



# **Sinais de Radar característicos de tempo convectivo severo**

Maria João Melo Tavares de Carvalho

Departamento de Física

Meteorologia Sinóptica

Ano lectivo 2010/2011

# Introdução

De forma a compreender as características de identificação de tempo convectivo severo em observações de radar, é necessário compreender a base científica por detrás da geração de convecção, bem como das características que estão ligadas a este fenómeno.

A convecção define-se como sendo a transferência de calor pelo movimento de massa do fluído [1]. Este tipo de transferência de calor apenas se dá em gases e líquidos visto que apenas estes têm a liberdade de se movimentar. Num dia quente de sol, certas partes da superfície da Terra absorvem mais calor do sol do que outras (devido à sua constituição, por exemplo), fazendo com que, consequentemente, o ar acima da superfície seja aquecido de forma diferencial na horizontal. As moléculas de ar adjacentes às zonas de ar superficial quente ganham energia por condução. O ar aquecido expande, torna-se menos denso que o ar circundante mais frio e é impelido a subir. Desta forma, parcelas de ar quente sobem e transferem energia para cima. Por sua vez, o ar que agora se encontra à superfície é aquecido por esta e todo o processo volta a dar-se. Quando o ar sobe começa a expandir e a arrefecer e portanto, passa a ser mais denso que o ar circundante e começa a descer. Este movimento é denominado por célula termal ou mais simplesmente, convecção.

Os movimentos convectivos são responsáveis, entre outros pelo fenómeno de geração de cumulonimbus (cb) que podem originar trovoadas severas, queda de chuva intensa, granizo e até a formação de tornados. Tendo em conta a severidade destes fenómenos era importante haver formas de previsão. Visto que tal ainda não é possível devido à instabilidade de tais situações, ao seu curto tempo de vida e à sua relativa pequena escala espacial, tal é extremamente difícil.

Uma forma de identificar estes fenómenos é através da utilização de radares que, apesar de não serem uma ferramenta de previsão, são vitais para a detecção e conhecimento do desenvolvimento e "propagação" de tempo severo devido a convecção.

## Radares

O uso de radares na meteorologia surgiu quando, durante a Segunda Grande Guerra, os operadores de radares militares se aperceberam de que na presença de precipitação, o sinal recebido incluía *ruído* que normalmente não estava presente. Assim nasceram os radares de utilização meteorológica.

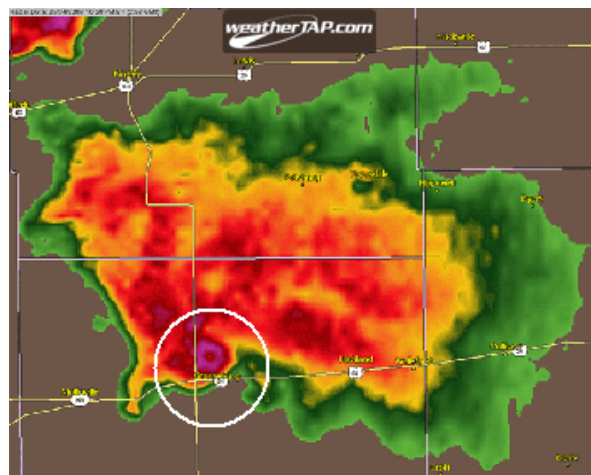
O princípio de funcionamento do radar consiste na emissão de pulsos electromagnéticos a uma certa frequência. Ao atingir uma superfície (o alvo), esse mesmo pulso é reflectido e viaja de volta para o radar sendo detectada pelo receptor. A partir do tempo que passa desde a emissão do sinal até à recepção do eco, pode calcular-se a distância a que o alvo se encontra do radar. A reflectividade do alvo é medida e pode calcular-se não só a intensidade de precipitação instantânea, bem como a intensidade total num dado período de tempo.

Um dos tipos de radar meteorológicos mais utilizados é o radar Doppler que, tal como o nome indica utiliza o efeito de doppler. Uma das vantagens deste radar face aos restantes é o facto de conseguir determinar a velocidade do alvo a partir da distorção da frequência do sinal quando este atinge um alvo em movimento. Ao detectar as gotas de água que se movem horizontalmente com a velocidade do vento, está-se, na verdade, a determinar o vento. No entanto, é necessário utilizar dois ou mais radares.

É no entanto, necessário ter em atenção uma situação em que o radar Doppler pode indicar a presença de precipitação sem que tal esteja a acontecer. A propagação dos feixes de sinal electromagnético enviado pelo radar dá-se em linha recta. Caso a zona em estudo tenha um campo de visão alargado, a grandes distâncias e devido à curvatura da Terra, os feixes são reflectidos em gotas de água que se encontram longe da superfície e que, muitas vezes, se evaporam antes de lá chegar.

Apesar de o radar Doppler ter constituído um avanço no estudo de fenómenos que não seria possível estudar de outra forma, há já em utilização radares que têm funções ainda mais úteis no desenvolvimento do conhecimento do tempo severo. Os radares polarimétricos (*Polarimetric Radars*) funcionam da mesma forma que os radares Doppler com a diferença de que, em vez da emissão de um feixe, este radar emite dois: um na horizontal, tal como o Doppler e outro na vertical. A emissão/detecção do feixe vertical fornece informação extra acerca do tipo de precipitação: chuva ou neve.

Depois de análise detalhada de resultados de medições feitas a diversos tipos de tempo convectivo severo, houve padrões que se mostraram característicos de um dado fenómeno e que são facilmente identificáveis em imagens de radar. Um exemplo de tal padrão é o padrão de vórtice de um tornado (*TVS - Tornado Vortex Signature*) que, em imagens de radar, aparece como uma zona de grande variação na direcção de vento.



