



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



ARIBERT WALTER MILHAHN JÚNIOR

**UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS COMPLEXOS
CONVECTIVOS DE MESOESCALA NO NORDESTE DO BRASIL**

**MACEIÓ
2016**

ARIBERT WALTER MILHAHN JÚNIOR

UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE
MESOESCALA NO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Meteorologia pelo Instituto de Ciências
Atmosféricas da Universidade Federal de
Alagoas

Orientadores: Prof.^a Dra. Natalia Fedorova

Coorientador: Prof. Dr. Vladimir Levit

MACEIÓ

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

M644u Milhahn Júnior, Aribert Walter.

Uma ferramenta para análise automática dos Complexos Convectivos de mesoescala no Nordeste do Brasil / Aribert Walter Milhahn Júnior. – 2016.
43 f. : il.

Orientadora: Natalia Fedorova.

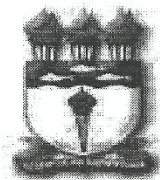
Coorientador: Vladimir Levit.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 42-43.

1. Meteorologia de mesoescala – Brasil, Nordeste. 2. Complexos convectivos de mesoescala - Análise automática. I. Título.

CDU: 551.509.313.43



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-136.

***“UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS COMPLEXOS
CONVECTIVOS DE MESOESCALA NO NORDESTE DO BRASIL”***

Aribert Walter Milhan Junior

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dra. Natalia Fedorova
(Orientadora)

Prof. Dr. Vladimir Levit
(Coorientador)

Prof. Dra. Maria Luciene Dias de Melo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Alessandro Sarmiento Cavalcanti
(Membro Externo-CESMAC)

ABRIL/2016

AGRADECIMENTO

Aos meus pais pela força, incentivo e dedicação, por estarem sempre presentes mesmo quando longe.

Ao meu irmão pelas ideias e sugestões.

A minha namorada Marília Cavalcante pelo apoio e paciência.

Agradeço em especial aos meus professores e orientadores Natalia Fedorova e Vladimir Levit pela paciência na orientação deste trabalho, pela amizade e ensinamentos, os quais foram de grande importância para o meu aprendizado, não só acadêmico, mas também sobre a vida. Muito Obrigado.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Alessandro Sarmiento Cavalcanti e Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo, pelas críticas, sugestões e comentários.

Aos meus amigos e colegas, em especial a Emerson Damasceno e Carlos Denyson pela força e amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

**“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”**

Albert Einstein

RESUMO

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são um dos sistemas atuantes no Nordeste do Brasil (NEB) que causam grandes perdas econômicas e sociais. Os CCM são associados com fenômenos adversos como precipitações intensas, trovoadas e rajadas de vento. Um método de análise automática de CCM para a região não foi elaborado ainda. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um algoritmo de análise e detecção automática de CCM no NEB para auxiliar nos estudos e previsão deste sistema. O algoritmo foi criado usando a linguagem de programação GNU Octave. A região de estudo foi 0° - 20° S e 30° - 50° O. Esse algoritmo processou imagens de satélite de temperatura de topo da nuvem de 21 eventos. Foram calculadas características físicas dos CCM, tais como área, excentricidade e duração. Essas características foram comparadas a trabalhos anteriores. Os resultados mostraram-se coerentes. A diferença de duração encontrada pelo algoritmo e trabalhos anteriores é de 1,7 h. A área média dos CCM obtida pelo algoritmo e por trabalhos anteriores são de 206.000 km² e 188.000 km², respectivamente. Foram identificados 62% dos eventos. Algumas diferenças ocorreram devido a maior frequência de imagens utilizadas pelo algoritmo. O algoritmo possibilitou calcular novas características dos CCM, tais como trajetória e velocidade.

Palavras-chave: Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Nordeste Brasileiro (NEB).
Análise Automática

ABSTRACT

The Mesoscale Convective Complexes is one of the active systems in Brazilian Northeast (BNE), which causes great economic and social losses. MCC is associated with adverse phenomena such as heavy precipitations, thunderstorms and wind gusts. An automatic method of MCC analysis and detection in the BNE not previously been developed. The aim of this work was create an automatic algorithm of MCC identification in BNE to help in study and forecasting of these systems. The algorithm was created using the GNU Octave programming language. Study area was determined as 0° - 20° S and 30° - 50° W. The algorithm processed satellite images of cloud tops temperature in 21 MCC events. Physical MCC characteristics, such as area, eccentricity and duration, were calculated. These characteristics were compared with previous studies and the results appearing to be consistent. Difference of MCC duration by automatic algorithm and previous study is equal to 1.7 h. Average MCC areas by algorithm and by previous study are around 206,000 km² and 188,000 km², respectively. Sixty-two percent of MCC have been identified. Some differences occurred due to higher frequency of used images. This automatic algorithm can calculate some new characteristics, such as, trajectory and MCC velocity.

Keywords: Mesoescale Convective Complexes (MCC). Brazilian Northeast (BNE). Automatic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do CCM na fase de gênese. Fonte: Fedorova, 2008.	16
Figura 2 – Representação do CCM na fase de desenvolvimento. Fonte: Fedorova, 2008.	17
Figura 3 – Representação do CCM na fase de maturação. Fonte: Fedorova, 2008.	17
Figura 4 – Representação do CCM na fase de dissipação. Fonte: Fedorova, 2008.	18
Figura 5 – Mapa da região Nordeste do Brasil. Fonte: IBGE, 2015.	20
Figura 6 – Imagem do satélite METEOSAT do dia 11 de maio de 2009 às 03 UTC. Fonte: CPTEC/INPE, 2015.	21
Figura 7 – Esquema dos passos do algoritmo. Fonte: Autor, 2016.	23
Figura 8 – Exemplo de imagem regular e irregular, a) imagem regular, b) imagem irregular. Fonte: Autor, 2016.	24
Figura 9 – Imagem das etapas do algoritmo. a) Etapa 1, recorte da imagem de entrada. b) Etapa 2, imagem com filtro aplicado. c) Aglomerados de pixels realçados. Fonte: Autor, 2016.	25
Figura 10 – Excentricidade proposta por Maddox. Linha verde (a): eixo menor, linha vermelha (b): eixo maior. Fonte: Autor, 2016.	26
Figura 11 – Etapas 3 e 4 do algoritmo, medições e linhas plotadas. Fonte: Autor, 2016.	26

Figura 12 – Etapa 6 do algoritmo, trajetória do sistema. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível. Fonte: Autor, 2016.	27
Figura 13 – Exemplo dos dados após as etapas. Fonte: Autor, 2016.	28
Figura 14 – Trajetórias dos eventos de CCM. a), g) e m) Trajetórias dos eventos de Albuquerque (2011). b), c), d), e), f), h), i), j), k), l) n), o) e p) Trajetórias dos eventos processados pelo algoritmo. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível. Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.	32
Figura 15 – Sistemas adicionais encontrados com os CCM selecionados. Datas no formato ano/mês/dia/horário UTC. Setas verdes são os eventos identificados por Albuquerque e setas vermelhas são os sistemas adicionais encontrado pelo algoritmo. Fonte: Autor, 2016.	37
Figura 16 – Trajetórias dos sistemas adicionais no período dos CCM selecionados. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível. Fonte: Autor, 2016.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas dos CCM. Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Maddox, 1980.	15
Tabela 2 – Datas em que ocorreram casos de CCM na região de estudo entre 2008 e 2009. Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.	22
Tabela 3 – Datas e Duração dos eventos de CCM obtidos por Albuquerque e pelo algoritmo. Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.	29
Tabela 4 – Temperaturas mínimas do topo dos CCM. Fonte: Autor, 2016.	30
Tabela 5 – Área dos CCM. Fonte: Autor, 2016.	31
Tabela 6 – Ângulos e direção de onde vem os CCM. Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.	34
Tabela 7 – Velocidade média dos CCM. Fonte: Autor, 2016.	35
Tabela 8 – Sistemas encontrados durante o mesmo período que os CCM selecionados. Fonte: Autor, 2016.	36

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

°C	Graus Celsius
Cb	Cumulonimbus
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
GB	Gigabyte
GHz	Gigahertz
GNU	<i>GNU's Not Unix</i> (GNU Não é Unix)
h	Hora(s)
hPa	Hectopascal (unidade de medida de pressão atmosférica)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infravermelho
Km	Quilômetro(s)
Km ²	Quilômetro(s) quadrado(s)
Km/h	Quilômetro(s) por hora
N	Norte
NE	Nordeste
NEB	Região Nordeste do Brasil
NO	Noroeste
O	Oeste
S	Sul

SE

Sudeste

SO

Sudoeste

UTC

Universal Time Coordinated (Tempo Universal Coordenado)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Complexos Convectivos de Mesoescala	15
2.2	Ciclo de vida dos Complexos Convectivos de Mesoescala	16
2.3	Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul	18
2.4	Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Área de estudo	20
3.2	Linguagem de programação GNU Octave	20
3.3	Dados	21
3.4	Identificação e escolha dos CCM	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1	Análise automática das características físicas dos CCM	23
4.2	Identificação dos CCM	28
4.3	Duração dos CCM	29
4.4	Temperatura da região mais fria do topo dos CCM	30
4.5	Área dos CCM	30
4.6	Trajetória dos CCM	31
4.7	Direção e Velocidade Média dos CCM	34
4.8	Identificação de sistemas adicionais	35
5	CONCLUSÕES	41

REFERÊNCIAS	42
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro (NEB) é uma das regiões onde há mais problemas com a falta de planejamento do uso do espaço, com ocupação desordenada de encostas e outras áreas de risco, sendo assim passível de grandes problemas decorrentes de precipitação intensa, tais como inundações, desabamentos, deslizamentos de terra, enchentes, transbordamento de rios, entre outros, os quais geram perdas econômicas e sociais, podendo dizimar vidas, além de impactar a agricultura que é fundamental para economia da região.

Um dos sistemas meteorológicos que mais causam precipitações intensas no sertão do NEB são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), como também trovoadas e rajadas de vento. Apesar disso esse sistema foi pouco estudado na região tendo sido quase ausente na literatura, sua atuação nessa parte do Brasil. São típicos de atuação no norte da Argentina, Paraguai e sul/sudeste do Brasil. Pelos resultados de Pontes Da Silva et al. (2011), os CCM foram um dos principais sistemas que mais provocaram precipitações intensas no estado de Alagoas.

