

Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Carneiro – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Ana Maria Aguiar Frias – Universidade de Évora

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva – Universidade de Coimbra

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
 Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof^ª Dr^ª Caroline Mari de Oliveira Galina – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
 Prof^ª Dr^ª Geuciane Felipe Guerim Fernandes – Universidade Estadual de Londrina
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadilson Marinho da Silva – Secretaria de Educação de Pernambuco
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. Jodeyson Islony de Lima Sobrinho – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof^ª Dr^ª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
 Prof^ª Dr^ª Kátia Farias Antero – Faculdade Maurício de Nassau
 Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal do Paraná
 Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof^ª Dr^ª Lucicleia Barreto Queiroz – Universidade Federal do Acre
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Universidade do Estado de Minas Gerais
 Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof^ª Dr^ª Marianne Sousa Barbosa – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^ª Dr^ª Marcela Mary José da Silva – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campina
 sProf^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pedro Henrique Máximo Pereira – Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 aProf^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
 Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
 Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^ª Dr^ª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Federal da Bahia / Universidade de Coimbra
 Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Luis Ricardo Fernandes da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
G342	<p>Geociências: desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 3 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0942-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.427231801</p> <p>1. Geociências. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 550</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA





A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

É com muito prazer que apresentamos a obra “Geociências: Desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 3”, que apresenta uma série de quatro artigos com diferentes propostas de análise espacial, com ênfase em estudos aplicados ou de cunho metodológico.

A obra é composta por trabalhos voltados para as geociências e que abordam diferentes perspectivas, desde análises voltadas para a perspectiva do ensino, análise geoespacial e dinâmica climatológica em áreas urbanas.

Convidamos os leitores a percorrer o sumário e conferir mais esse volume, com possibilidades e caminhos para a aplicação e disseminação das pesquisas em diferentes contextos e escalas de análise.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

CAPÍTULO 1	1
GEOTECNOLOGIA: UMA FERRAMENTA PARA USO EM CONTEÚDOS DE GEOGRAFIA E OUTRAS ELETIVAS NO ENSINO MÉDIO	
Katielle Ferreira Trindade	
Gilberto Aparecido Rodrigues	
Vanessa Amaro Vieira	
Jakeline Campos do Amorim	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318011	
CAPÍTULO 2	8
COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE DADOS ESPACIAIS POR GNSS PÓS PROCESSADOS E RTK	
Gerson Jonas Schirmer	
Rafael de Oliveira Cardoso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318012	
CAPÍTULO 3	22
ANÁLISE DE INDICADORES DINÂMICOS E TERMODINÂMICOS EM EVENTOS DE CHUVAS MUITO FORTES OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ENTRE FEVEREIRO E ABRIL DE 2019	
Juliana Hermsdorff Vellozo de Freitas	
Fabrício Polifke da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318013	
CAPÍTULO 4	40
GÊMEOS DIGITAIS O METAVERSO PARA AS URBANIZAÇÕES INTELIGENTES	
Ísis Terezinha Santos de Santana	
Elcivan Bezerra Miranda	
Jhonata Jankowitsch Amorim	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4272318014	
SOBRE O ORGANIZADOR	52
ÍNDICE REMISSIVO	53

ANÁLISE DE INDICADORES DINÂMICOS E TERMODINÂMICOS EM EVENTOS DE CHUVAS MUITO FORTES OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ENTRE FEVEREIRO E ABRIL DE 2019

Data de submissão: 01/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Juliana Hermsdorff Vellozo de Freitas

Universidade Federal do Rio de Janeiro
– UFRJ, Departamento de Meteorologia,
Instituto de Geociências - CCMN
Rio de Janeiro – RJ
<https://lattes.cnpq.br/8449226071933523>

Fabrcio Polifke da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro
– UFRJ, Departamento de Meteorologia,
Instituto de Geociências - CCMN
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/6798831594413989>

RESUMO: Eventos de chuvas muito fortes são responsáveis por ocasionar inúmeros transtornos à sociedade como, por exemplo, impactos na mobilidade urbana, múltiplos alagamentos, inundações, deslizamentos de terra, e, nos casos mais severos, perda de vidas. Neste contexto, o conhecimento das condições atmosféricas associados a eventos de chuvas muito fortes que ocorreram no passado pode fornecer diretrizes para um melhor reconhecimento de novos possíveis eventos de chuva no futuro. Este trabalho procurou caracterizar as condições atmosféricas associadas à formação de seis eventos de chuvas

muito fortes que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e março de 2019 utilizando as saídas do modelo *Weather Research and Forecasting (WRF)* utilizando os dados de previsão do *Global Forecasting System (GFS)*. Através das análises, verificou-se que as variáveis termodinâmicas apresentaram, em média, valores favoráveis à chuva intensa poucas horas antes à ocorrência de precipitação, principalmente associadas à disponibilidade de umidade nos baixos níveis da atmosfera. Os resultados das variáveis dinâmicas caracterizaram a presença de uma circulação vertical média favorável ao movimento ascendente do ar. Através da análise de agrupamento verificou-se que o aumento da umidade específica e a diminuição da intensidade dos ventos entre os baixos e médios níveis da atmosfera apresentaram a maior similaridade à ocorrência de precipitação. Para um estudo de caso referente ao evento de chuva muito forte ocorrido em 08 de abril de 2019 foi possível observar a presença concomitante de gatilhos dinâmicos, instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade nos horários em que foram observadas as maiores taxas de precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas muito fortes;

eventos extremos; indicadores atmosféricos; Rio de Janeiro; Sistema Alerta Rio.

