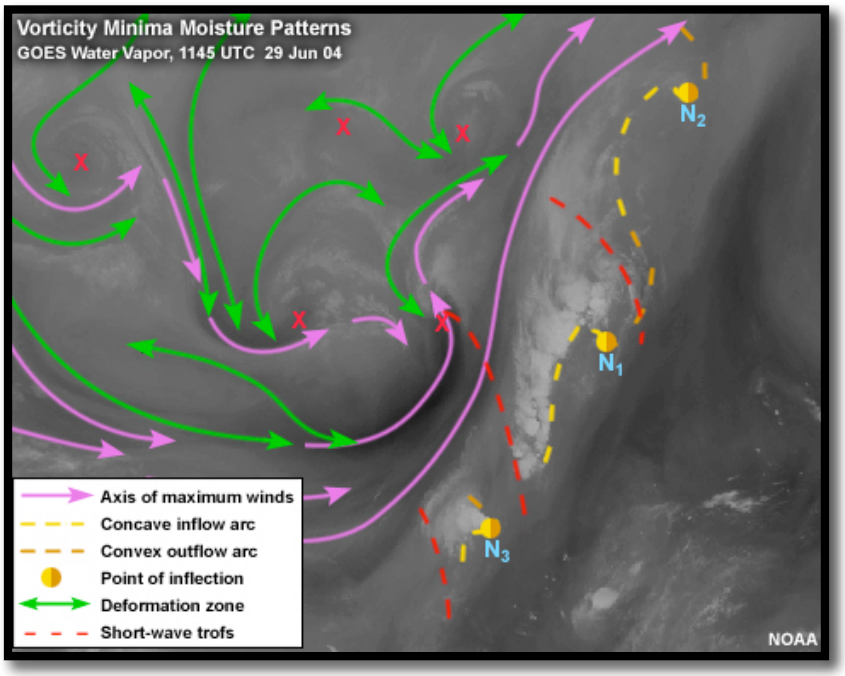


Fig.11 – Padrão de Mistura

N1- O padrão visualizado é composto por nuvens convectivas bastante desenvolvidas. Através da convecção as bigornas dos *Cirrus* uniram-se e demonstram a circulação ao nível dos *Cirrus* que seria difícil de distinguir.

A convecção está presente como resultado da divergência a montante, a partir da vorticidade mínima.

Este é um exemplo do padrão “anti-vírgula” com a fronteira de mistura a envolver o centro de rotação anticiclónica. O ponto de inflexão separa o arco

[2] Os padrões de mistura permitem identificar o eixo dos ventos máximos, a corrente de jacto máxima, a vorticidade máxima, a vorticidade mínima e zonas de deformação.

côncavo do convexo pela entrada e saída de mistura. A forma do arco côncavo é utilizada para localizar o mínimo de vorticidade.

N2 - Os mesmos princípios aplicam-se para a identificação deste padrão, embora a circulação seja muito mais “seca” ou fraca e mais difícil de identificar.

Se a intensidade dos mínimos de vorticidade são semelhantes (é uma boa aproximação, uma vez que são o resultado do mesmo eixo de ventos máximos), então esta circulação tem vindo actuar mais no arco côncavo do N2 do que em relação aos outros. Isto implica que a vorticidade mínima é a mais antiga dos três e o mais susceptível de ser identificado corretamente pelo NWP (*Numerical Weather Prediction*).

N3 – Este padrão pode ser identificado apenas por convecção. Semelhante ao exemplo anterior, este mínimo de vorticidade é o mais novo dos três e é o menos provável de ser correctamente identificado pelo NWP.

É possível observar o comprimento de onda entre os valores mínimos de vorticidade é bastante uniforme.

Isto deve-se ao facto do eixo dos ventos máximos que geram a vorticidade mínima ser relativamente recto e também à natureza cíclica das ondas curtas na atmosfera.