Havendo pouca informação e tamanha consequência causada pelos CCM se faz necessário desenvolver um método de previsão a fim de reduzir ao máximo ou evitar os desastres causados por esse sistema. O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma ferramenta de análise automática para ajudar no entendimento e estudo dos CCM no NEB.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Complexos Convectivos de Mesoescala

Maddox (1980) identificou e definiu os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) que ocorreram na região central dos Estados Unidos, baseando-se em características físicas (tabela 1) que podem ser observadas por satélite e os comparou com outros tipos de sistemas convectivos. São definidos como um conjunto de cumulonimbus (Cb) cobertos por densa camada de cirrus que podem ser facilmente identificados em imagens de satélite como sendo sistemas aproximadamente circulares e com crescimento acentuado em um intervalo de tempo de 6 a 12 horas (SILVA DIAS, 1987).

Tabela1 – Características físicas dos CCM.

Características Físicas	
Tamanho	A – Cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -32^{\circ}\text{C}$ observadas no IR e com área $\geq 100000 \text{ km}^2$ B – Região interna da cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -52^{\circ}\text{C}$ observadas no IR e com área $\geq 50000 \text{ km}^2$
Início	Caso as definições de tamanho A e B sejam satisfeitas
Duração	As definições de tamanho A e B deverão persistir num período $\geq 6\text{h}$
Extensão máxima	Quando a definição do tamanho A (-32°C) alcançar seu maior tamanho
Forma	Excentricidade $\geq 0,7$ no momento de máxima extensão
Término	Quando as definições de tamanho A e B já não são satisfeitas

Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Maddox, 1980.

Os CCM em geral são noturnos (MADDOX 1980, 1981; MADDOX et. al. 1982; VELASCO; FRITSCH, 1987) e continentais, tanto os de latitudes médias quanto os tropicais nos dois hemisférios, o seu ciclo de vida começa poucas horas depois da formação de células convectivas ocorrentes no final da tarde ou começo da noite, sua máxima extensão ocorre

durante a madrugada e o sistema persiste até a manhã (VELASCO; FRITSCH, 1987). Integram e modificam o seu ambiente de larga escala, além de produzir fenômenos adversos como: precipitações intensas, tornados, trovoadas, inundações entre outros. (Maddox 1980, 1983).

2.2 Ciclo de vida dos Complexos Convectivos de Mesoescala

Segundo Maddox (1980) o ciclo de vida de um CCM divide-se em quatro fases: gênese, desenvolvimento, maturação e dissipação.

Gênese: encontram-se condições favoráveis para convecção na baixa troposfera (figura 1), onde se desenvolvem tempestades individuais. Efeitos de pequena escala como topografia e fontes de calor podem ter papéis importantes no desenvolvimento (RODGERS et. al. 1983; MADDOX 1980, 1981, 1983).

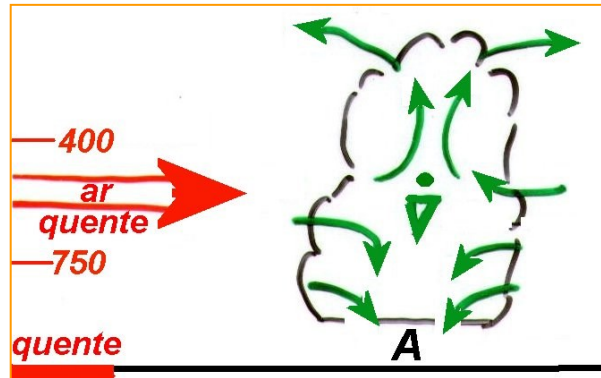
Figura 1 – Representação do CCM na fase de gênese.



Fonte: Fedorova, 2008.

Desenvolvimento: A instabilidade do ar continua, o ambiente de larga escala começa a responder a presença do calor anômalo da região, se desenvolve uma camada de confluência em médios níveis e em baixos níveis há uma forte confluência de umidade (figura 2). Com a intensificação dos movimentos ascendentes e a saturação do ar, o sistema se desenvolve rapidamente (MADDOX 1980, 1981, 1983).

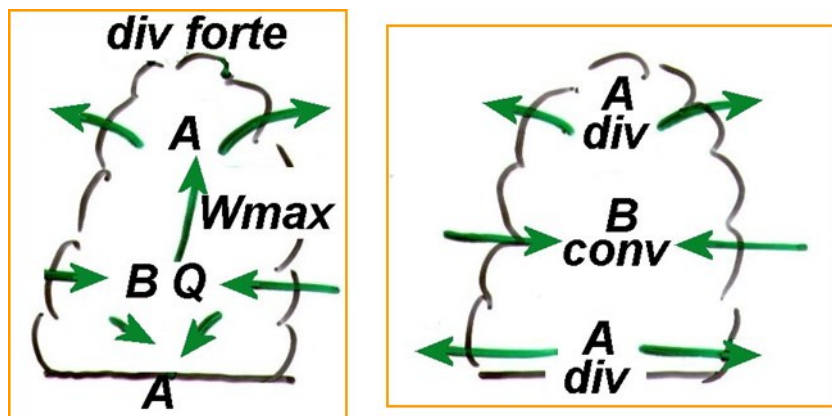
Figura 2 – Representação do CCM na fase de desenvolvimento.



Fonte: Fedorova, 2008.

Maturação: Há fornecimento de instabilidade alimentando o sistema devido à continuação da formação de elementos convectivos na região de convergência em baixos níveis (figura 3). A característica dominante da fase de maturação do sistema é circulação ascendente de massa e uma região de precipitação definida (MADDOX 1981, 1983).

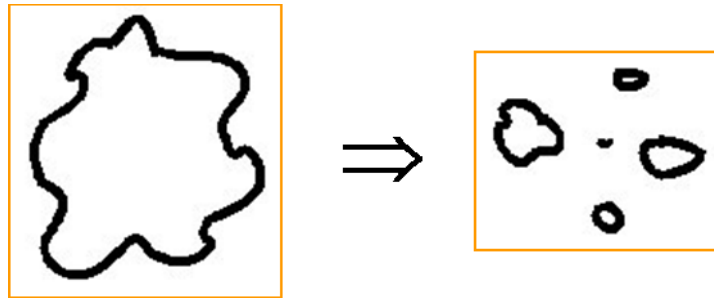
Figura 3 – Representação do CCM na fase de maturação.



Fonte: Fedorova, 2008.

Dissipação: Ocorre mudança rápida no caráter do CCM (figura 4), os fortes elementos convectivos não se desenvolvem, o sistema deixa de ser alimentado e se desorganiza obtendo aparência caótica nas imagens de satélite no canal IR. Os motivos para esta fase podem ser vários, como o deslocamento do sistema para uma região seca e estável, ou alguma região com escoamento diferente e convergência de umidade não significativa em baixos níveis. (MADDOX 1981, 1983)

Figura 4 – Representação do CCM na fase de dissipação.



Fonte: Fedorova, 2008.

Goodman e MacGorman (1986) estudaram atividades elétricas em dois casos de CCM e encontraram valores consideráveis, observaram que os CCM apresentam maiores atividades elétricas durante a fase de desenvolvimento e maturação.

2.3 Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul

Velasco e Fritsch (1987) utilizaram critérios similares ao de Maddox (1980) na identificação de CCM na América do Sul, porém com limites de temperaturas diferentes: -40° a -42°C , ao invés de -32° e, -62° a -64°C , ao invés de -52°C , mantendo os valores de área. Os CCM subtropicais da América do Sul se desenvolvem um pouco mais tarde e duram um pouco mais, além de serem 60% maiores que nos Estados Unidos, já os CCM tropicais tem dimensões parecidas, durando de 1 a 3 horas a menos.

Na América do Sul, os CCM são imersos num ambiente que apresenta forte advecção de ar quente e úmido realizado por um jato de baixos níveis proveniente da região Amazônica em 850 hPa, e em 250 hPa jato de altos níveis a sul do CCM, esse acoplamento do jato de baixos níveis e do jato de altos níveis é um dos mecanismos importantes para compreensão do processo de formação dos CCM (SILVA DIAS 1987).

2.4 Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste brasileiro

Fedorova et al. (2004) estudaram um caso de CCM que atingiu o leste de Alagoas, provocando precipitações intensas em Maceió, capital do Estado. Em um estudo mais recente, foram analisados os fatores que deram origem a um intenso CCM sobre o oeste desse Estado, resultando em precipitações consideráveis, fortes descargas elétricas e até queda de granizo (PONTES DA SILVA et al., 2008).

Conforme estudado por Silveira (2010), os eventos de CCM ocorridos entre 2003 e 2006 em parte do nordeste do Brasil (34° - 39° O e 7° - 10° S) apresentaram duração média de 11 horas, diâmetro médio de 500 km e área externa média de 190.000 km², temperaturas da área externa inferiores a -40° e valores médios dos núcleos de -60° C.

Albuquerque (2011) analisou 80 eventos de CCM no nordeste do Brasil, os quais apresentaram maior frequência durante verão e outono, com 49% e 46% respectivamente com trajetórias em maioria de nordeste e sudeste, relatando que os valores de TSM do Atlântico para os dias que ocorreram CCM foram de 30° C, atingindo máximos de até 31° C.

Milhahn Júnior (2013) analisou 93 eventos de CCM no período de 11 anos (1999 a 2010). Esses eventos estiveram associados com outros sistemas como: VCAN, extremidade frontal, ZCIT. 63% dos eventos estiveram associados com Correntes de Jato Subtropical, do Nordeste ou Corrente de Jato de baixos níveis. Os CCM foram mais frequentes no outono com 53% e no verão com 37%.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 5) é compreendida entre os paralelos 0° e 20° Sul e os meridianos 30° a 50° Oeste, cobre toda a área do NEB. Escolheu-se o período de 2008 a 2009, onde houveram as ocorrências dos sistemas encontrados por Albuquerque (2011).

Figura 5 - Mapa da região Nordeste do Brasil.



Fonte: IBGE, 2015.