ANALYSIS OF DYNAMIC AND THERMODYNAMIC INDICATORS IN HEAVY RAINFALL EVENTS OVER RIO DE JANEIRO CITY BETWEEN FEBRUARY AND APRIL 2019

ABSTRACT: Heavy rainfall events are responsible for causing numerous disruptions to society, such as impacts on urban mobility, multiple floods, landslides, and, in the most severe cases, loss of life. In this context, knowledge of the weather conditions associated with heavy rainfall events occurred in the past can provide guidelines for a better recognition of possible future rainfall events. This work aimed to characterize the atmospheric conditions associated to the formation of six heavy rainfall events that occurred in the city of Rio de Janeiro between February and March of 2019 using the Weather Research and Forecasting (WRF) model outputs using the forecast data of the Global Forecasting System (GFS). Through the analyzes, it was verified that the thermodynamic variables showed, in average, maximum values a few hours before the occurrence of precipitation, mainly associated with the availability of humidity in the low levels of the atmosphere. The results of the dynamic variables characterized the presence of an average vertical circulation favorable to the upward movement of the air. Through the cluster analysis it was verified that the increase of the specific humidity and the decrease of the intensity of the winds between the low and middle levels of the atmosphere presented the greater similarity to the occurrence of precipitation. From a case study analysis referring to the event of very strong rain that occurred on April 8, 2019, it was possible to observe the concomitant presence of dynamic triggers, atmospheric instability and humidity availability at the times when the highest precipitation rates were observed.

KEYWORDS: Heavy rainfall; extreme events; atmospheric indicators; Rio de Janeiro; Alerta Rio warning system.

1 | INTRODUÇÃO

O entendimento dos sistemas meteorológicos que favorecem a ocorrência de chuvas intensas e suas consequências em diversas escalas espaço-temporais tem sido estudado por um maior número de cientistas nos últimos anos. Assim, a busca por previsões de chuvas intensas mais precisas tornou-se um tema a ser abordado não somente pela comunidade científica das ciências atmosféricas, mas multidisciplinar devido à capacidade das chuvas em modificar as características do ambiente natural e urbano com o qual interage (Lemos & Calbete, 1996).

A ocorrência de altos acumulados de precipitação no estado do Rio de Janeiro está principalmente associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul, passagem de sistemas frontais (Seluchi & Chou, 2009; Dereczynski *et al.*, 2009) ou o desenvolvimento de sistemas convectivos isolados (Teixeira & Satyamurty, 2006). A cidade do Rio de Janeiro, sempre esteve exposta a eventos de chuvas intensas, principalmente os meses de verão e outono, ocasionando inúmeros transtornos para a população residente (Luz Barcellos, 2009; Dereczynski *et al.*, 2017).

Devido às consequências das chuvas na cidade do Rio de Janeiro, criou-se em 1996 o Sistema Alerta Rio (<http://alertario.rio.rj.gov.br>), com uma rede de medição de precipitação e com o objetivo de emitir avisos para os órgãos da Prefeitura da cidade do Rio e população.

A distribuição dos acumulados pluviométricos mensais coletados pelas 33 estações telemétricas do Sistema Alerta Rio entre 1998 e 2018 pode ser visto através da Figura 1. Os meses com maiores acumulados pluviométricos se encontram entre novembro e março, apresentando os maiores valores médios mensais para o mês de janeiro com aproximadamente 200 mm.

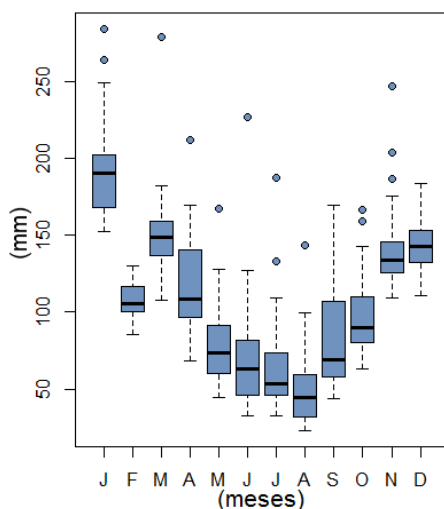


Figura 1 Acumulados pluviométricos mensais médios observados na rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio.

O Sistema Alerta Rio, atualmente sediado no Centro de Operações Rio (COR), encontra neste ambiente, uma maior ampliação dos seu boletins e avisos de chuva. O COR foi criado pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro para fornecer um melhor serviço operacional à população (<http://cor.rio/>).