**Figura 1:** Padrão característico de um tornado numa imagem de radar Doppler [3]. A zona a roxo é a localização do vórtice do tornado.

## Imagens de Radar

O princípio de funcionamento dos radares baseia-se na emissão de um sinal electromagnético que, depois de reflectido no alvo, é detectado pelo receptor. A energia que chega ao receptor após ser reflectida na precipitação denomina-se por reflectividade e é medida em decibéis (dB). As imagens de precipitação são criadas através da apli-

cação de algoritmos que convertem as imagens de reflectividade em equivalente de intensidade de precipitação horária ou total de evento de tempestade. A velocidade do vento obtida de radares Doppler mostram valores a vermelho para as velocidades que se afastam do radar e a verde as que se estão a aproximar do radar [4].

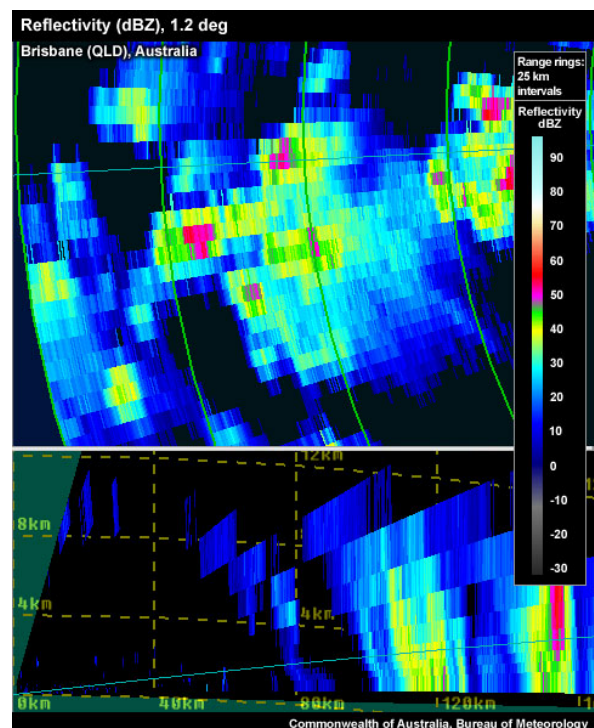
## Tempo Convectivo Severo

Apesar de todas as tempestades que vão ser mencionadas se desenvolverem devido à convecção, estas podem ainda ser caracterizadas pela sua escala espacial: múltiplas-células, super-células e mesoescala.

### Sistemas multi-celulares

Estas tempestades têm uma escala horizontal entre 2 – 20 *km*, em situação de baixo cisalhamento (entre 0 e os 25 *nós* entre a superfície e altitudes de 6 *km*) e incluem fenómenos associados ao desenvolvimento de várias células convectivas pequenas. Estas células individuais podem ter em comum a massa de ar frio superficial que, ao entrar em contacto com ar mais quente, o força a subir e que, consequentemente gera o cb.

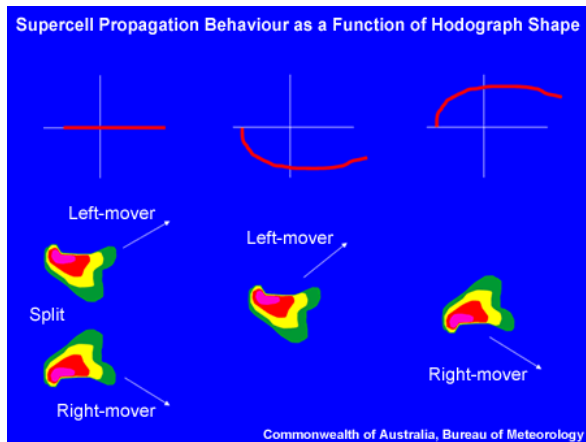
Tendo em conta que, se a diferença horizontal de temperatura for acentuada, a formação de cumulonimbus continua após a formação da primeira nuvem e que, estas se formam antes de as previamente formadas se dissiparem, pode ver-se que as tempestades causadas por mais do que uma célula individual têm um tempo de vida consideravelmente superior e são mais severas do que uma célula apenas. Durante o desenvolvimento destes sistemas de multi-células, com o aumento do cisalhamento e da instabilidade, há uma aproximação às características de tempestades de super-células. De entre os factores que determinam o comportamento de sistemas multi-celulares estão a massa de ar frio superficial que força o ar quente a subir, o cisalhamento vertical, os forçamentos físicos e o grau de instabilidade. O padrão de um sistema destes visto em imagem de radar pode ver-se na figura 2.



**Figura 2:** Exemplo do padrão de um sistema de multi-células [5]. As zonas a rosa correspondem à localização do núcleo de cada uma das células individuais.

## Super-células

Os sistemas compostos por super-células têm, normalmente um tempo de vida longo, são intensas e têm uma escala horizontal alargada e que produzem tempestades anormalmente severas.