3.2 Linguagem de programação GNU Octave

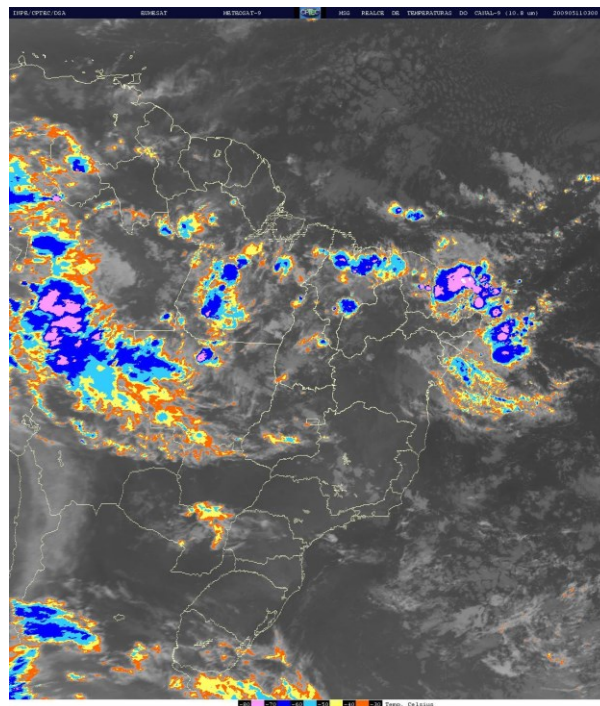
Para criação do algoritmo de análise automática dos CCM, foi utilizada a linguagem de programação de alto nível GNU Octave, que utiliza interface de linha de comando para resolver experimentos numéricos. O GNU Octave foi escolhido por ter várias ferramentas que auxiliam no processamento de imagem e pela possibilidade de customização das mesmas utilizando a sua própria linguagem, como também outras linguagens, tais como: C++, C e Fortran (GNU's NOT UNIX, 2016). Outro motivo de ter sido escolhido é por ser um software livre, assim, de fácil acesso para quaisquer usuários. A versão utilizada para criação do algoritmo foi GNU Octave 3.8.2, com instalação dos pacotes: control 2.6.6, general 1.3.4, geometry 1.7.0, image

2.2.2, io 2.2.4 e signal 1.3.0. O ambiente foi instalado no sistema operacional Ubuntu 14.04 64-bit, com 4GB de memória e processador Intel Core i5 4210U (1.70 GHz).

3.3 Dados

Foram utilizadas imagens do satélite METEOSAT (figura 6) com dados de temperatura realçada do topo da nuvem provenientes do CPTEC/INPE (disponíveis no endereço: <http://satelite.cptec.inpe.br>). A decodificação dos pixels dessas imagens foram usadas como dados de entrada para o algoritmo.

Figura 6 - Imagem do satélite METEOSAT do dia 11 de maio de 2009 às 03 UTC.



Fonte: CPTEC/INPE, 2015

3.4 Identificação e escolha dos CCM

Foram escolhidos 21 eventos de CCM identificados por Albuquerque (2011) no período de 2008 a 2009 utilizando os critérios de Maddox (1980). Albuquerque apresenta 80 casos, porém devido à falta de disponibilidade das imagens de satélite para datas anteriores a 2008 foram escolhidos somente os 21. A tabela 2 apresenta as datas dos eventos de CCM selecionados.

Tabela 2 – Datas em que ocorreram casos de CCM na região de estudo entre 2008 e 2009.

Evento	Data
60	29/02/2008
61	15/03/2008
62	18/03/2008
63	19/03/2008
64	25/03/2008
65	26/03/2008
66	27/03/2008
67	29/03/2008
68	30/03/2008
69	06/05/2008
70	09/05/2008
71	02/12/2008
72	20/02/2009
73	22/02/2009
74	02/04/2009
75	10/04/2009
76	14/04/2009
77	29/04/2009
78	10/05/2009
79	11/05/2009
80	21/05/2009

Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.

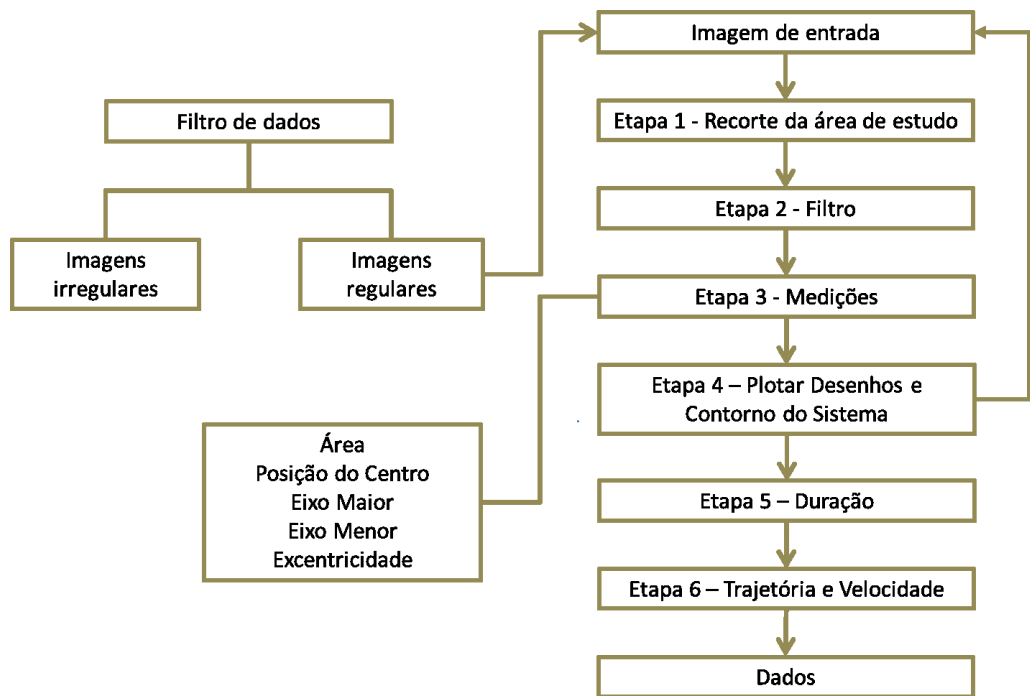
Esses eventos escolhidos foram separados para serem processados no algoritmo criado para análise automática dos CCM, afim de comparação sobre os resultados para avaliar os dados adquiridos no processamento. O algoritmo utiliza os critérios propostos por Augustine e Howard (1988). Utilizando somente a área interna do CCM (50.000 km² com temperaturas inferiores a -52°C), visando facilitar a identificação e diminuir a subjetividade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise automática das características físicas dos CCM

O algoritmo utilizando a linguagem de programação de alto nível GNU Octave fez toda a análise das características físicas dos eventos de CCM que são: área, duração, posição do centro, eixo maior, eixo menor, excentricidade. Também a obtenção de outros dados como: deslocamento, direção e velocidade. O algoritmo segue passos específicos que são apresentados no esquema abaixo (figura 7).

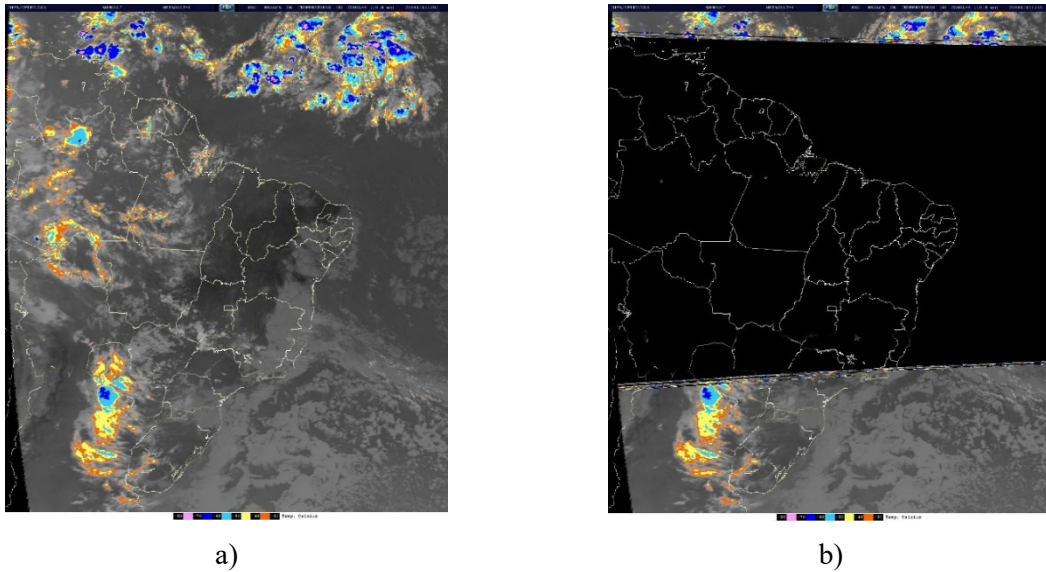
Figura 7 – Esquema dos passos do algoritmo.



Fonte: Autor, 2016.

Antes do algoritmo iniciar as etapas de processamento são filtradas as imagens de satélite realçadas de temperatura do topo da nuvem obtidas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (2015). Nessa filtragem são separadas as imagens regulares das irregulares (imagens com problemas de seguimento) para que na execução das etapas não haja erros por falta de informação. A figura 8 mostra um exemplo de imagem regular e irregular.