Visando aprimorar a previsão e monitoramento das condições do tempo, especialmente da chuva, na cidade do Rio de Janeiro, o COR sediou no dia 18 de outubro de 2018, o I Workshop “Desafios da Meteorologia na Gestão Urbana” (<http://cor.rio/1workshop/>). Após este evento, verificou-se a necessidade de pesquisas voltadas diretamente para os desafios relativos à identificação das características atmosféricas locais associadas à eventos de chuvas intensas, que possam ocorrer na cidade do Rio de Janeiro. O primeiro esforço desta iniciativa resultou na análise de seis casos de chuvas fortes que atingiram a cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019. A metodologia aplicada e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

2 I VARIÁVEIS DINÂMICAS E TERMODINÂMICAS DA ATMOSFERA

Índices de instabilidade ou indicadores termodinâmicos e dinâmicos, são comumente utilizados para o diagnóstico e previsão de tempestades de maneira contínua e/ou dicotômica. Consideram-se como indicadores termodinâmicos da atmosfera aqueles que expressam as suas propriedades térmicas, isto é, variações de temperatura e umidade (Teixeira & Satyamurti, 2007; Busuioc *et al.*, 2015). As variáveis dinâmicas buscam relacionar os gatilhos favoráveis ao desenvolvimento de chuvas fortes a partir dos movimentos da atmosfera (Rudolph & Friedrich, 2014). Nesse contexto, a coexistência desses indicadores pode potencializar as condições físicas presentes na atmosfera para o desenvolvimento de chuvas intensas.

A Tabela 1 apresenta alguns dos indicadores termodinâmicos e dinâmicos utilizados nesta pesquisa. Variáveis representando o estado da atmosfera também são consideradas para análise. Entre elas, incluem-se: direção e velocidade do vento em 850 hPa (WD850 e WS850), em 500 hPa (WD500 e WS500) e em 250 hPa (WD250 e WS250); umidade a 2 metros (UM2M) em 850 hPa (UM850) e 500 hPa (UM500).

Nas fórmulas apresentadas na Tabela 1, T e Td, ambos medidos em graus centígrados (°C), caracterizam a temperatura do ar ambiente e a temperatura do ponto de orvalho, respectivamente, enquanto os números subscritos dessas variáveis referem-se aos níveis isobáricos (hPa) nos quais são medidos. Tp refere-se à temperatura da parcela levantada da superfície até 500 hPa, de acordo com a teoria das parcelas; Tvp e Tv (também em °C) referem-se, respectivamente, às temperaturas virtuais de uma parcela de ar e de seu ambiente circundante; LFC é o nível de convecção espontânea de uma parcela elevada; e o LNB fornece seu nível de equilíbrio. Interpretações físicas das variáveis na Tabela 1 são apresentadas em detalhe a seguir.

Variável	Fórmula
Índice K	$K=(T_{850}+Td_{850})-(T_{700}-Td_{700})-T_{500}$
Índice TT	$TT=(T_{850}+Td_{850})-2\cdot T_{500}$
Convective available potential energy	$CAPE=g \int_{LFC}^{LNB} \frac{T_{vp}(z)-T_v(z)}{T_v(z)} dz$
Convective inhibition	$CIN=g \int_{SFC}^{LFC} \frac{T_{vp}(z)-T_v(z)}{T_v(z)} dz$
Convergência	$CV=\left(\frac{\partial u_{850}}{\partial x} + \frac{\partial v_{850}}{\partial y}\right) < 0$
Divergência	$DV=\left(\frac{\partial u_{250}}{\partial x} + \frac{\partial v_{250}}{\partial y}\right) > 0$
Movimento vertical	$MV=-\frac{\partial Z_{500}}{\partial t}$

Tabela 1 Indicadores dinâmicos e termodinâmicos

O índice K é dado pela soma das temperaturas do bulbo seco e do ponto de orvalho em 850 hPa, subtraído da depressão do ponto de orvalho em 700 hPa e da temperatura do bulbo seco em 500 hPa (George, 1960). Valores de K acima de 30°C são considerados como um indicativo de alto potencial para a ocorrência de tempestades com chuvas intensas. O índice Total Totals (TT) é similar ao índice K, porém não considera a depressão do ponto de orvalho em 700 hPa (Miller, 1972). Em geral, valores de TT a partir de 40°C indicam situações favoráveis à formação de tempestades.

O índice energia potencial disponível para convecção, do inglês *convective available potential energy* (CAPE), por sua vez, é uma integração vertical da diferença entre a temperatura virtual da parcela $T_{vp}(z)$ e a temperatura virtual do ambiente circundante $T_{vp}(z)$ entre o nível de convecção livre (LFC) e o nível de flutuabilidade neutra (LNB). Quando o índice CAPE é maior que zero (tipicamente acima de 1000 J.kg⁻¹), a atmosfera apresenta potencial para convecção e tempestades severas podem ser esperadas na presença de uma forçante dinâmica. O índice inibição convectiva, do inglês *convective inhibition* (CIN), representa a quantidade de energia (trabalho) necessária para levantar uma parcela de ar da superfície (SFC) através de uma camada atmosférica mais quente e promover um movimento ascendente da parcela até chegar ao LFC. Assim, quanto menor o CIN, menor energia deverá ser fornecida a parcelas de ar para que possam ascender na atmosfera (Nascimento, 2005).

A convergência dos ventos (CV) nos níveis mais baixos de atmosfera (850 hPa), a divergência dos ventos (DV) nos níveis atmosféricos superiores (250 hPa) e movimento vertical nos níveis médios da atmosfera (500 hPa) são mecanismos dinâmicos desencadeadores para promover o movimento ascendente do ar (Doswell, 1987; Tajbakhsh *et al.*, 2012)

Diante desta breve revisão teórica, este trabalho procurou explorar e investigar o comportamento desses indicadores termodinâmicos e dinâmicos relacionados ao desenvolvimento das tempestades e chuvas muito fortes que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e março de 2019.