6.4 Comparativamente com NWP

6.5

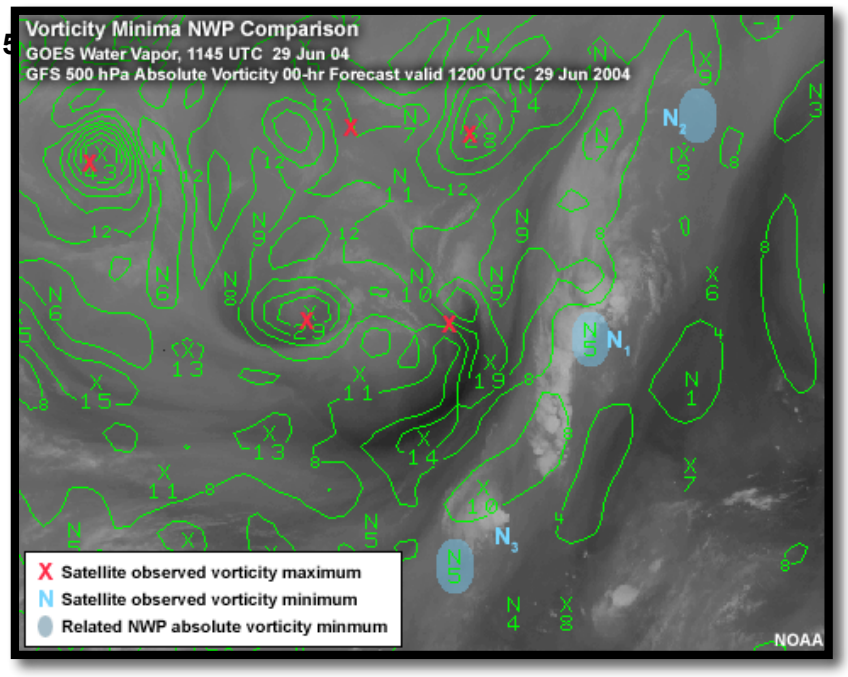


Fig.12 – Comparando com o NWP

Neste caso, o NWP e as vorticidades mínimas observadas correspondem razoavelmente bem. O local onde é possível visualizar a vorticidade mínima é no ponto de inflexão ao nível de mistura. Este nível de mistura pode não corresponder exatamente com o nível de pressão da análise NWP (500 hPa neste caso). Esta diferença poderia resultar duma discrepância entre a localização da vorticidade mínima observada e da posição de NWP.

A vorticidade mínima NWP corresponde ao N1, que está muito bem situada e como seria de esperar um padrão “anti-vírgula” bem organizado.

A posição e a intensidade da circulação foram bem integradas neste modelo. Os mínimos de vorticidade que foram correctamente analisados pelo NWP em análises anteriores, são mais propensos a serem correctamente analisados, tanto nas análises presentes e futuras. Deste modo, as vorticidades mínimas mais antigas têm maior probabilidade de ser correctamente analisados do que as recentes que estão em fase de desenvolvimento.

O mesmo acontece com N2 (vorticidade mínima relativamente antiga), mas como o sistema afasta-se da costa terrestre maior a probabilidade de não detectar acontecimentos deste tipo.

O azul destacado representa a vorticidade mínima implícita, que deve existir entre os dois máximos analisados. A precisão do posicionamento do NWP da vorticidade mínima depende da quantidade e da qualidade dos dados observados na área. As áreas oceânicas geralmente contêm poucos dados, de modo que a vorticidade mínima sobre os oceanos pode ser deslocada por falta de dados.

Através da imagem de satélite, o N3 é colocado próximo do limite da nova convecção. O modelo coloca desapropriadamente o valor mínimo da vorticidade analisada. O erro NWP é neste caso melhor ilustrado pelo ressalto da vorticidade máxima NWP, que tenta incluir os dois padrões "anti-vírgulas" distintos evidentes na imagem de satélite num único padrão.

Nota: Os pequenos erros na previsão do NWP (*Numerical Weather Prediction*) destas circulações não têm grandes impactos no local ou na forma da zona de deformação. Se a zona de deformação do NWP é diferente do que acontece na atmosfera real, demonstra a existência de erros no modelo NWP. As informações fornecidas pela zona de deformação são fundamentais para o sucesso das previsões.

A intensidade da circulação pode ser mal calculada através do NWP, mas não terá muita influência na localização das zonas de deformação. As discrepâncias entre as imagens de satélite e os modelos numéricos nas zonas de deformação serão notados quando os centros de vorticidade não estão correctamente posicionados pelo NWP.