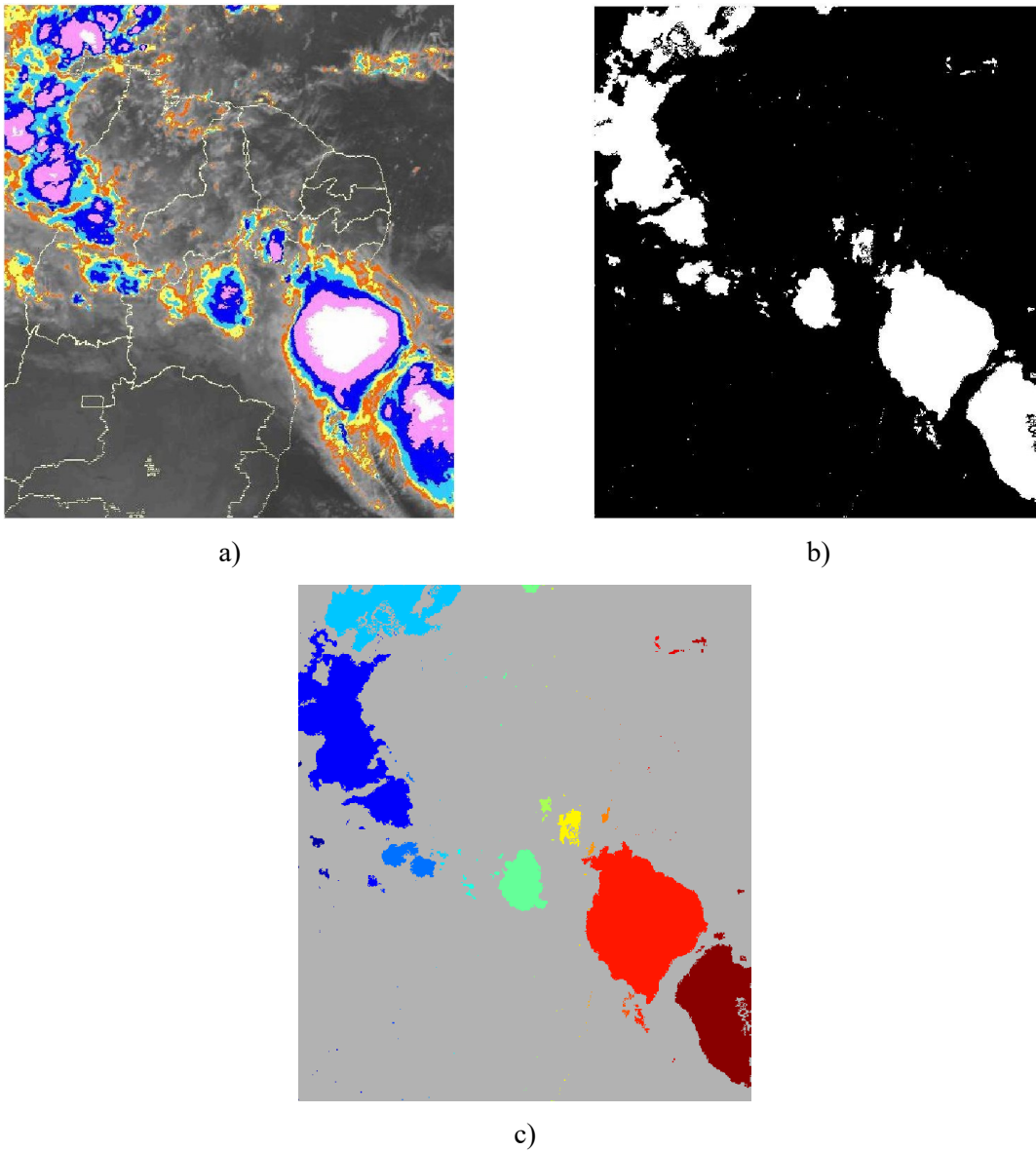
Figura 8 – Exemplo de imagem regular e irregular, a) imagem regular, b) imagem irregular.



Fonte: Autor, 2016.

O algoritmo recebe o grupo de imagens regulares, previamente separadas, como dado entrada. Inicia-se a primeira imagem e na primeira etapa é realizado o recorte da área de estudo (0° a 15° Sul e 30° a 50° Oeste) (figura 9a). As imagens são interpretadas como matrizes tridimensionais, onde a variação dos elementos na coordenada z são referentes aos valores de Vermelho, Verde e Azul. Na segunda etapa aplica-se um filtro à imagem recortada para identificação dos possíveis sistemas que estejam na imagem, esse filtro separa os pixels correspondentes aos intervalos de cores (variação de azul, rosa e branco) das áreas com temperatura menor que -50°C (figura 9b). A imagem após aplicação do filtro se torna uma matriz binária, onde os elementos com valor nulo (parte preta da figura 9b) são os pixels que não passaram pelo filtro com o intervalo de cor definido anteriormente. Os pixels que tinham as cores dentro do intervalo ficaram com valor 1, esses pixels são a parte branca da figura 9b. O aglomerado de pixels são rotulados com números de identificação diferentes. Na figura 9c é possível ver os diferentes aglomerados realçados.

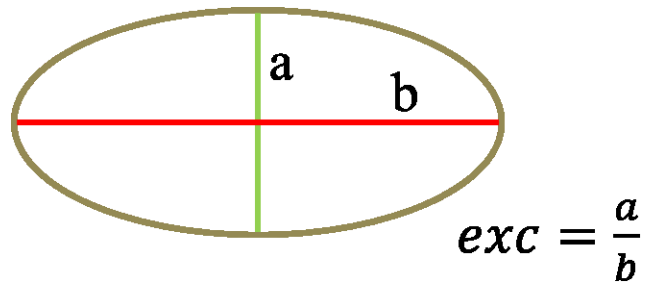
Figura 9 – Imagem das etapas do algoritmo. a) Etapa 1, recorte da imagem de entrada. b) Etapa 2, imagem com filtro aplicado. c) Aglomerados de pixels realçados.



Fonte: Autor, 2016.

A próxima etapa é responsável pelas medições das características do sistema, tais como área, posição do centro, eixo maior, eixo menor e excentricidade. A excentricidade calculada é a proposta por Maddox (1980). A razão entre o eixo menor e o eixo maior, como pode ser visto na figura 10. Para obter o valor equivalente da área de um pixel, foi feita uma regra de 3 simples de uma distância conhecida na imagem e no google maps, onde chegou-se no valor que 1 pixel é aproximadamente 19,71 km², assim a área para a identificação dos sistemas foi definida como 2535 pixels (50.000 km²).

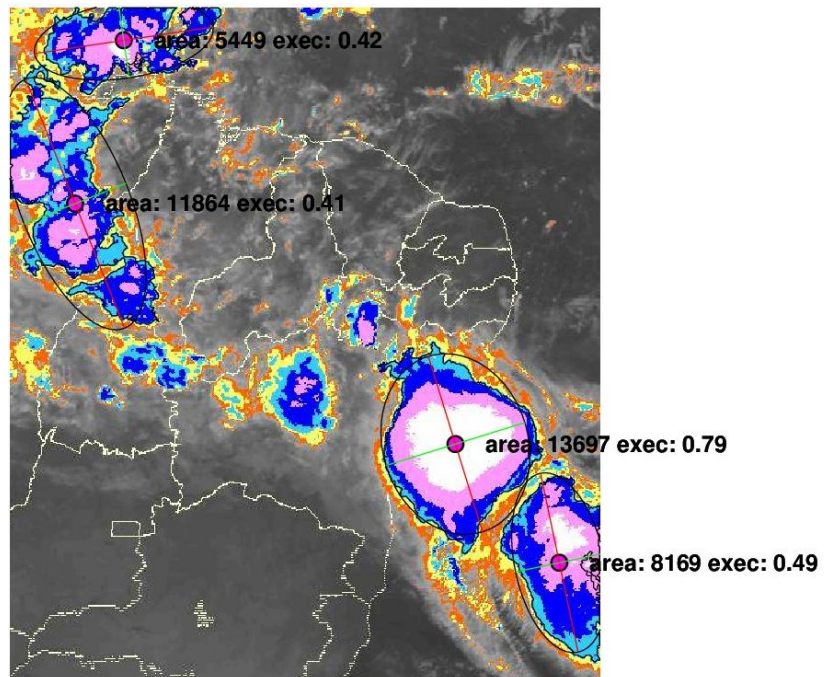
Figura 10 – Excentricidade proposta por Maddox. Linha verde (a): eixo menor, linha vermelha (b): eixo maior.



Fonte: Autor, 2016.

Iniciando-se a quarta etapa são plotadas as linhas de contorno dos sistemas encontrados com área maior que 2536 pixels, um círculo no centro desses sistemas com os valores da área e excentricidade e desenhadas as elipses sobre os mesmos, mostrando os eixos maiores e menores como é possível ver na figura 11. Após serem feitas as medições e plotados os contornos e desenhos é iniciada a próxima imagem do grupo realizando todas as etapas outra vez até que não seja detectado mais nenhum sistema.

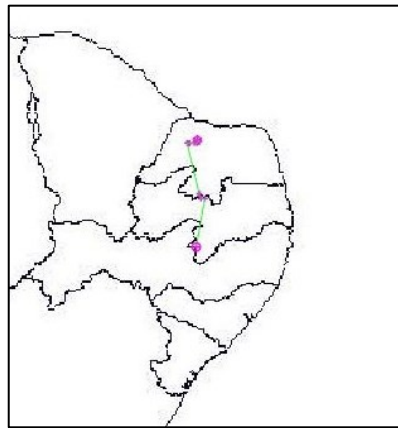
Figura 11 – Etapas 3 e 4 do algoritmo, medições e linhas plotadas.



Fonte: Autor, 2016.

Por fim, na quinta etapa se calcula a duração do sistema referente ao horário da primeira imagem e horário da última imagem em que o sistema é detectado e na última etapa são separadas as trajetórias (figura 12) dos sistemas encontrados, obtendo dados da direção do deslocamento e sendo possível calcular a velocidade média do sistema.