3 | METODOLOGIA

3.1 Identificação dos eventos de chuvas muito fortes entre fevereiro e abril de 2019 na cidade do Rio de Janeiro

Entre fevereiro e abril de 2019, destacaram-se seis em que foram observadas altas taxas horárias de precipitação na rede de monitoramento do Sistema Alerta Rio. Para todos os seis eventos, verificou-se a ocorrência de chuvas classificadas como muito fortes, isto é, chuvas acima de 50 mm por hora. A Tabela 2 mostra os acumulados pluviométricos observados em cada um dos seis eventos de chuvas muito fortes identificados, considerando o início e o fim da precipitação nas 33 estações do Sistema Alerta Rio.

Além das grandes taxas horárias de chuva observadas, verificou-se a grande variabilidade dos acumulados entre cada um dos eventos nas estações do Sistema Alerta Rio. No dia 04 de fevereiro de 2019, observa-se que o maior valor registrado foi de aproximadamente 165,8 mm na estação Sepetiba, em 06 de fevereiro 161,8 mm na estação Rocinha, em 17 de fevereiro 52,0 mm no Grande Méier, em 01 de março 109,2 no Alto da Boa Vista, em 03 de março 85,4 mm em Guaratiba e em 08 de abril um máximo de 345 mm na Rocinha.

Buscou-se também verificar, através das cartas sinóticas disponibilizadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>) e pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (<http://tempo.cptec.inpe.br/>) quais sistemas atmosféricos estiveram associados aos seis eventos de chuvas muito fortes encontrados. Verificou-se que a presença de uma frente fria favoreceu as chuvas em 04/02, o transporte marítimo, associado a uma alta pós-frontal em 06/02, uma Zona de Convergência de Umidade e um sistema de baixa pressão próximo ao litoral em 17/02, uma nova Zona de Convergência de Umidade nos dias 01/03 e 03/03, e a passagem de uma frente fria no dia 08 de abril. Tais resultados mostram inicialmente que chuvas muito fortes na cidade do Rio de Janeiro tende a ocorrer associados a um sistema atmosférico de grande escala.

Estações	04/fev	06/fev	17/fev	01/mar	03/mar	08/abr
Alto da Boa Vista	121,2	144,0	21,8	109,2	70,6	339,6
Anchieta	83,0	17,6	28,6	75,0	8,2	101,0
Av. Brasil/Mendanha	85,2	22,4	9,8	58,6	14,0	113,6
Bangu	87,2	28,6	47,6	56,2	6,2	135,0
Barra/Barinha	145,4	143,6	7,4	87,0	28,6	325,2
Barra/Riocentro	91,6	111,8	13,4	93,2	33,8	302,0
Campo Grande	77,6	27,0	10,4	48,6	11,6	170,0
Copacabana	79,8	88,0	10,6	45,8	67,8	315,4
Est. Grajaú/Jacarepaguá	64,6	47,8	26,0	99,2	24,6	176,6
Grajaú	53,8	30,6	26,0	79,2	46,0	139,0
Grande Méier	45,4	23,6	52,0	67,0	47,4	95,2
Grota Funda	113,2	92,8	43,4	84,0	26,2	179,0
Guaratiba	124,8	84,4	21,0	70,4	85,4	110,8
Ilha do Governador	101,2	23,6	27,8	56,6	33,2	124,0
Irajá	59,6	14,4	19,0	62,8	44,0	79,6
Jacarepaguá/Cidade de Deus	91,0	63,6	19,6	48,2	28,0	285,4
Jacarepaguá/Tanque	90,4	47,4	30,2	73,2	45,6	151,2
Jardim Botânico	116,2	126,8	7,4	70,0	80,0	339,6
Laranjeiras	35,2	51,0	12,8	53,2	26,8	179,8
Madureira	58,2	27,8	33,4	94,6	43,4	119,4
Penha	52,8	24,2	27,8	47,6	67,6	75,2
Piedade	52,2	27,4	40,0	91,4	53,4	100,0
Recreio dos Bandeirantes	100,6	86,2	20,2	92,4	33,6	222,4
Rocinha	31,6	161,8	13,4	84,0	60,8	345,0
Santa Cruz	131,8	21,8	14,8	72,2	18,4	200,8
SantaTeresa	58,4	51,2	14,0	54,6	25,6	151,4
São Cristóvão	37,8	24,6	36,2	54,8	46,8	96,8
Saude	25,8	18,6	28,4	58,4	13,6	113,2
Sepetiba	165,8	16,6	8,6	70,0	8,6	169,4
Tijuca	60,4	38,4	18,0	70,6	44,0	194,4
Tijuca Muda	45,4	59,4	22,4	81,6	54,4	182,8
Urca	46,6	49,6	9,6	46,8	29,0	256,0
Vidigal	95,2	161,2	11,4	69,4	66,2	315,2
Média	79,7	59,3	22,2	70,5	39,2	188,0
Máximo	165,8	161,8	52,0	109,2	85,4	345,0

Tabela 2 Acumulados pluviométricos observados nos eventos de chuvas muito fortes

3.2 Padrões meteorológicos

A identificação de padrões meteorológicos possibilita caracterizar a tendência do comportamento, ou configuração, da atmosfera associada à formação e desenvolvimento da chuva em diferentes cenários.