7. Implicações

O posicionamento correcto dos mínimos de vorticidade é fundamental para a colocação de recursos dinâmicos relacionados, como o eixo de ventos máximos e zonas de deformação.

Todas estas características dinâmicas devem coincidir no “puzzle” atmosférico.

Alguns aspectos importantes da vorticidade mínima para a sua identificação:

- As circulações em torno da vorticidade mínima são geralmente fracas. Como resultado a análise numérica da atmosfera tem imensa dificuldade da sua posição e das suas intensidades relativas.

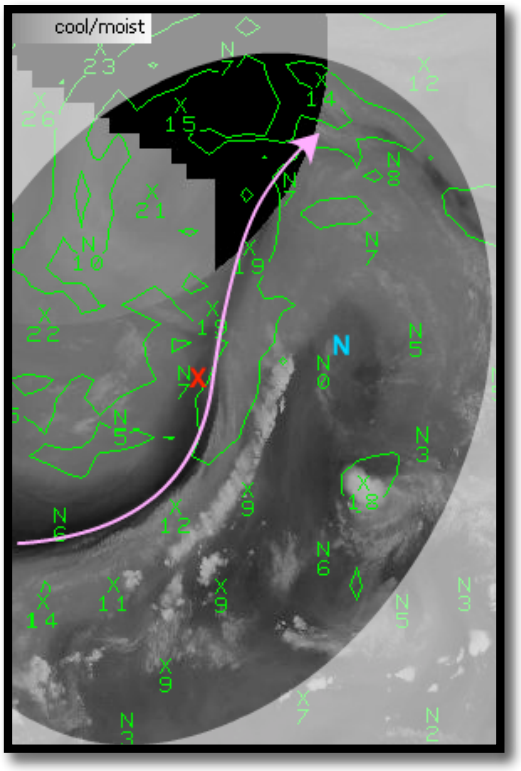
- As circulações anticiclónicas tendem a ser bastante secas. Como resultado, as nuvens são utilizadas como marcadores para a identificar a circulação, por vezes não é possível identificar, mas o vapor de água normalmente é o único marcador fiável para identificar circulações anticiclónicas.

- Identificar correctamente e localizar os mínimos de vorticidade pode ajudar a prever melhor uma convecção e os padrões das nuvens.

8. Exemplos

Encontram-se alguns exemplos de vorticidade mínima retirados com o GOES no mês de Julho em 2005. Algumas previsões nem sempre são tão simples como as dos modelos conceituais. Nem sempre os casos reais são os exemplos perfeitos para identificar a vorticidade mínima, mas esses casos são difíceis de capturar.

8.1 Vorticidade Mínima gerada pela Rotação



A formação do “anti-vírgula” mais saliente encontra-se bem deslocado para a direita do eixo dos ventos máximos. A influência do vento de cisalhamento é mínima e a vorticidade mínima resulta da rotação.

Fig.13 – GOES Vapor de Água 2130 UTC, 27 de Julho de 2005

8.2 Vorticidade Mínima gerada pelo Cisalhamento Equatorial

Um vento máximo de nordeste está a gerar cisalhamentos equatoriais para a vorticidade mínima.

O eixo de ventos máximos diverge com um fluxo a envolver um conjunto de valores máximos de vorticidade. O outro ramo envolverá a sul e reforçará os ventos de nordeste.

Analisando a corrente ciclónica, revela uma série de valores máximos de vorticidade uniformemente afastados entre si.