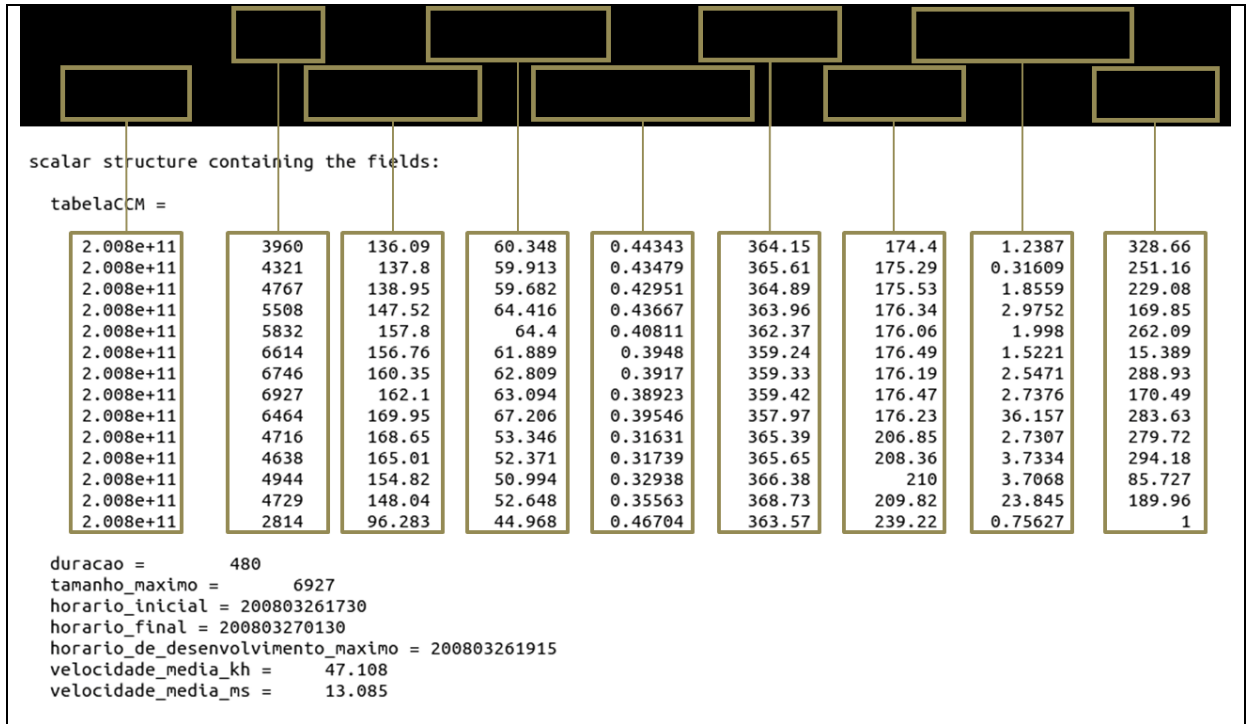
Figura 12 – Etapas 6 do algoritmo, trajetória do sistema. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível.



Fonte: Autor, 2016.

Ao término da análise automática todos os dados são separados e dispostos como na figura 13. Esses dados são separados por sistemas encontrado. As colunas contém os dados de horário, área, eixo maior, eixo menor, excentricidade, coordenada x da posição do centro, coordenada y da posição do centro, deslocamento e ângulos respectivamente. As linhas são referentes aos dados em cada imagem obtida do sistema. Também são dispostos duração, tamanho máximo, horários inicial, final e do desenvolvimento máximo e velocidade média do sistema.

Figura 13 – Exemplo dos dados após as etapas.



Fonte: Autor, 2016.

4.2 Identificação dos CCM

Obtendo os dados das características dos CCM através da análise automática foi possível comparar a identificação dos sistemas para o mesmo período dos 21 últimos eventos identificados por Albuquerque (2011). O algoritmo identificou 62% desses eventos (tabela 3). Essa diferença se deu pelo fato dos trabalhos empregarem diferentes metodologias, a autora utilizou imagens de satélite com intervalos de 3 horas e fez as medidas manualmente utilizando os critérios definidos por Maddox (1980). O presente trabalho utilizou imagens de intervalos de 15 minutos (quando disponível) e os critérios propostos por Augustine e Howard (1988) para eliminar subjetividade na identificação do sistema (utilizar somente as características da área interna dos CCM). Com análise automática é possível tornar menos subjetiva a identificação dos CCM, diminuindo possíveis erros nas medidas feitas manualmente.

Tabela 3 – Datas e Duração dos eventos de CCM obtidos por Albuquerque e pelo algoritmo.

Evento	Albuquerque (2011)			Algoritmo			Diferença da duração (h)
	Início (UTC)	Final (UTC)	Duração (h)	Início (UTC)	Final (UTC)	Duração (h)	
60	20080229-0000	20080229-0900	9	20080228-2315	20080229-0745	8,5	0,5
61	20080315-0000	20080315-1800	18	20080314-2300	20080315-1700	18	0
62	20080318-2100	20080319-0600	9	20080318-1930	20080319-0315	7,8	1,3
63	20080319-2100	20080320-0900	12	20080319-2200	20080320-0445	10,3	1,8
64	20080325-2100	20080326-0600	9	20080325-2100	20080326-0445	7,8	1,3
65	20080326-1800	20080327-0900	15	20080326-1730	20080327-0130	8	7
67	20080329-2100	20080330-1200	15	20080330-0015	20080330-1200	11,8	3,3
68	20080330-2100	20080331-0300	6	20080330-1800	20080331-0230	8,5	2,5
71	20081202-1800	20081203-0300	9	20081202-2230	20081203-0445	6,3	2,8
73	20090222-0600	20090222-1800	12	20090222-0430	20090222-1700	12,5	0,5
74	20090402-2100	20090403-0600	9	20090403-0030	20090403-0700	6,5	2,5
78	20090510-0900	20090511-0000	15	20090510-1145	20090511-0300	15,3	0,3
79	20090511-1200	20090512-0000	12	20090511-1500	20090511-2215	7,3	4,8
Média			11,5			9,9	1,7

Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.

4.3 Duração dos CCM

Na Tabela 1 são exibidas as durações dos sistemas. A duração calculada pelo algoritmo variou de 6,3 a 18 horas, sendo a média 9,9 horas. A duração média obtida por Albuquerque foi de 11,5 h. O sistema que apresentou maior duração obteve valores iguais nos dois métodos (evento 61, durando 18 horas), já o evento que mostrou menor duração por Albuquerque (2011) não foi o mesmo que foi identificado pelo algoritmo (eventos 68 e 71 respectivamente).

Devido as diferenças dos métodos acima citadas, foi de se esperar que houvesse diferenças nas durações dos sistemas, como é possível ver na tabela acima (tabela 3). As diferenças de duração obtidas pelos dois métodos foram em média 1,7 h, a diferença máxima de 7 h (evento 65) e mínima 0 h (evento 61). A média das durações dos sistemas encontrados por Silveira (2010) na região do NEB foi de 11,5 horas, a mesma média que Albuquerque (2011) obteve, portanto, a diferença de duração para os sistemas encontrados por ele é 1,7 horas também.

4.4 Temperatura da região mais fria do topo dos CCM

As temperaturas da região mais fria do topo dos CCM podem ser observadas na tabela abaixo (tabela 4). Majoritariamente os CCM apresentaram temperaturas de -80°C , sendo somente dois sistemas com -70°C , apresentando uma média de -78°C .

Tabela 4 – Temperaturas mínimas do topo dos CCM.

Evento	Temperatura Mínima ($^{\circ}\text{C}$)
60	-80
61	-80
62	-80
63	-80
64	-80
65	-80
67	-80
68	-80
71	-80
73	-80
74	-80
78	-70
79	-70
Média	-78

Fonte: Autor, 2016.

Silveira (2010) encontrou valores maiores de temperatura nos eventos de CCM, variando de -70°C a -50°C , tendo uma média de $-60,91^{\circ}\text{C}$.

4.5 Área dos CCM

Os dados de área dos CCM são apresentados na tabela 5. A média de área dos sistemas foi 206.411 km^2 , com maior área encontrada no sistema 71 (375.125 km^2) e menor no sistema 79 (120.798 km^2).

Tabela 5 – Área dos CCM.

Evento	Área máx. (pixel)	Área máx. (km ²)
60	8.748	172.416
61	14.864	292.958
62	7.224	142.379
63	7.999	157.654
64	12.019	236.885
65	6.927	136.526
67	16.361	322.462
68	9.817	193.485
71	19.033	375.125
73	10.472	206.395
74	6.829	134.594
78	9.725	191.672
79	6.129	120.798
Média	10.473	206.411

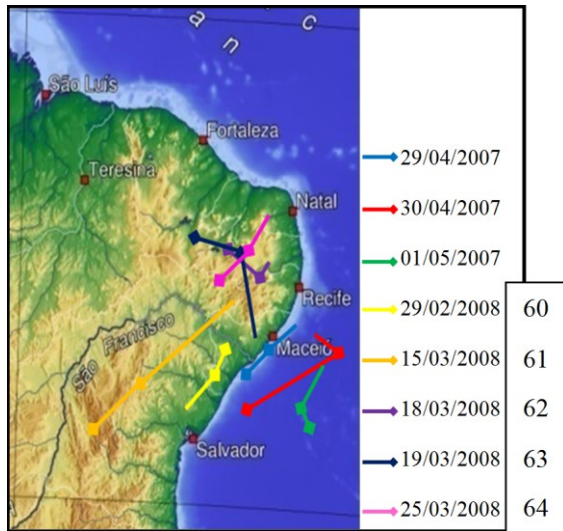
Fonte: Autor, 2016.

Apesar de utilizar temperaturas de topo da nuvem diferentes, este trabalho e o de Silveira (2010) obteve média da área dos CCM próximos de, 206.441 km² e 188.071 km², respectivamente.

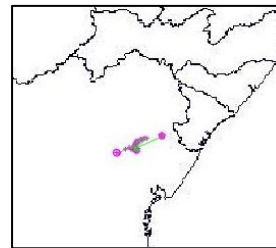
4.6 Trajetória dos CCM

Comparadas as trajetórias obtidas pelo algoritmo e as trajetórias verificadas por Albuquerque (2011), apresentaram-se com disposições semelhantes, como exibidas na imagem abaixo (figura 14).

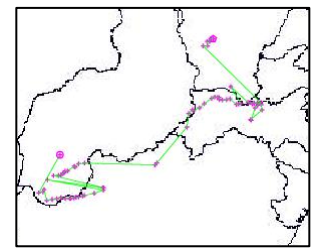
Figura 14 – Trajetórias dos eventos de CCM. a), g) e m) Trajetórias dos eventos de Albuquerque (2011). b), c), d), e), f), h), i), j), k), l), n), o) e p) Trajetórias dos eventos processados pelo algoritmo. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível.