Para a identificação dos padrões meteorológicos associados aos seis eventos de chuvas fortes identificados (Tabela 2), foram utilizadas as saídas do modelo numérico

Weather Reserach and Forecasting (WRF) (Skamarock *et al.*, 2008), utilizado no Sistema Alerta. Foram utilizadas as saídas com as integrações realizadas com os dados do *Global Forecasting System* (GFS) às 00 UTC para a grade de 03 km para calcular as variáveis dinâmicas e termodinâmicas (Tabela 1) para os pontos de grade localizados nas estações Guaratiba, Sepetiba, Jacarepaguá/Tanque, Ilha do Governador e Urca. Estas estações foram selecionadas por estarem localizadas nas extremidades e ponto central da cidade do Rio de Janeiro.

A análise dos padrões meteorológicos necessita que os cálculos sejam estabelecidos considerando as condições atmosféricas antes do início da precipitação e durante sua ocorrência (Silva *et al.*, 2018). Levando esses aspectos em conta, os eventos de chuvas fortes foram agrupados de forma a caracterizar o instante inicial de tempo (T_0) como o momento correspondente a 12 horas antes do início da precipitação para cada evento, enquanto, como tempo final, foi levada em consideração a duração da precipitação observada para o evento de chuva mais prolongado.

O método de Ward foi aplicado com o resultado das variáveis dinâmicas e termodinâmicas em relação à ocorrência da precipitação com a finalidade de avaliar qual, dentre as variáveis analisadas, poderia apresentar uma maior similaridade com relação à formação e ao comportamento da precipitação durante os seis eventos de chuvas fortes identificados (Tabela 2).

O método de variância mínima de Ward ou simplesmente o método de Ward (1963) foi usado para agrupar as variáveis termodinâmicas, dinâmicas e a chuva observada. O método de Ward é um método de agrupamento hierárquico aglomerativo, em que o critério para escolha de grupos é aquele que calcula as médias de todas as variáveis para cada grupo, escolhendo aquele que apresenta a menor variância (Wilks, 1995; Fox, 1997):

$$d_e = \sqrt{\sum_{k=1}^K (x_k - y_k)^2}$$

onde d_e é a distância euclidiana entre os elementos nos pontos x_k e y_k , respectivamente. Nesse método, uma estação é considerada similar à outra se a união entre elas fornecer o menor aumento de dissimilaridade entre si. O quadrado da distância euclidiana, baseada nas médias do agrupamento, é, então, calculado para cada objeto. Essas distâncias são adicionadas para todos os objetos. Em cada estágio, são combinados os dois grupos que apresentam o menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos (Wilks, 1995). O método de Ward minimiza a soma, sobre as dimensões K de x , das variâncias dentro de grupos. No primeiro estágio (grupo 1), essa variância é zero, e, no último estágio (grupo n), a seguinte expressão é aplicada como:

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (x_{i,k} - \bar{x}_{j,k})^2$$

4 | RESULTADOS

A Figura 2 mostra a evolução temporal média de cada uma das variáveis calculadas utilizando as saídas do modelo numérico WRF para os cinco pontos de grade definidos. A linha vertical em azul caracteriza o início da precipitação na rede pluviométrica do Sistema Alerta Rio. Assim, foram consideradas 12 horas antecedentes à chuva e 25 horas após o seu início, pois foi a duração do evento de chuva mais prolongado (ocorrido em 08/04/2019).

O padrão termodinâmico pode ser observado através das 2A-2G onde são apresentados os comportamentos da umidade específica a 2 metros (UM2M), umidade específica em 850hPa (UM850) e em 500 hPa (UM500), CAPE, CIN, K e TT. O comportamento médio dos gatilhos dinâmicos são apresentados entre as Figuras 2H e 2T: convergência do vento a 10 metros (CV10M) e 850 hPa (CV850), a divergência do vento em 250 hPa (DV250) e 300 hPa (DV300), movimento vertical em 500 hPa (MV500), direção do vento a 10 metros (WD10M), 850 hPa (WD850), 500 hPa (WD500) e 250 hPa (WD250) e a velocidade do vento a 10 metros (WS10M), 850 hPa (WS850), 500 hPa (WS500) e 250 hPa (WS250).

Através das Figuras 2A-2C, verifica-se um aumento da umidade na atmosfera antes e durante a ocorrência da precipitação, com maiores taxas de crescimento para as camadas atmosféricas mais próximas a superfície simulados pelo modelo numérico WRF. Para a UM2M (Figura 2A), observam-se valores acima de 15,0 kg/kg e uma elevação de aproximadamente 2,5 kg/kg ocorrendo aproximadamente seis horas antes do início da precipitação. Um comportamento similar é observado para as variáveis UM850 (Figura 2B) e UM500 (Figura 2C), entretanto, menores variações (aproximadamente 0,8 kg/kg) foram observados em comparação a UM2M (Figura 2A).