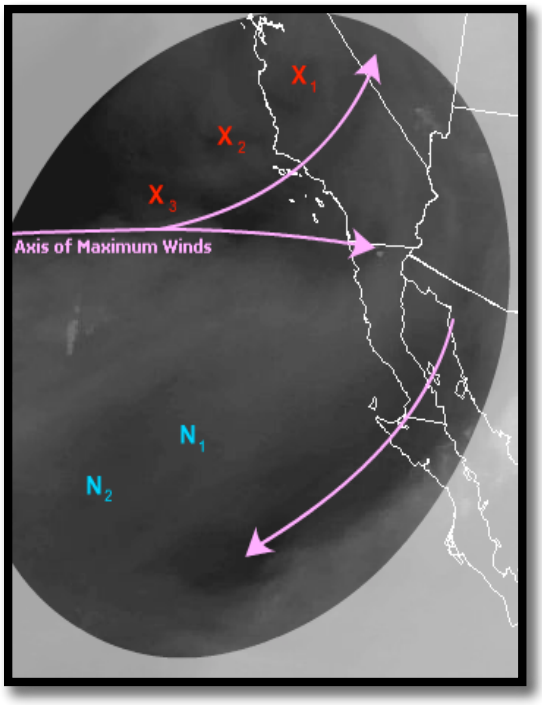
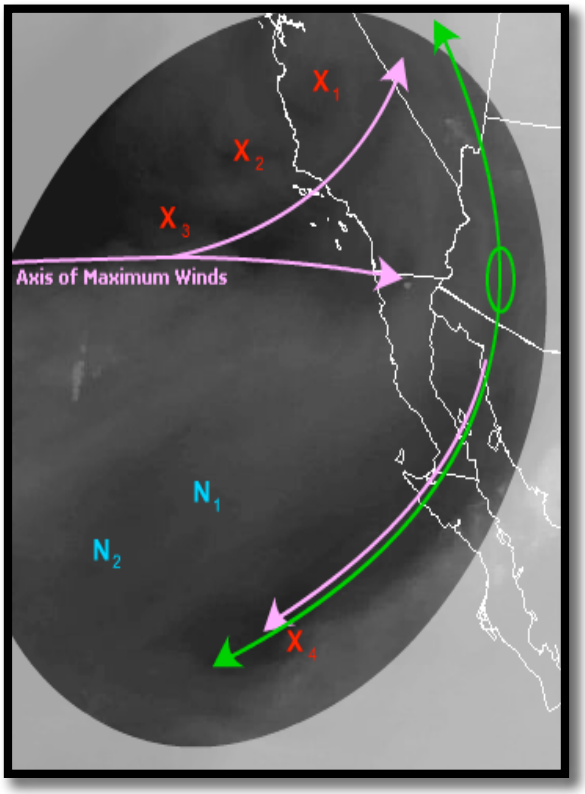


Fig.14 – GOES Vapor de Água 1730 UTC, 29 de Julho de 2005 (1)



Analisando a imagem de satélite que revela uma pequena vorticidade máxima, X4, associado a um vento máximo de nordeste.

O N1 é o ponto de inflexão, gerado pelo cisalhamento equatorial da zona de deformação. O N2 é uma circulação fechada em rotação em direcção a noroeste.

Fig.15 – GOES Vapor de Água 1730 UTC, 29 de Julho de 2005 (2)

Observando o modelo GFS90 (500 hPa) e a vorticidade absoluta ás 18 UTC, 29 de julho de 2005, existem correlações aceitáveis para todos os pontos, excepto para o X3.

Muito provavelmente o modelo não resolve correctamente ventos em níveis superiores. No padrão do modelo implicaria uma profunda depressão com um vento máximo mais intenso colocado a sudeste de X3. Isto pode dever-se há falta de dados sobre o ambiente marítimo e tem implicações nas previsões terrestres.

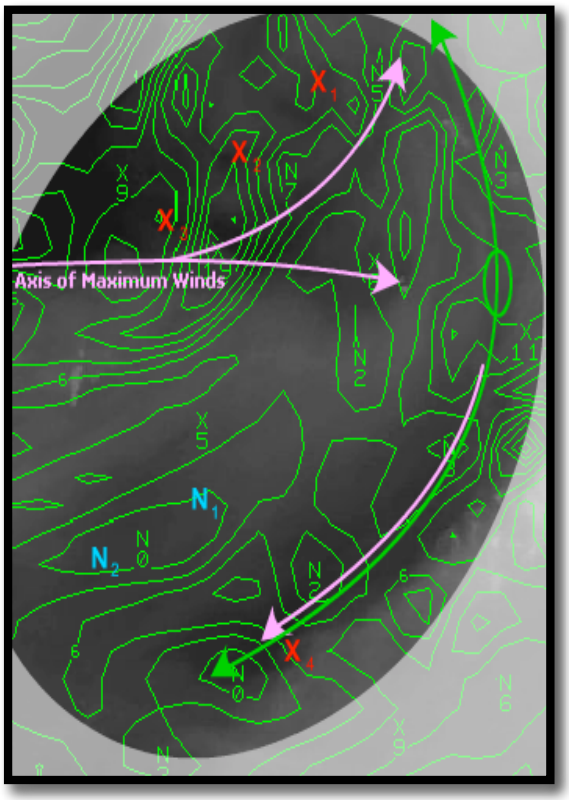


Fig.16 – GOES Vapor de Água 1730 UTC, 29 de Julho de 2005 (3)