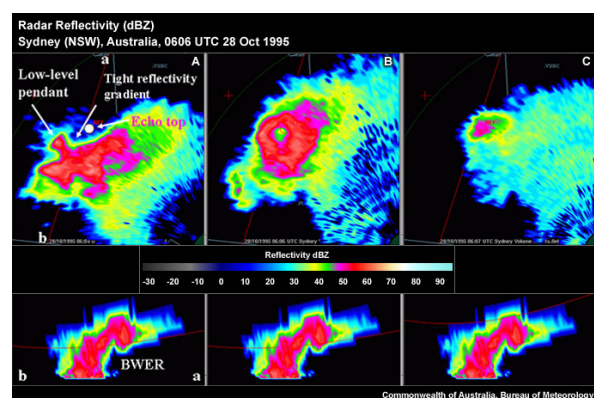


**Figura 3:** Esquema da forma da supercélula quando esta se movimentar tal como poderá ser vista numa imagem de radar [5]

A formação destas células passa por diversas fases e, após o seu desenvolvimento estas não permanecem paradas. Dependendo do movimento da célula como um todo em relação à superfície, esta toma formas diferentes. Esta é uma característica importante visto que se consegue determinar aproximadamente a direcção de propagação da tempestade (figura 3). Como se pode ver na figura 4 a imagem de radar de uma super-célula apresenta um núcleo bastante definido e uma larga extensão horizontal.

As super-células apresentam forte rotação tanto na zona como em torno do mesociclone - zona de fluxo ascendente da super-célula. De forma a poder classificar a zona de mesociclone como tal, tem que se estar na presença de algumas características fundamentais:

- ter uma escala de diâmetro (horizontal) da ordem de  $2 - 10 \text{ km}$ ;
- a escala vertical ser superior a  $3 \text{ km}$ ;
- ter duração suficiente;
- velocidade de rotação mínima de  $\sim 15 \text{ m s}^{-1}$  ou vorticidade vertical da ordem de  $10 \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 4:** Representação da reflectividade de 3 cortes quase horizontais de uma super-célula que se movimentar para a esquerda. A) Corte à superfície; B) Corte intermédio; C) Corte superior. As imagens abaixo representam um corte ao longo da secção ab [5].



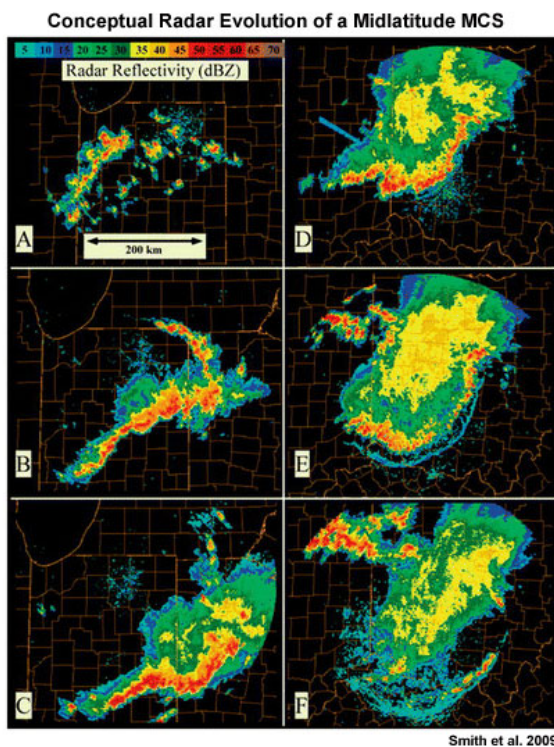
Perto da superfície, as super-células são caracterizadas por grande reflectividade na zona de convergência da célula. Caso a célula possua rotação em níveis perto da superfície, a circulação vai desenvolver-se perto da interface entre a zona inferior da corrente ascendente e a parte traseira da corrente descendente (*RFD - Rear Flank Downdraft*).

As super-células têm correntes ascendentes muito intensas que, muitas vezes, não permitem a formação de gotas de grandes dimensões antes de atingir a zona da bigorna, criando a zona de baixa reflectividade (*Bounded Weak Echo Region - BWER*). A BWER está ligada à descida da precipitação em torno das zonas de correntes ascendentes. Em imagem de radar, esta pode ser vista como uma circunferência de menor reflectividade, em níveis médios. Máximos de gradiente de reflectividade perto da BWER marcam zonas de queda de granizo de grandes dimensões que se encontra parcialmente derretido quando atinge a superfície. Em torno da região de queda de granizo, encontra-se a zona em que se vê o padrão de *Three Body Scatter Spike - TBSS*.

## Sistemas de Mesoescala - MSCs

Tal como os sistemas de multi-células, os sistemas de mesoescala também são compostos por vários cumulonimbus que se desenvolvem em alturas diferentes mas que, geralmente, têm em comum a massa de ar frio superficial que actua como forçamento.

No entanto, ao contrário dos sistemas multi-celulares, os sistemas de mesoescala mostram zonas de estratificação de precipitação e um fluxo continuo à escala de todo o sistema e não apenas de cada cumulonimbus individual. Para além disso, devido à escala temporal e horizontal (20 – 200 km) destes sistemas, há que ter em conta o efeito da força de Coriolis. Entre os factores que influenciam o desenvolvimento e aparência de um sistema de mesoescala encontram-se a massa de ar frio superficial e a instabilidade, entre outros. A estrutura geral de um sistema de mesoescala pode ver-se na figura 5.



Smith et al. 2009

**Figura 5:** Evolução típica de um MCS [5].

- Fazer cortes horizontais até que não haja pixels com reflectividade superior a 50  $dB$ ;
- Voltar ao corte anterior;
- Marcar a zona de reflectividade máxima (no núcleo);

- Voltar ao corte horizontal mais à superfície;
- Caso o ponto marcado anteriormente esteja completamente fora do núcleo à superfície, então está-se na presença de *WER*.

Em sistemas multi-celulares ou que se estejam a transformar de 1 para duas células, pode verificar-se a existência de mais de uma região *WER*.