É possível observar também que os picos de umidade entre os três níveis atmosféricos analisados ocorreram em diferentes instantes de tempo. Para a UM2M (Figura 2A), verifica-se um máximo cerca de duas horas após a ocorrência da precipitação, enquanto que para UM850 (Figura 2B) e UM500 (Figura 2C) observa-se que os máximos ocorreram cerca de 4 e 8 horas após o início da chuva, respectivamente. Tal característica sugere que, dentre os casos simulados pelo WRF, o transporte vertical da atmosfera dos níveis em direção aos níveis superiores da atmosfera ocorreu em diferentes fases para o suprimento da atividade convectiva e chuvas intensas.

O índice K (Figura 2D) apresentou uma taxa de aumento de aproximadamente 2°C, antes do início da precipitação. O índice TT (Figura 2E), apresentou um comportamento similar ao K, entretanto, uma menor taxa de variação (aproximadamente 0,8 °C) antes

da precipitação é observada. Apesar das diferentes taxas de crescimento observadas para os dois índices, ressalta-se que ambos apresentaram valores considerados como significativos para a formação de chuvas intensas, segundo Silva Dias (2000) e Nascimento (2005). Silva *et al.* (2016) utilizando também o modelo numérico WRF verificaram que valores de K acima de 36°C e TT acima de 45°C eram considerados como significativos para a formação de chuvas extremas na cidade do Rio de Janeiro. Através das Figuras 2D e 2E verifica-se que ambos os índices alcançaram os limiares obtidos por Silva *et al.* (2016) no início da precipitação.

Ao contrário dos índices K e TT, a CAPE (Figura 2F) apresentou um gradiente negativo antes do início da precipitação, assim como os valores simulados estiveram abaixo dos limiares (variando entre 200 J/kg e 300 J/kg) considerados como significativos (acima de 1000 J/kg) para a formação de chuvas intensas, segundo Nascimento (2005). O CIN (Figura 2G), entretanto, apresentou um comportamento oposto a CAPE (Figura 2F). Segundo Silva *et al.* (2017), a presença do CIN pode favorecer uma aumento da instabilidade atmosférica em superfície devido a inibição do movimento vertical do ar. Assim, na presença de um posterior gatilho dinâmico, este ar com uma maior quantidade de umidade, pode favorecer a formação de sistemas convectivos mais intensos na disponibilidade de suporte termodinâmico.

Através das Figuras 2H a 2L, verifica-se a presença de uma circulação vertical atmosférica favorável ao movimento convectivo, com valores negativos de CV10M (Figura 2H) e CV850 (Figura 2I) e valores positivos de DV300 (Figura 2J) e DV250 (Figura 2K). Tal característica pode ser corroborada através da evolução temporal do MV500 (Figura 2L), onde se observam valores positivos, indicando o movimento vertical ascendente, após o início da precipitação.

Nos níveis atmosféricos mais próximos a superfície, isto é, WD10M (Figura 2M) e WD850 (Figura 2N), verifica-se que a direção do vento apresentou uma tendência de giro anti-horário com componentes predominantes de sudoeste (em torno de 225°) antes do início da precipitação girando para sul (em torno de 180°) durante a sua ocorrência. Nos níveis atmosféricos superiores, WD500 (Figura 2O) e WD250 (Figura 2P), verifica-se uma tendência oposta de giro do vento, com sentido horário para WS10M (Figura 2Q) e WS850 (Figura 2R) verifica-se uma tendência de diminuição da intensidade dos ventos antes e durante as primeiras horas da precipitação. WS500 (Figura 2S) e WS250 (Figura 2T), entretanto, caracterizaram uma tendência oposta, isto é, de aumento. Tais características sugerem que o cisalhamento vertical entre os níveis baixos e médios simulado pelo modelo WRF pode ter favorecido um aumento do ciclo de vida das nuvens associadas à precipitação observada na rede do Sistema Alerta Rio, conforme observados nos trabalhos de Pilorz *et al.* (2016), Dennis & Kumja (2017) e Miller & Mote (2018).

Além dos padrões meteorológicos qualitativos (Figura 2), ressaltam-se os resultados quantitativos, isto é, os valores nos quais as variáveis dinâmicas e termodinâmicas

apresentavam antes e durante a ocorrência da precipitação. De forma sumarizada, verifica-se que, em média, a UM2M esteve acima de 15,8 kg/kg, UM850 acima de 12 kg/kg, UM500 acima de 3,2 kg/kg, K acima de 36°C, TT acima de 45°C, CIN acima de 30 J/kg, CAPE acima de 200 J/kg, WS10M abaixo de 3,5 m/s, WS850 abaixo de 5,5 m/s, WS500 acima de 6,5 m/s e WS250 acima de 14 m/s. Para a direção dos ventos, verificou-se que WD10M e WD850 apresentaram uma tendência de giro anti-horário do vento, enquanto que WD500 e WD250 apresentaram uma tendência de giro do vento no sentido horário.