8.3 Vorticidade Mínima gerada pelo Cisalhamento Polar

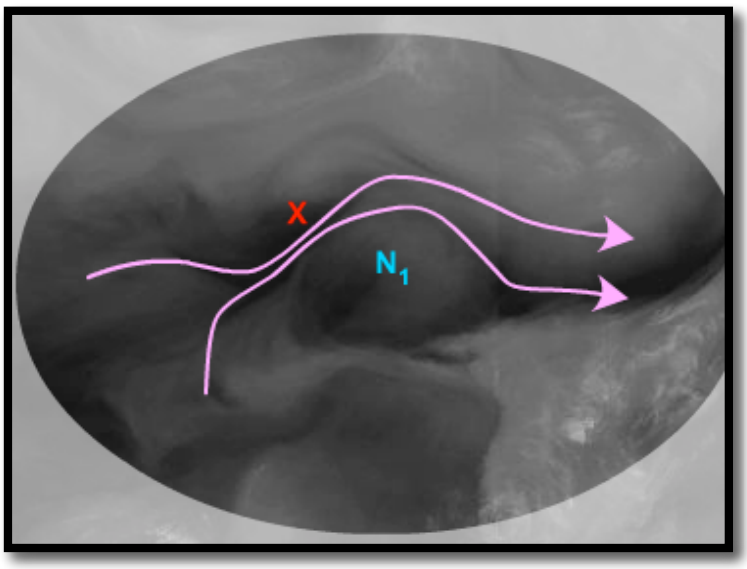


Fig.17 – GOES Vapor de Água 1230 UTC, 27 de Julho de 2005 (1)

Na área selecionada, existe um fluxo oscilatório de oeste através de uma crista superior. Este fluxo é composto por dois eixos pequenos de ventos máximos. As áreas mais escuras indicam a presença de um máximo de corrente de jacto entre os centros de vorticidade emparelhados, X e N1.

A imagem de vapor de água ilustrada, denota-se em níveis médios o contraste entre a massa de ar húmido e seco. A área da corrente de jacto máxima que separa os dois centros de vorticidade[3] emparelhados está bem delineada.

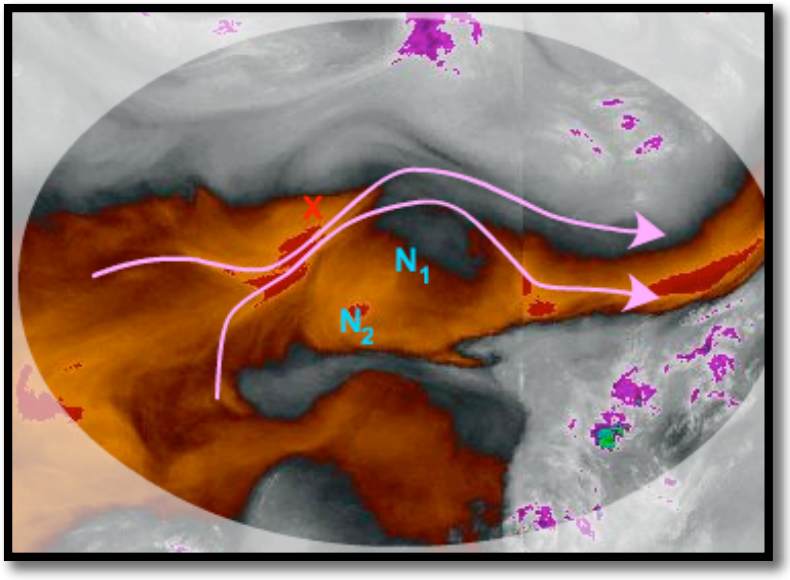


Fig.18 – GOES Vapor de Água 1230 UTC, 27 de Julho de 2005 (2)

Evidencia-se um cisalhamento equatorial da zona de deformação e um segundo mínimo de vorticidade, N2, no ponto de inflexão da extremidade superior do “anti-vírgula”.