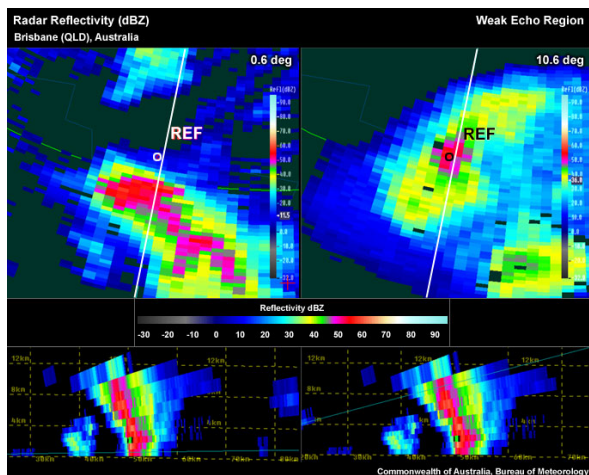
Como qualquer outra técnica, há dificuldades na determinação da presença de uma *WER*. Por exemplo, caso a célula esteja confinada por um nível de equilíbrio que seja baixo, pode fazer com que a *WER* seja difícil de detectar visto que o nível de estabilidade o restringe. Para além disso, caso o sistema esteja muito longe do radar, este pode ser subestimado. O caso contrário também é possível, i.e, uma tempestade não ser detectada pelo radar estar demasiado perto desta.

Caso se esteja na presença de um sistema que tenha uma velocidade de movimentação alta (não confundir com as velocidades de circulação dentro da célula) o tempo que o radar demora a fazer a colecção de dados para construir a imagem a cada nível, pode ser suficiente para que a tempestade já se tenha movimentado o suficiente para dar a ilusão de que o núcleo se movimentou na horizontal. Ou seja, ao analisar as imagens de radar pode parecer que o núcleo esteja "desalinhado" em altitude, o que não está a acontecer.

Desde que se utiliza os métodos de identificação de *WER* descritos acima, não deverá constituir um problema, no entanto, aquando da identificação desta característica, deverá ter-se a certeza de que esta se encontra na zona de convergência da célula. A *WER* é um padrão que sugere a severidade de uma tempestade.

Em situações em que o sistema é multi-celular, as zonas de convergência de cada uma das células encontram-se perto umas das outras, podendo causar confusão na análise destas assinaturas, principalmente tendo em conta que esta é uma análise que tem que ser feita em altitude e que nem todas as células que pertencem a um dado sistema têm que ter o mesmo comportamento.

Em algumas situações, pode confundir-se a bigorna de um cumulonimbus com a *WER*, visto que a zona das bigornas dos cb's também apresentam menores reflectividades,



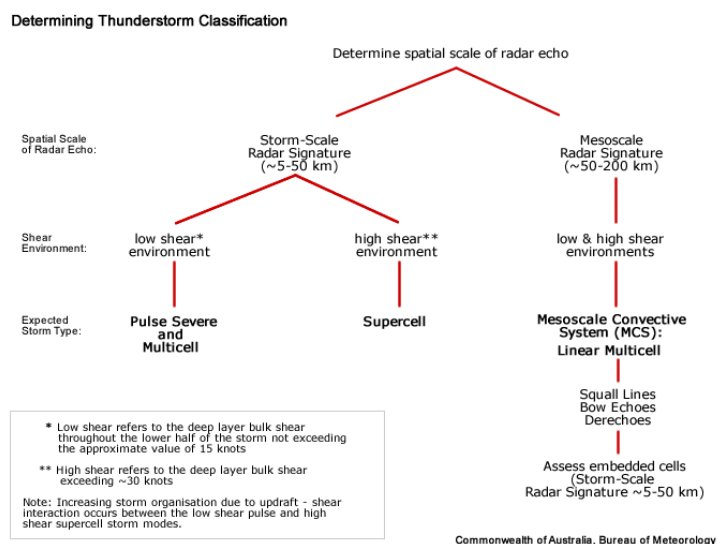
**Figura 7:** PPI inferior à esquerda e PPI no topo de uma célula (à direita). Em baixo, podem ver-se dois cortes verticais cada um referente à imagem representada directamente por cima, pela recta desenhada.



tal como a *WER*.

A presença de uma região de fraca reflectividade (*WER*) pode ser utilizada de forma a determinar a severidade de uma tempestade. A presença desta assinatura em imagens de radar indica que a corrente ascendente é forte e que tem uma zona de divergência no topo. Desta forma, as gotas de água que são elevadas pela corrente (e portanto não se tornam em precipitação) sendo que são depois transportadas pela zona de divergência até à bigorna, onde começam a descer com a corrente descendente.

A precipitação que está a cair é transportada de novo para o flanco de corrente ascendente da tempestade onde acabam por atingir a superfície. Este processo dá-se ciclicamente produzindo um padrão que tem um longo tempo de vida. Desde que a corrente ascendente se estenda para lá do nível de congelamento, até à zona em que as temperaturas vão de  $-10$  a  $-30$  °C. Para além disso, uma corrente ascendente forte pode manter granizo de grande dimensão em suspensão. Quanto mais intensa for a corrente ascendente, maior será a probabilidade de a severidade da tempestade ser alta, isto é, o granizo produzido terá maior diâmetro, os ventos serão mais intensos.



**Figura 8:** Esquema de classificação de tempestades de acordo com a sua escala horizontal e o cisalhamento.

As *WER* são maioritariamente encontradas em super-células e podem ser encontradas ocasionalmente em sistemas multi-celulares. De forma a classificar uma tempestade, pode utilizar-se um esquema (figura 8).