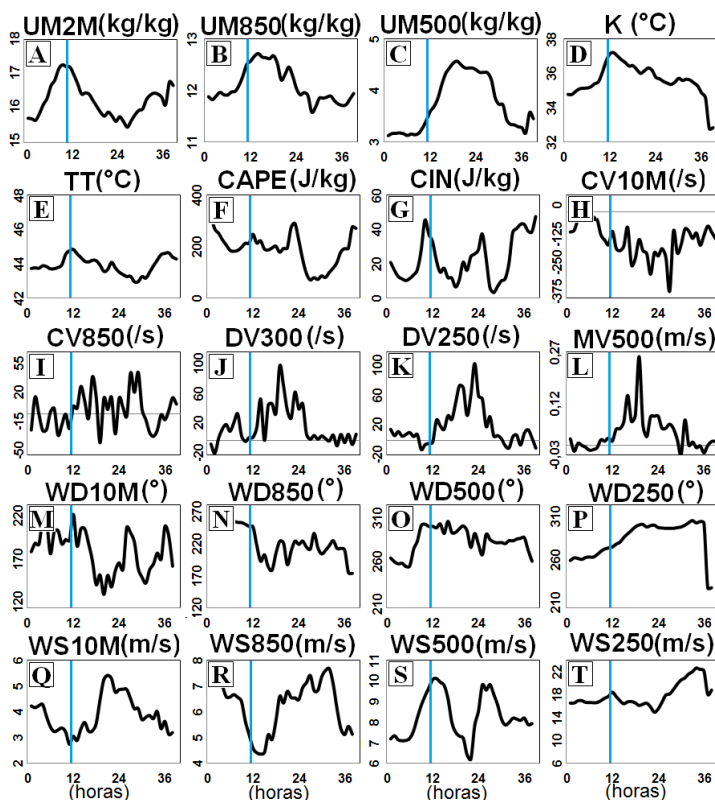


Figura 2 Evolução temporal média dos indicadores dinâmicos e termodinâmicos analisados a partir das saídas do modelo WRF. A linha vertical azul indica o início da precipitação.

A Figura 3 mostra a análise de agrupamento obtida entre os dados de chuva das estações Guaratiba, Sepetiba, Jacarepaguá/Tanque, Ilha do Governador e Urca e cada uma das variáveis dinâmicas e termodinâmicas. Através dos resultados, verifica-se que a chuva apresentou maior similaridade as variáveis de umidade específica e intensidade do vento nos baixos e médios níveis da atmosfera. Posteriormente, verifica-se uma maior similaridade com as variáveis CV850, DV250, DV300 e CV10M, seguidos pelos índices K e TT. Uma menor similaridade com relação à ocorrência da precipitação foi observada para a

CAPE e as variáveis associadas à direção do vento (WD500, WD250, WD10 M e WD850).

Através de uma análise comparativa entre a evolução temporal de cada uma das variáveis analisadas e os resultados da análise de agrupamento, verifica-se que o aumento da disponibilidade de umidade específica e diminuição da intensidade dos ventos apresentou maior similaridade com relação à ocorrência da precipitação.

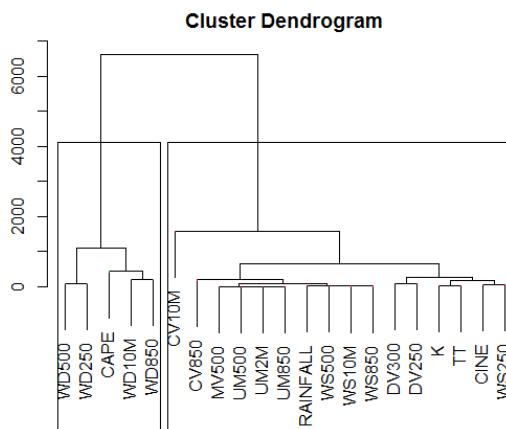


Figura 3 Análise de agrupamento entre as variáveis analisadas e a chuva para os eventos de chuvas muito fortes ocorridos na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019.

5 | ESTUDO DE CASO: EVENTO 08 DE ABRIL DE 2019

Devido aos altos acumulados pluviométricos observados no evento de chuva ocorrido em 08 de abril de 2019 (Tabela 2), um breve panorama das imagens do radar do Sumaré, assim como das regiões que apresentaram os maiores acumulados pluviométricos será apresentado. Posteriormente, uma discussão referente a algumas variáveis analisadas nesta pesquisa, calculadas através das saídas do modelo WRF, será realizada. Foram escolhidos os horários das 20h e 21h por terem apresentando os maiores registros pluviométricos horários na rede do Sistema Alerta Rio em 08/04/2019.

Através das imagens georreferenciadas do radar do Sumaré (Figura 4), verifica-se a presença de nuvens convectivas, isto é, com refletividade acima de 40 dBZ (Hagen *et al.*, 2000) atuando sobre a Zona Oeste da cidade do Rio às 17h00 do dia 08/04/2019 (Figura 4A) e através das Figuras 4B-5I que estes núcleos convectivos se intensificavam a medida que se deslocavam sobre a cidade do Rio de Janeiro. Devido à atuação destes núcleos convectivos sobre a cidade, o COR informou a mudança para o estágio operacional de Atenção (2 estágio de uma escala de 3) em toda a cidade às 18h35 deste dia.