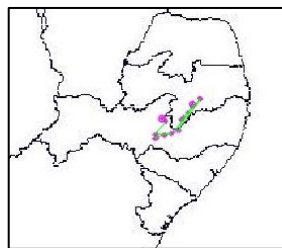
a)



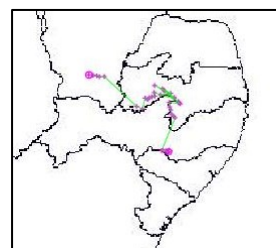
60
b)



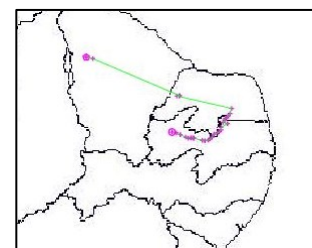
61
c)



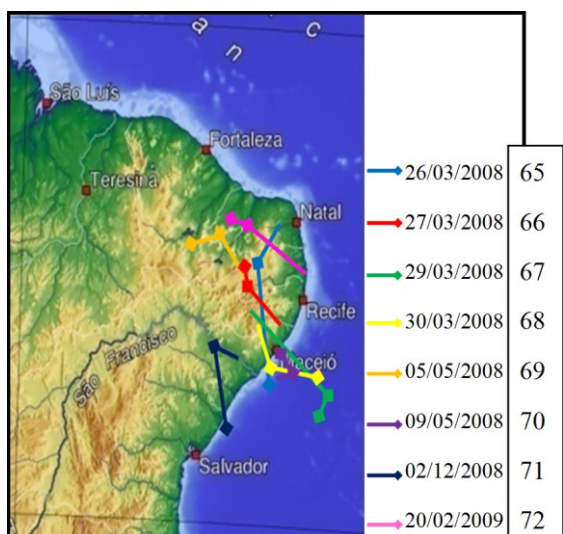
62
d)



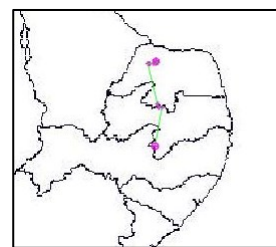
63
e)



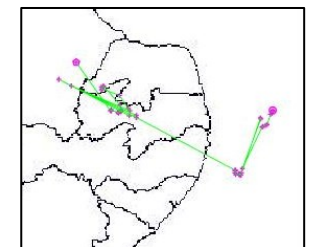
64
f)



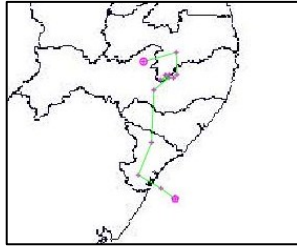
g)



65
h)

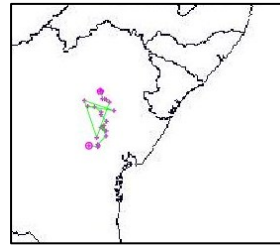


67
i)



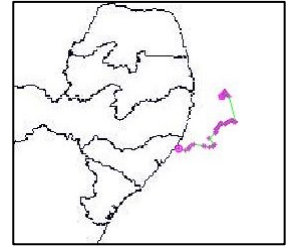
68

j)



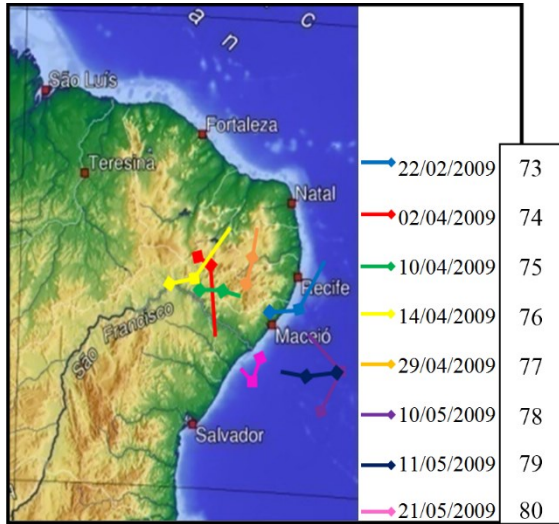
71

k)

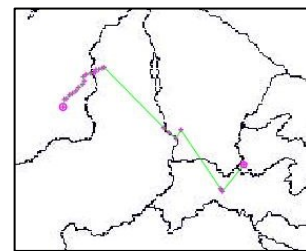


73

l)

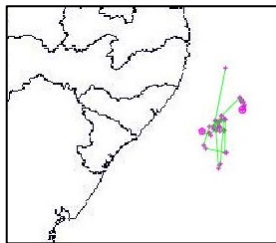


m)



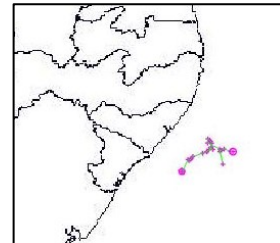
74

n)



78

o)



79

p)

Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.

As trajetórias obtidas pelo algoritmo mostram deslocamento mais detalhado devido ao maior número de imagens utilizadas para as análises dos sistemas.

4.7 Direção e Velocidade Média dos CCM

Os eventos de CCM analisados pelo algoritmo apresentaram direções pouco parecidos aos exibidos por Albuquerque (2011) como observado na tabela abaixo (tabela 6). Somente um evento (sistema 61) teve, nos dois intervalos de estágio (jovem-desenvolvimento máximo e desenvolvimento máximo-dissipação), direções iguais ao trabalho da autora. Este resultado já era esperado, pois nas trajetórias e durações foram encontradas algumas diferenças.

Tabela 6 – Ângulos e direção de onde vem os CCM.

Evento	Ângulo Jovem-Max (algoritmo)	Direção Jovem-Max (algoritmo)	Direção Jovem-Max Albuquerque	Ângulo Max-Dissipação (algoritmo)	Direção Max-Dissipação (algoritmo)	Direção Max-Dissipação Albuquerque
60	68,76	NE	SO	57,47	NE	SO
61	47,63	NE	NE	51,36	NE	NE
62	42,39	NE	-	87,62	NE	-
63	354,17	NO	SE	74,49	NE	SE
64	242,665	SO	NE	84,232	NE	NE
65	66,26	NE	NE	183,78	SO	NO
67	227,62	SO	NO	272,99	NO	NE
68	2,96	NE	NO	57,63	NE	NO
71	40,09	NE	SE	78,92	NE	NO
73	17,44	NE	NE	70,97	NE	SE
74	68,91	NE	SE	74,31	NE	SE
78	303,48	NO	NO	294,67	NO	NE
79	311,37	NO	NO	273,14	NO	SO

Fonte: Autor, 2016. Adaptado de Albuquerque, 2011.

Com a obtenção da posição, deslocamento e os horários de imagem para imagem, além de possível obter a trajetória dos sistemas, também torna-se possível calcular a velocidade média desses sistemas. A tabela 7 mostra os valores de velocidade média para os sistemas descritos. O sistema que apresentou menor velocidade média foi o número 65, com 47 km/h, já o que apresentou maior velocidade média foi o número 67, com 231 km/h. Em média, os sistemas apresentaram cerca de 111 km/h.

Tabela 7 – Velocidade média dos CCM.

Evento	Velocidade Média (km/h)
60	65
61	138
62	107
63	98
64	107
65	47
67	231
68	109
71	138
73	80
74	148
78	109
79	70
Média	111

Fonte: Autor, 2016.

4.8 Identificação de sistemas adicionais

Processando as imagens para o período de ocorrência dos CCM, obtidos por Albuquerque (2011), foram encontrados outros sistemas atuantes na área de estudo com características próximas aos de CCM, que obtiveram a trajetória dentro da região ou parte dela. Foram encontrados 18 sistemas adicionais, a tabela 8 mostra os dados desses sistemas obtidos pelo algoritmo.

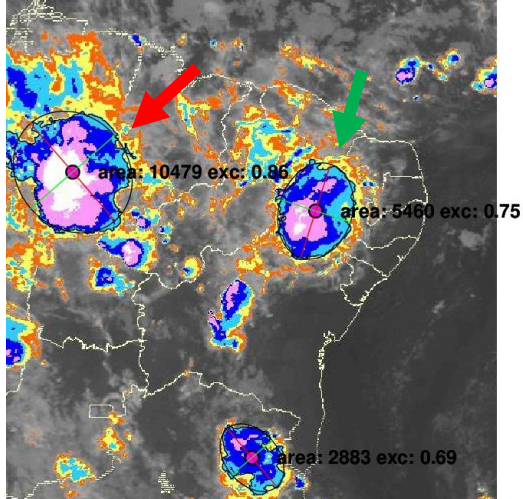
Tabela 8 – Sistemas encontrados durante o mesmo período que os CCM selecionados.

Evento	Início	Tamanho Máximo	Fim	Duração (h)	Área Máxima (km²)	Velocidade Média (km/h)
61a	20080314-2100	20080314-2245	20080315-1100	14	388.567	112
61d	20080315-1415	20080315-1745	20080315-2015	6	92.535	105
62a	20080318-1800	20080318-2045	20080319-0345	9,8	435.751	152
65b	20080326-1900	20080327-0230	20080327-1200	17	285.133	116
66b	20080327-2215	20080327-2330	20080328-0545	7,5	207.459	125
67a	20080329-1800	20080329-2100	20080330-0430	10,5	257.619	128
70a	20080509-1500	20080509-2045	20080510-0300	12	564.176	147
71b	20081202-1745	20081202-2200	20081203-0600	12,3	995.255	191
72a	20090220-1845	20090220-2245	20090221-0300	8,3	162.877	157
73a	20090222-0300	20090222-0430	20090222-1230	9,5	196.501	103
73c	20090222-0700	20090222-1215	20090222-1615	9,3	142.911	62
73d	20090222-1345	20090222-1915	20090222-2100	7,3	348.104	227
75a	20090409-2100	20090409-2230	20090410-0715	10,3	341.541	129
75b	20090409-2315	20090410-0045	20090410-0530	6,3	157.634	90
75c	20090410-0115	20090410-0515	20090410-0900	7,8	114.550	54
79b	20090511-1630	20090511-2000	20090512-0015	7,8	104.143	97
80a	20090520-2330	20090521-0230	20090521-0745	8,3	165.557	142

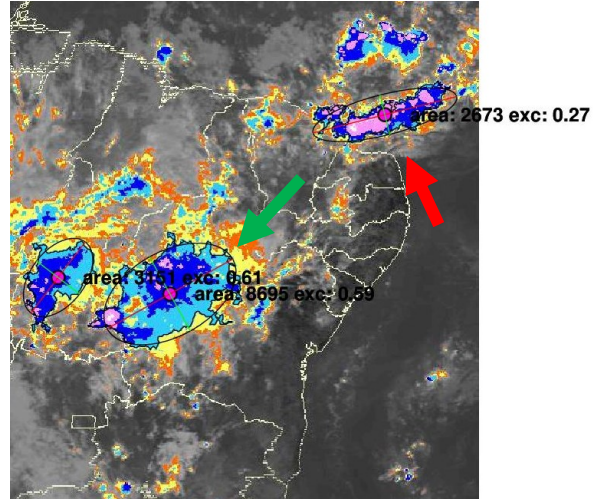
Fonte: Autor, 2016.