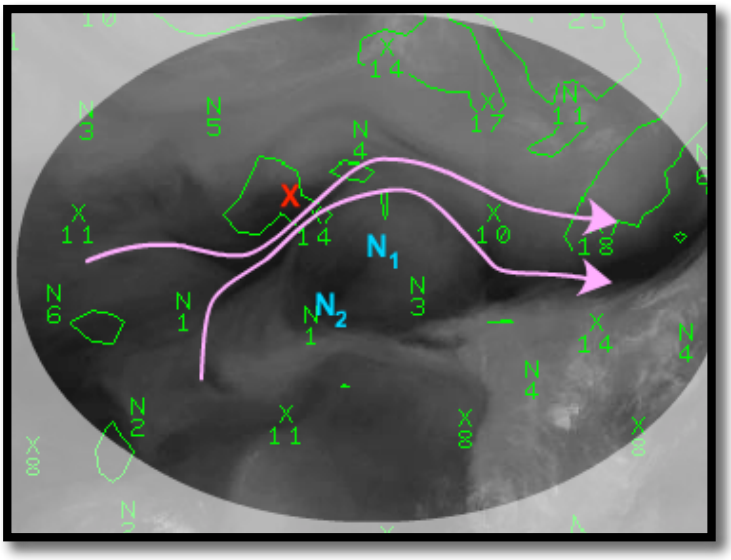


Fig.19 – GOES Vapor de Água 1230 UTC, 27 de Julho de 2005 (3)

Observando o modelo GFS (500hPa) a vorticidade absoluta para as 00 UTC, 27 de Julho de 2005, existe uma excelente concordância para o local da vorticidade máxima. Como era esperado, as circulações menos intensas da vorticidade mínima não se encontram tão bem calculadas.

[3] É importante notar que os centros de vorticidade são recursos dinâmicos que permitem localizar a advecção de vorticidade, controlando a circulação de massa de ar na sua vizinhança e localização da zona de deformação.

9. Conclusões

Neste trabalho foram abordadas algumas formações meteorológicas que contribuem para uma melhor previsão à escala sinóptica.

Foi necessário entender certos padrões atmosféricos tais como o “anti-vírgula” (formação nebulosa em anticiclone), condições para a sua formação e zonas onde é comum localizar-se, isto é, observando e analisando a forma/padrão da circulação atmosférica, que, por norma resultam da colisão entre duas massas de ar com características diferentes, tais como a sua humidade. Existem factores que influenciam o seu desenvolvimento e morfologia, uma delas é o aumento do cisalhamento do lado equatorial e polar da zona de deformação e também devido à rotação terrestre.

No entanto para detectar convecção, advecção de vorticidade negativa, desenvolvimento de certas nuvens e padrões de mistura é fundamental ter uma vasta gama de ferramentas para analisar este conjunto de aspectos, tais como imagens de satélite GOES de vapor de água e análise numérica com o modelo NWP.

Nestes padrões meteorológicos localizam-se alguns elementos característicos, como por exemplo o ponto de inflexão, a zona de deformação, o mínimo e o máximo de vorticidade que depende das correntes ciclónicas e anticiclónicas.

Contudo existem certas implicações tais como a identificação correcta dos mínimos de vorticidade que podem ser fundamentais para prever convecção e padrões nebulosos, entre outros.

Por fim, é impossível ter previsões perfeitas, porque é difícil com diversos factores a afectar os modelos, poder localizar a vorticidade mínima com enorme exatidão através da análise numérica, pois se os dados do modelo não coincidirem com a atmosfera real o modelo contém erros numéricos.

Com a evolução da ciência e com as consequentes investigações os modelos são cada vez mais aperfeiçoados, o que permite que a previsão meteorológica seja mais exacta e precisa com o passar dos anos.

10. Bibliografia

- http://www.meted.ucar.edu/norlat/sat_features/vort_min/vort_min_overview.htm
- American Meteorology Society, 2000: Glossary of Meteorology, Second Edition
- http://www.meted.ucar.edu/satmet/goeschan/
- http://met.no/english/topics/nomek_2005/
- http://www.comet.ucar.edu/