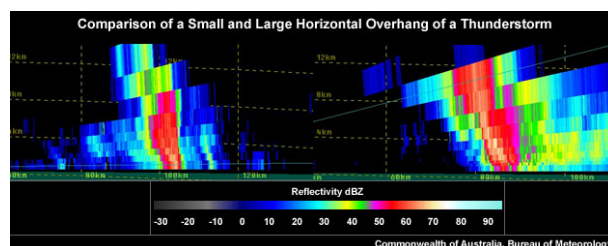
Após a identificação da região de reflectividade fraca (*WER*), pode estimar-se a severidade das tempestades que normalmente está associada à escala horizontal da tempestade, à sua extensão vertical, ao tempo de vida da(s) célula(s) e à intensidade da corrente ascendente. Ou seja, uma tempestade é tanto mais severa quanto:

- maior for a extensão horizontal da(s) célula(s);
- maior for a altitude atingida pela(s) célula(s);
- maior for o tempo de vida dos sistemas.

A análise temporal de um sistema, ou seja, a análise da sua evolução temporal dá informação acerca da fase de desenvolvimento em que o sistema se encontra; este

pode estar na fase de intensificação ou na fase de dissipação. Em sistemas formados por várias células, é necessário ter em atenção que estas se podem (e vão, na maior parte das vezes) encontrar em fases diferentes do seu desenvolvimento e pode haver formação de fenómenos severos durante a dissipação de uma outra célula. Uma forma simples de determinar a severidade de uma tempestade é fazer a comparação das imagens de radar dessa tempestade com outra cuja severidade seja conhecida.

No entanto, é necessário ter em atenção que esta comparação deve ser feita com imagens em cuja tempestade se encontra à mesma distância do radar que a tempestade em análise, visto que a intensidade medida é alterada com a distância tempestade-radar. Quando há mais do que um núcleo de tempestade (o que acontece frequentemente em situações em que se está na presença de um sistema multi-celular), pode acontecer haver dois núcleos que se encontrem alinhados com o radar. Caso o primeiro seja significativamente forte, o segundo pode ser subestimado nas imagens de radar.



**Figura 9:** À esquerda vê-se uma imagem de uma célula em que a zona de divergência é menor relativamente à zona de divergência da célula da esquerda.

Como se pode ver na figura 9, a zona de divergência de uma célula pode variar em tamanho. Quanto maior for a zona de divergência maior será a probabilidade de a célula gerar tempo severo. Este parâmetro pode ser medido pela distância que vai do exterior da zona de divergência no nível superior da tempestade, até ao exterior da zona de divergência à superfície. Alguns trabalhos de climatologia sugerem que o mínimo para este valor de distância para que se possa considerar uma tempestade severa é de 4 *km*.

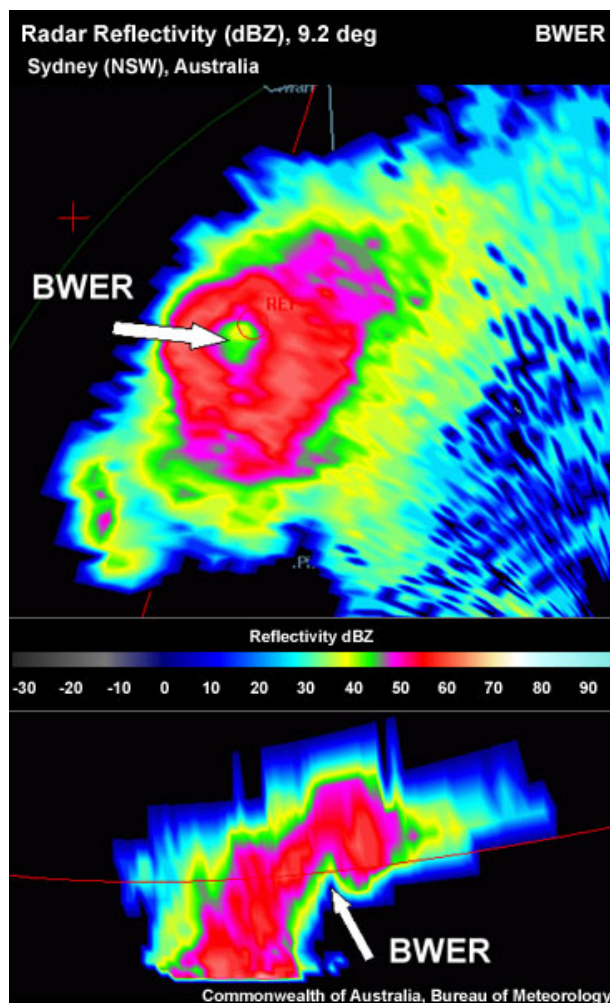
O tempo de vida de uma tempestade tem grande influência na sua severidade devido ao tempo de geração da precipitação que é tanto maior quanto maior for o tempo de vida da tempestade. Assim sendo, quanto maior for o tempo de vida de uma célula, mais tempo a precipitação passa na sua região que promove o seu crescimento e, portanto, maior diâmetro terão as gotas de chuva ou o granizo.

Quando se analisa uma imagem de radar pode estimar-se a severidade de uma tempestade pela sua reflectividade máxima no núcleo mas torna-se importante estudar também a reflectividade média. Quanto maior for a reflectividade média, maior será o diâmetro da precipitação, seja ela em forma de chuva ou granizo. A altura total da tempestade tem também grande influência na sua severidade. Maiores alturas totais da célula correspondem a maior probabilidade da divergência no topo se dar na zona óptima de crescimento de granizo. Ao se verificar uma *WER* de grande altitude pode concluir-se que a corrente ascendente é forte e portanto, a severidade da tempestade é grande.