A figura 15 mostra os sistemas adicionais com os eventos obtidos por Albuquerque (2011). Os sistemas adicionais são apontados pelas setas vermelhas e os eventos Albuquerque apontados setas verdes. São encontrados de CCM e Linhas de Instabilidade, como exemplos, no período de ocorrência do evento 61 (figura 15), é possível ver um CCM a oeste (entre os estados do Pará e Maranhão) do CCM identificando por Albuquerque e horas depois, é possível observar uma Linha de Instabilidade a nordeste do CCM.

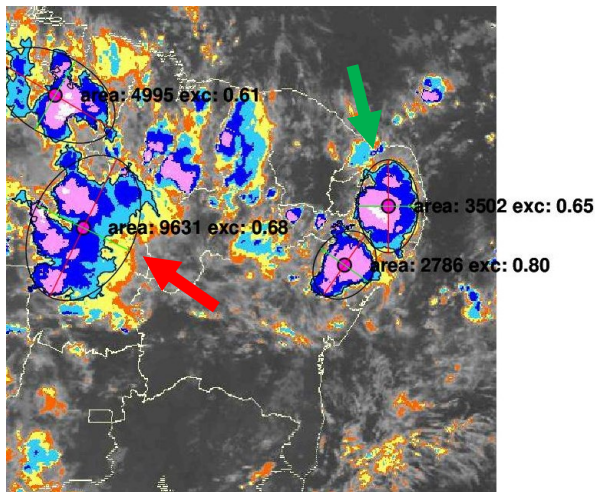
Figura 15 – Sistemas adicionais encontrados com os CCM selecionados. Datas no formato ano/mês/dia/horário UTC. Setas verdes são os eventos identificados por Albuquerque e setas vermelhas são os sistemas adicionais encontrado pelo algoritmo.



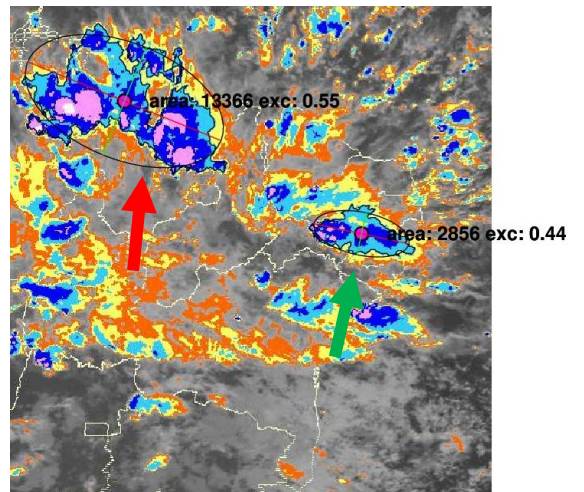
61 + 61a 08/03/15/04:30



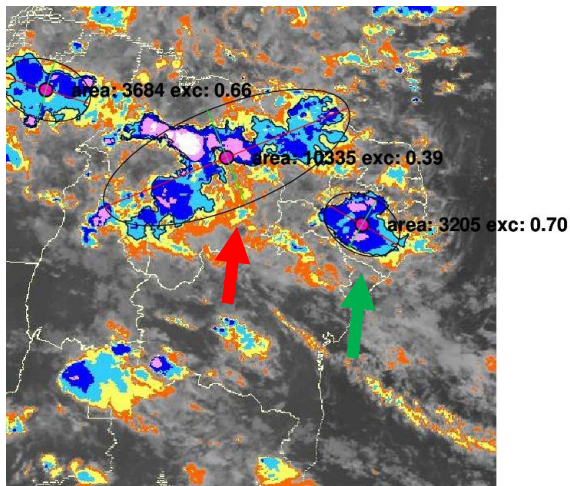
61 + 61d 08/03/15/14:15



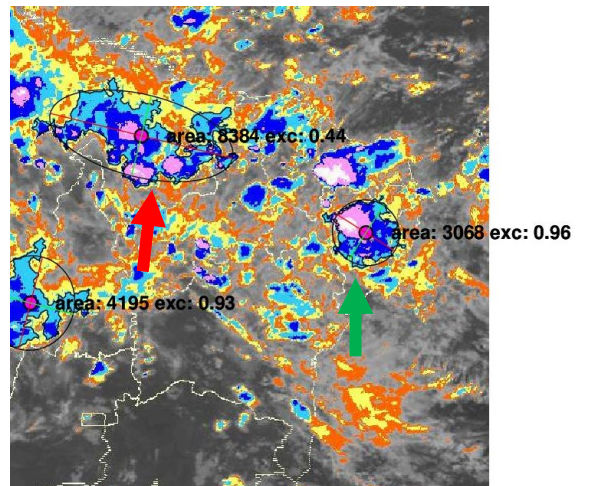
62 + 62^a 08/03/18/22:15



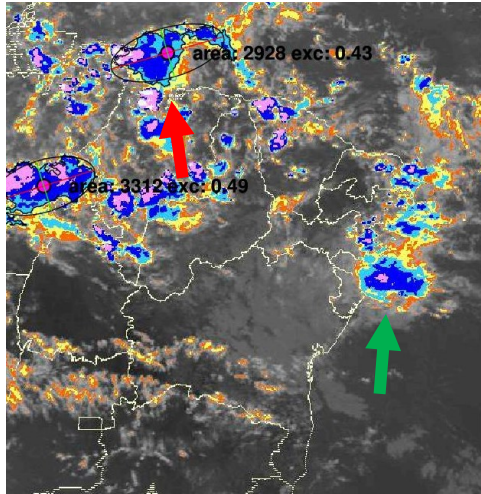
65 + 65b 08/03/27/01:30



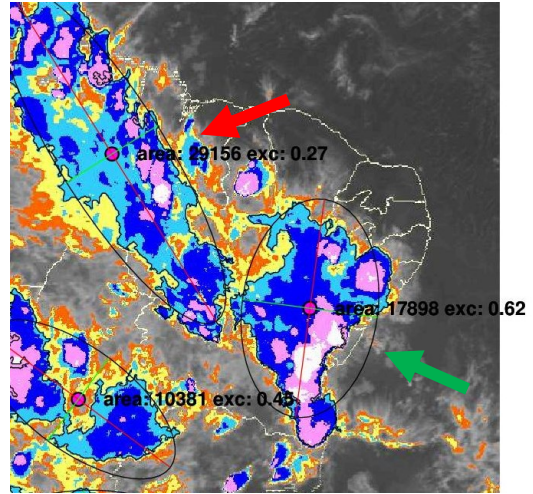
66 + 66b 08/03/28/00:00



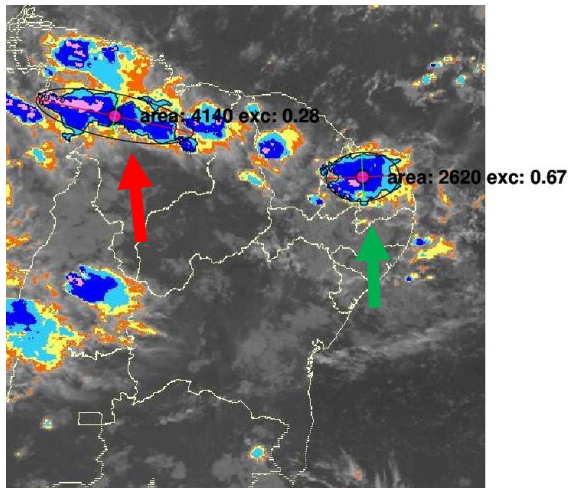
67 + 67a 08/03/29/22:30



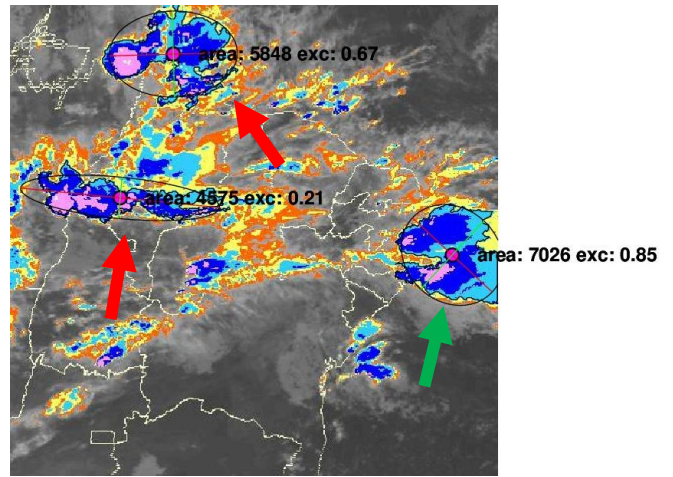
70 + 70a 08/05/09/16:30



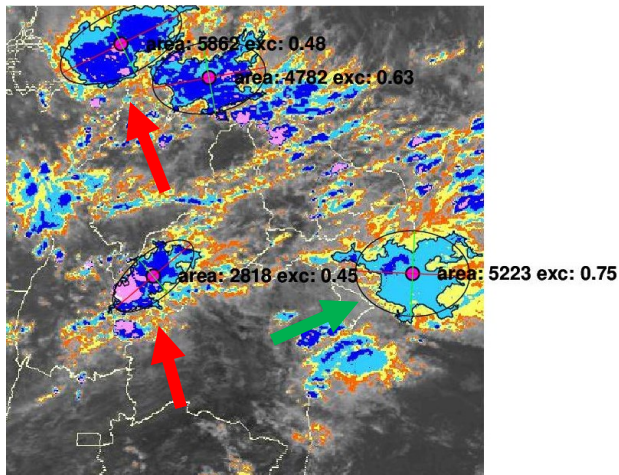
71 + 71b 08/12/02/22:30



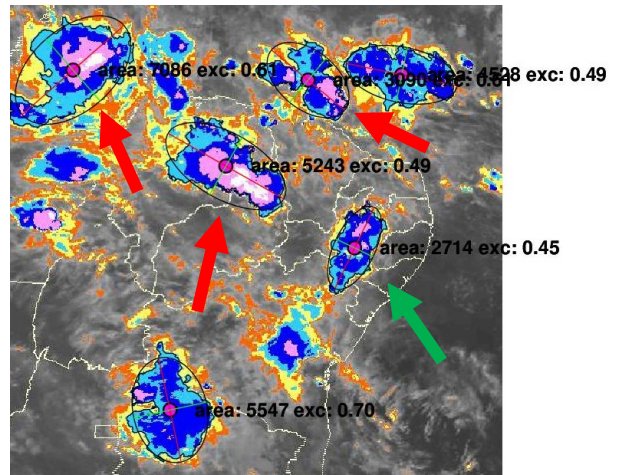
72 + 72a 09/02/21/00:15



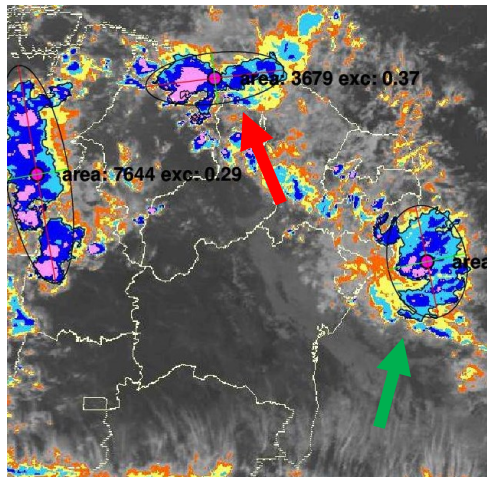
73 + 73a c 09/02/22/10:00



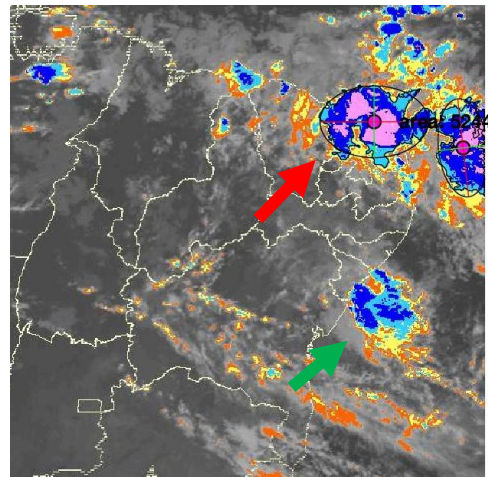
73 + 73c d 09/02/22/15:45



75 + 75a b c 09/04/10/01:30



79 + 79b 09/05/11/19:15

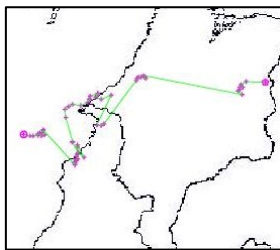


80 + 80a 09/05/21/04:30

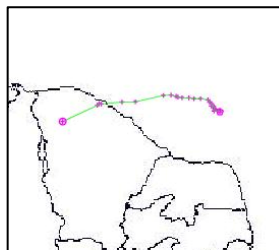
Fonte: Autor, 2016

A figura 16 mostra as trajetórias dos 18 eventos que ocorreram no mesmo período que os eventos encontrados por Albuquerque (2011).

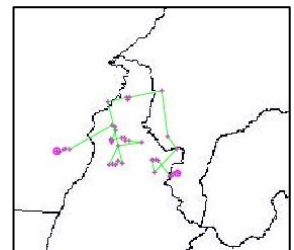
Figura 16 – Trajetória dos sistemas adicionais encontrados no período dos CCM selecionados. Pontos roxos correspondem as posições do centro do sistema em cada imagem disponível.



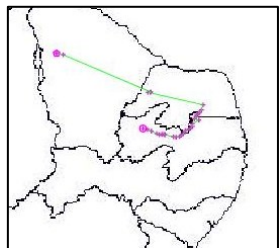
61a



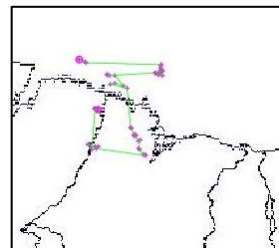
61d



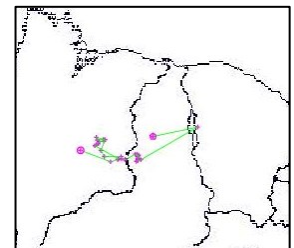
62a



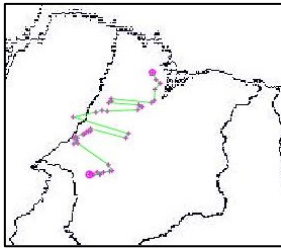
64b



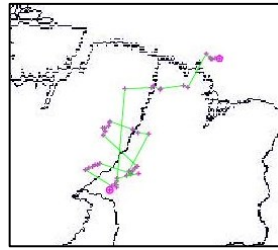
65b



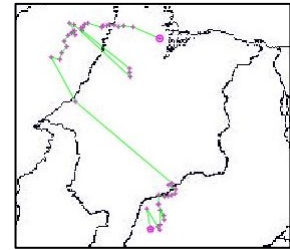
66b



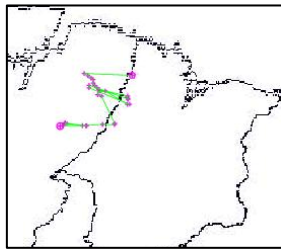
67a



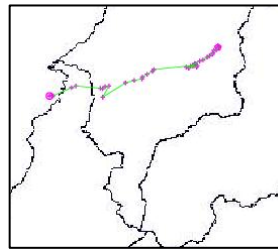
70a



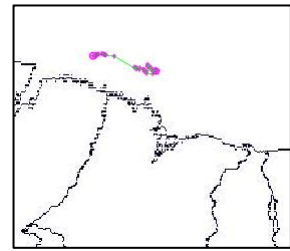
71b



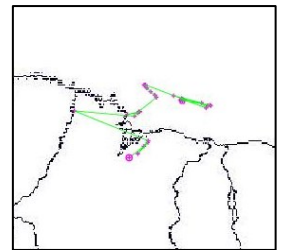
72a



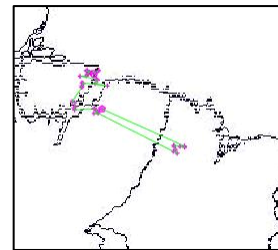
73a



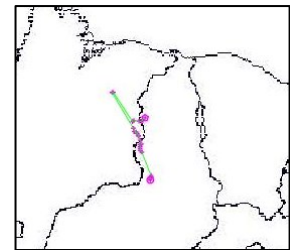
73c



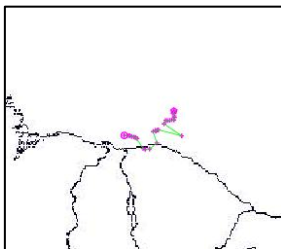
73d



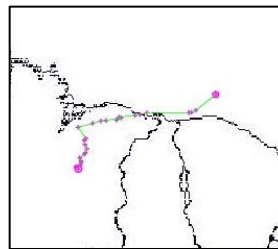
75a



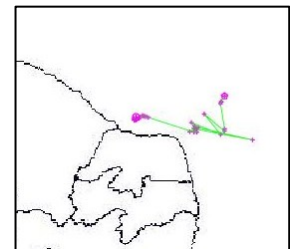
75b



75c



79b



80a

Fonte: Autor, 2016

O algoritmo mostrou-se capaz de identificar não somente eventos de CCM, como também outro Sistema Convectivo de Mesoscala como Linhas de Instabilidade.

5 CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um algoritmo para análise e detecção automática de CCM utilizando a linguagem GNU Octave, que calcula dados como: área, excentricidade, duração, trajetória e velocidade média.

Com o algoritmo é possível realizar análise mais detalhada e precisa das características físicas e deslocamento dos sistemas.

O algoritmo mostrou-se satisfatório com resultados condizentes a trabalhos já realizados sobre CCM.

Outros sistemas podem ser analisados utilizando o algoritmo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. S. M. **Desenvolvimento e Trajetórias dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Estado de Alagoas Entre os Anos de 1999 e 2009**. 2011. 74 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Curso de Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

AUGUSTINE, J. A., HOWARD, K. W., Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1985. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 116, n. 3, p. 685–701, 1988.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Banco de Imagens**. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/home/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

FEDOROVA, N. et al. Verificação das trajetórias das parcelas de ar pelo modelo HYSPLIT no caso de CCM em Maceió-Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004, CD-ROM.

FEDOROVA, N. Sinótica IV: SISTEMAS E PROCESSOS SINÓTICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL. Material didático: sinopses, figuras, equações Maceió: Edufal, 2008, p. 48-49.

GNU's NOT UNIX (GNU). **About GNU Octave**. Disponível em: <<https://www.gnu.org/software/octave/about.html>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

GOODMAN, S. J., MACGORMAN, D. R., Cloud-to-Ground Lightning Activity in Mesoscale Convective Complexes. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 114, p. 2320-2328, 1986.

MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 61, n. 11, p. 1374-1387, nov. 1980.

MADDOX, R. A., Satellite Depiction of the Life Cycle of a Mesoscale Convective Complex. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 109, n. 7, p. 1583–1586, jun. 1981.

MADDOX, R. A., RODGERS, D. M., HOWARD, K. W., Mesoscale Convective Complexes Over the United States During 1981— Annual Summary. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 110, n. 10, p. 1501–1514. out. 1982.

MADDOX, R. A., Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 111, n. 7, p. 1475–1493. jul. 1983.

MILHAHN JÚNIOR, A. W. **Correntes de Jato e Sistemas Associados aos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro**. 2013. 48f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Curso de Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

PONTES DA SILVA, B. F. et al. Mecanismos associados às precipitações intensas observadas entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2005 no Sertão do Estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008.

PONTES DA SILVA, B. F. et al. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 295-310, 2011.

RODGERS, D. M., HOWARD, K. W., JOHNSTON, E. C., Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1982. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 111, p. 2363-2369, 1983.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e previsão do tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p. 133 - 150, 1987.

SILVEIRA, M. H. S., **Complexos Convectivos de Mesoescala no Estado de Alagoas**. 2010. 65 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Curso de Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2010.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Boston, v. 92, p. 9591–9613, 20 Ago. 1987.