Ter em conta todos estes aspectos da *WER* é, como se viu ao longo desta secção, útil na determinação do grau de severidade de uma tempestade o que, por sua vez, pode ser determinante no sucesso da emissão de alertas e diminuição de estragos.

### ***Bounded Weak Echo Region - BWER***

Uma *Bounded Weak Echo Region*, *BWER* é uma zona de canal aproximadamente vertical que mostra muito baixa reflectividade. Em cortes horizontais, pode ser identificada como a zona de baixa reflectividade que se encontra rodeada por todos os lados por maior reflectividade.



**Figura 10:** Uma imagem clássica de uma *BWER* visto em corte horizontal, localizada no centro da zona de reflectividades máximas. Em baixo, o padrão de uma *BWER* vista num corte vertical

Este padrão está ligado à corrente ascendente numa tempestade convectiva severa que contém precipitação recentemente formada, logo de pequenas dimensões, que são transportados para altos níveis antes que possam crescer suficientemente de forma a ser detectáveis pelo radar. Estas zonas de *BWER* encontram-se tipicamente em níveis médios das tempestades convectivas, cerca de 3 – 10 *km* acima da superfície e podem atingir quilómetros de diâmetro. A melhor forma de encontrar este padrão é fazer cortes sucessivos na zona óptima para este padrão.

As zonas *BWER* é usada como uma das características que, quando presente, indicam o desenvolvimento de tempestade convectiva e que, portanto, a tempestade em estudo possui uma forte corrente ascendente. Este tipo de padrão está normalmente presente em sistemas de super-células e é por vezes associado à presença de um mesociclone. No entanto, é de notar que a *BWER* não é um produto da rotação da célula, apesar de esta se dar muitas vezes em torno da *BWER*. É de facto, a forte corrente ascendente que não permite a queda de precipitação para níveis médios e portanto, causa a baixa reflectividade. Assim sendo a circunferência representa exactamente a

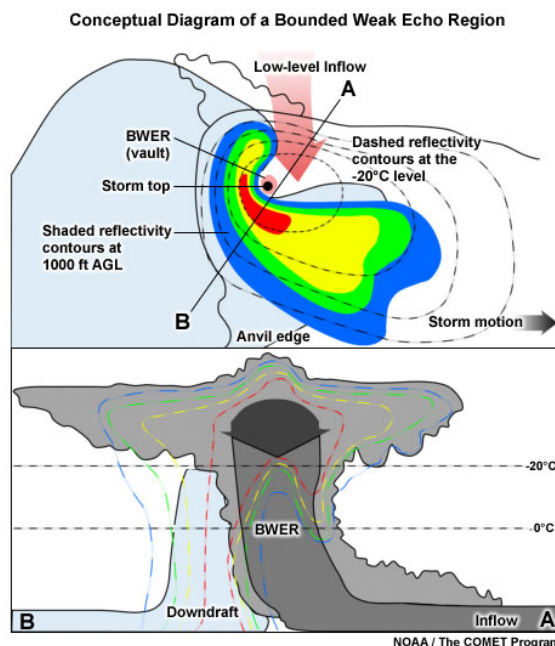
zona onde a corrente ascendente é mais intensa. Nos flancos desta zona de baixa reflectividade, dá-se o desenvolvimento e crescimento de granizo que atinge grandes dimensões agregando gelo que aparecem representados na zona de alta reflectividade que está à volta da *BWER*.

Usualmente, a presença de *BWER* em imagens de radar indica a existência de ventos muito fortes, granizo de grandes dimensões e em algumas ocasiões até a formação de tornados.

Na prática, a forma de encontrar estes padrões é semelhante à descrita para encontrar a *WER*, tendo sempre em mente que a zona óptima deste padrão se encontra entre os 3 e os 10 *km* de altitude.

Como em qualquer outra técnica de detecção, há alguns factores que a podem dificultar ou até resultar em resultados falsos. Por exemplo, em casos em que o nível de equilíbrio se encontra a baixa altitude, este restringe a célula e portanto, pode fazer com que seja difícil detectar a *BWER*, o que pode ser ainda exacerbado se a distância do radar à célula for elevada. A distância radar-tempestade é relevante também quando se tem em consideração que o feixe emitido torna-se tanto mais largo quanto maior for a distância que percorre o que, aquando do tratamento dos dados pode causar tanto subestimação como sobrestimação da reflectividade de um dado pixel. Pelo contrário, se o radar se encontrar demasiado perto da célula, pode estar dentro da zona de baixa reflectividade e portanto, não a detecta.

A severidade da tempestade produzida por uma célula (ou um sistema) pode ser avaliada pelas características da *BWER*. Tal como acontecia para a *WER*, o tempo de vida deste padrão é indicador da severidade da tempestade, i.e., quanto maior o tempo de vida desta circunferência de menor reflectividade circundada em todos os flancos por maior reflectividade, maior será a probabilidade de desenvolvimento de tempo mais severo. Ao contrário do que acontece com a *WER*, não é a reflectividade da *BWER* que se torna importante, mas sim a reflectividade da zona que está à volta desta. Quanto



**Figura 11:** Modelo conceptual da estrutura de uma *BWER* numa célula. Em cima vê-se uma representação horizontal ao nível dos  $-20^{\circ}\text{C}$  com a reflectividade a linha tracejada e onde a seta a vermelho representa a zona de convergência. Em baixo vê-se uma representação vertical com reflectividade a linha tracejada e onde a seta a cinzento representa a corrente ascendente e as linhas a azul tracejado a corrente descendente.



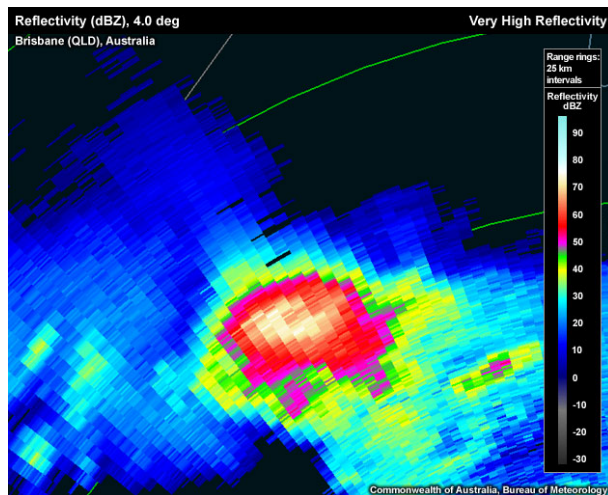
maior for a reflectividade da zona circundante da *BWER*, mais severos serão os fenômenos gerados pela célula. Para além disso, a altura da zona de divergência (que nos cortes verticais se pode fazer a ponte com a ponta superior de um arco) está relacionada com a formação de granizo. Se esta altura for muito baixa, não há formação de granizo e/ou o que se forma é de dimensão reduzida. Pelo contrário, se a altura do nível de divergência for na zona de formação de granizo, este terá maior oportunidade para se transformar em granizo de grandes dimensões e, portanto, maior será a severidade do tempo produzido pela célula em estudo.

## Zonas de reflectividade muito elevada

As zonas que mostram alta reflectividade em imagem de radar são definidas como aquelas que mostram uma intensidade superior a 60 dB. É em torno destes valores de reflectividade que se espera verificar a queda de granizo de grandes dimensões.

A zona de alta reflectividade é utilizada de forma a identificar as regiões em que a célula provocará o tempo mais severo. A existência de uma zona de alta reflectividade indica a presença de uma corrente ascendente muito forte de forma a ser capaz de formar alvos (precipitação) de grandes dimensões. Uma célula que possua movimento de rotação tem maior probabilidade de possuir uma corrente ascendente mais forte e, portanto, de produzir precipitação de grande diâmetro. Este processo foi já explicado em secções anteriores.

Uma zona de alta reflectividade pode apontar para a existência de precipitação de grandes dimensões ou, por outro lado, para a presença de grandes quantidades de precipitação de menor diâmetro (tanto chuva como neve). O cálculo feito para fazer correspondência entre os valores de reflectividade são baseados no integral do número de gotas pelo seu diâmetro num certo volume. Assim, os valores podem atingir um ponto em que, tendo em conta os conceitos físicos de tensão superficial, não podem representar o diâmetro das gotas. Desta forma, estes valores devem ser tidos em conta como sendo referentes a grande intensidade de precipitação de pequena dimensão.



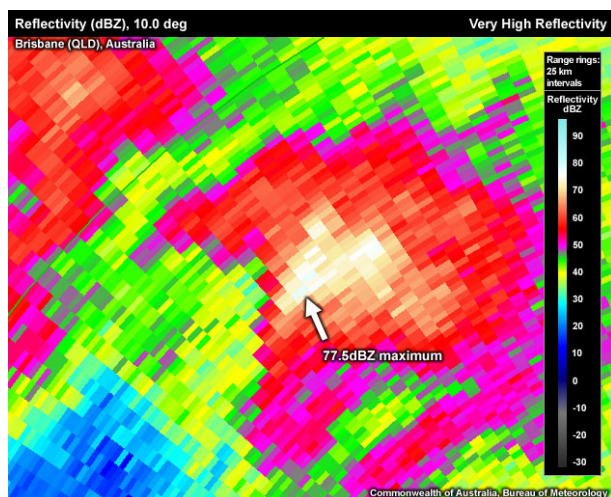
**Figura 12:** O núcleo tem uma reflectividade de  $\sim 75$  dB que representa, com algum grau de certeza, granizo de grandes dimensões.

Uma das consequências da queda intensiva de granizo ou chuva intensa são as cheias que podem desenvolver-se em pouco tempo e que, portanto, são extremamente perigosas. Se as maiores reflectividades forem encontradas em níveis onde a temperatura



é inferior a  $0^{\circ}\text{C}$  é muito provável que se esteja a observar granizo. Por outro lado, se as reflectividades mais elevadas se encontrarem em níveis em que a temperatura é superior à temperatura de congelamento, então estar-se-á na presença de precipitação na forma de chuva com gotas de grande dimensão.

Reflectividades acima dos  $70\text{ dB}$  indicarão para a presença de granizo com diâmetro superior aos  $5\text{ cm}$ . É de ter em atenção que, se os níveis abaixo do nível de congelamento se encontrarem com temperaturas muito altas e a atmosfera se encontrar saturada, pode dar-se o descongelamento do granizo e este pode atingir a superfície com um diâmetro muito inferior ao esperado ou pode até, não atingir a superfície.



**Figura 13:** Manually scanning the reflectivity pixels shows the maximum reflectivity as  $77.5\text{ dBZ}$ .

Este padrão de altas reflectividades pode ser encontrado em qualquer um dos 3 tipos de sistemas de células convectivas. No entanto, são mais comuns em super-células e menos comuns em sistemas meso-convectivos.

Como já foi feito para os outros tipos de padrões que podem ser encontrados em sistemas convectivos, há dificuldades na detecção desta assinatura (apesar de o método utilizado de forma a obter o valor de maior reflectividade seja simples e directo). Como foi já mencionado, sistemas que se encontrem obscurecidos por sistemas mais intensos que se encontrem entre o radar e o sistema em estudo causam dificuldades de detecção destes sistemas visto que

são causam subestimação da reflectividade - o que é particularmente importante para a determinação da zona de alta reflectividade. Uma zona de alta reflectividade tal como se vê numa imagem de radar pode também ter como origem poeiras suspensas no ar e não ser, portanto, representativo de ocorrência de precipitação. Para além disso, como foi já referido, a distância do radar à célula em questão tem também muita influência na reflectividade medida.

Após fazer a identificação da zona de muito alta reflectividade, pode determinar-se qual a severidade da tempestade causada pela célula (ou sistema de células) em estudo. Como foi já tratado em secções anteriores, as escalas temporal e horizontal do sistema estão largamente relacionadas com a intensidade da corrente ascendente e, portanto, com a severidade de uma tempestade. Para além disso, a análise temporal pode dar uma ideia acerca da evolução da célula - se está em fase de fortalecimento ou de dissipação.

A zona de reflectividade muito elevada pode ser analisada de forma a determinar a

intensidade da tempestade. Assim, o tempo produzido pela(s) célula(s) convectiva(s) é tanto mais severo quanto:

- maior for a área de grande reflectividade (maior a probabilidade de a tempestade produzir granizo de grandes dimensões, especialmente se esta for detectada acima do nível de congelamento);
- mais persistente for a presença deste padrão;
- mais alto for o valor máximo de reflectividade

Uma assinatura muito forte de alta reflectividade aponta para grande probabilidade de ocorrência de granizo de grandes dimensões, chegando este a poder ser de diâmetro superior a 5 *cm* caso se encontre zonas de reflectividade acima dos 70 *dB*, principalmente quando abaixo do nível de congelamento.

## Conclusão

Os sistemas de células convectivas são a fonte de alguns dos fenómenos de reduzida escala temporal e espacial com potencial de grande destruição. Estes sistemas geram muito frequentemente a queda de granizo, chuva forte, com muita intensidade em curtos períodos de tempo, ventos muito fortes e até tornados. Desta forma, a detecção e a previsão com máximo tempo de antecedência possível é importante na prevenção de perda de bens e de vidas.

Ao longo deste trabalho discutiu-se 3 dos padrões mais importantes e significativos na análise de imagens de radar - *WER*, *BWER* e a Zona de Reflectividade Muito Alta. Todas estas assinaturas mostram-se individualmente indispensáveis na determinação da severidade do tempo produzido por um sistema convectivo. No entanto, ao juntar a informação acerca de todas estas características, consegue-se ter uma ideia bastante aproximada do que se está a passar na realidade. Todos estes padrões, quando presentes são indicadores da intensidade da corrente ascendente de uma célula. Quanto mais forte for a sua manifestação em imagem de radar, maior deverá ser a corrente ascendente do sistema convectivo. Este facto torna-se muito importante visto que a intensidade do ar ascendente está directamente relacionado com a precipitação. Quanto maior for o movimento vertical em direcção a níveis superiores, maior será o crescimento das gotas de água, no caso da chuva. Quando a corrente ascendente é forte o suficiente de forma a que a zona de divergência está acima do nível de congelamento, então a geração de granizo torna-se possível. Em adição, a altitude do nível de divergência pode estar dentro da zona óptima de crescimento de granizo, o que pode produzir granizo de grandes dimensões que têm, como se sabe, grande potencial destruidor.

Para além do granizo, a intensidade da corrente ascendente tem consequência nos ventos horizontais à superfície sendo estes maiores com maior intensidade do fluxo vertical.

A severidade do tempo causado por um sistema convectivo pode ser estimado a partir das escalas horizontal, vertical e temporal da célula. Quanto maior for cada uma destas, maior será a probabilidade de tempo severo. Com a análise temporal das imagens de radar pode também ser possível determinar qual a fase de vida da célula, ou seja, se a fase de maior severidade já decorreu ou se ainda há potencial para geração de tempo ainda mais severo

Apesar de todos os procedimentos, a detecção de sistemas convectivos por radares tem algumas limitações. A distância do radar ao sistema em estudo pode tornar a análise por comparação (com as assinaturas de radar de tempestades com severidades conhecidas) difícil e pode até causar a subestimação da severidade da mesma. Para além disso, o alinhamento de um radar com mais do que uma célula na mesma direcção faz com que a segunda célula possa ser também subestimada pela sombra da primeira.

Desta forma, é muito importante analisar as imagens de radar de sistemas convectivos não só de forma a poder determinar a severidade dessa tempestade em particular, mas também com a intenção de desenvolver uma base de dados com que se possa comparar tempestades em estudo de maneira a determinar a sua severidade mais rápida e facilmente

# Bibliografia

- [1] Ahrens, C. 2008. Essentials of Meteorology: An invitation to the Atmosphere. Thomson, Brooks/Cole.
- [2] [http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2010/Tempo\\_frio\\_PC.html](http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2010/Tempo_frio_PC.html)
- [3] <http://www.patrioticthunder.com/localissues18.htm>
- [4] [www.crh.noaa.gov](http://www.crh.noaa.gov)
- [5] <http://www.meted.ucar.edu/>