A partir das 18h20 (Figura 4I), entretanto, verificou-se que os núcleos convectivos permaneceram estacionários sobre os bairros adjacentes ao Maciço da Tijuca favorecendo a ocorrência de grandes acumulados pluviométricos horários, com os maiores valores nas

estações do Alto da Boa Vista (89,6 mm) e Rocinha (79,4 mm) às 20h00 e nas estações Barra/Barrinha (91,4 mm), Barra/Riocentro (80,2 mm) às 21h00. Assim, devido aos altos acumulados pluviométricos previamente observados na rede do Sistema Alerta Rio, a permanência de núcleos de chuva em diferentes pontos do município e a previsão de continuidade das chuvas no decorrer da noite, o COR informou a mudança para o estágio de Crise (terceiro estágio em uma escala de três) em toda a cidade às 20h55 (23h55) deste dia.

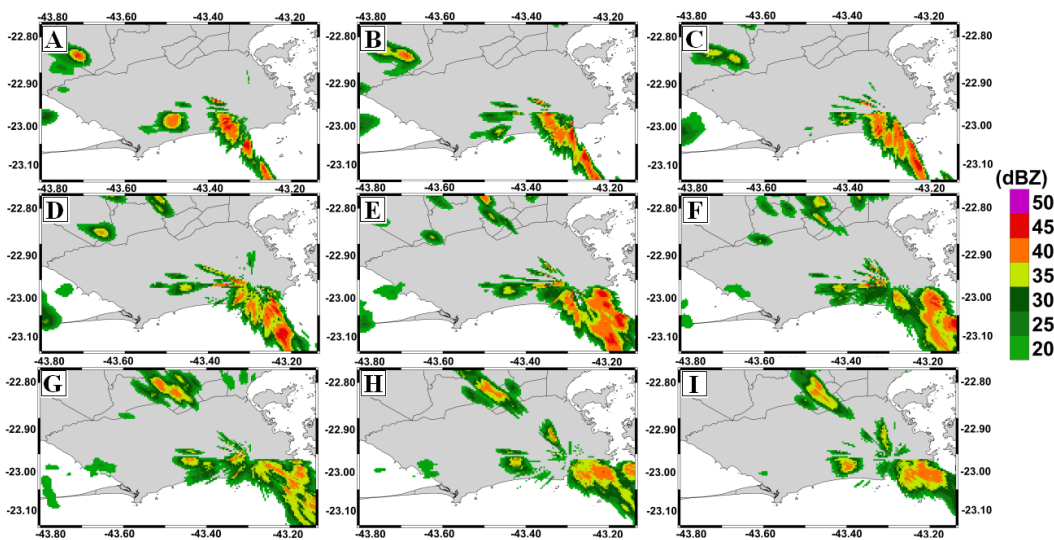


Figura 4 Imagens georreferenciadas do radar do Sumaré às A. 17h00; B. 17h10; C. 17h20; D. 17h30; E. 17h40; F. 17h50; G. 18h00; H. 18h10; I. 18h20 do dia 08/04/2019.

Através da Figura 5 verifica-se a distribuição do acumulado pluviométrico total coletado entre o início e o fim da precipitação em cada uma das 33 estações do Sistema Alerta Rio entre às 18h00 do dia 08/04/2019 e 18h00 do dia 09/04/2019. Em vermelho, destacam-se as estações que apresentaram acumulados pluviométricos acima de 300 mm, em amarelo entre 200 mm e 300 mm, em azul entre 100 mm e 200 mm e em verde abaixo de 100 mm. É possível observar que as regiões localizadas no trecho compreendido entre a região da Barra da Tijuca e Zona Sul foram os que apresentaram os maiores acumulados pluviométricos registrados.

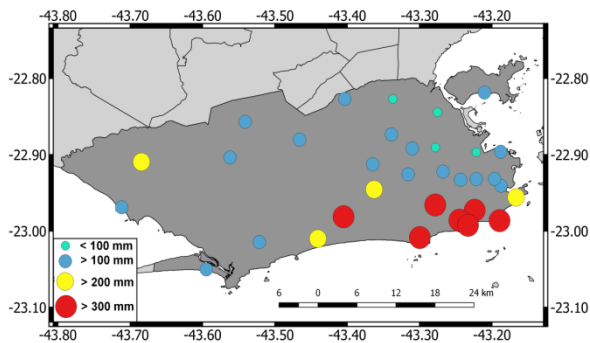


Figura 5 Acumulado pluviométrico coletado em cada uma das estações da rede pluviométrica do Sistema Alerta Rio para o evento de chuva muito forte ocorrido em 08/04/2019.

Os campos combinados de CV850 e DV250 (Figura 6), K e TT (Figura 7) e UM850 e vento em 850 hPa (Figura 8) para às 20h (esquerda) e 21h (direita) serão apresentados. Um acoplamento vertical entre CV850 e DV250 é observado (Figura 6), criando um gatilho dinâmico favorável para a formação da precipitação sobre a região do entorno do Maciço da Tijuca em ambos os horários. Através dos campos de K e TT (Figura 7), verificam-se maiores valores destas variáveis nas regiões da Barra e Zona Sul da cidade do Rio, comportamento similar também é observado na umidade específica em 850 hPa (Figura 8). Através do campo de vento em 850 hPa (Figura 8), verifica-se a presença da componente de sudoeste favorecendo o deslocamento da umidade sobre a cidade do Rio. Através destes resultados verificou-se durante o evento analisado a presença de três ingredientes atmosféricos básicos para a formação de chuvas intensas: gatilhos dinâmicos (Figura 6), instabilidade atmosférica (Figura 7) e disponibilidade de umidade (Figura 8).

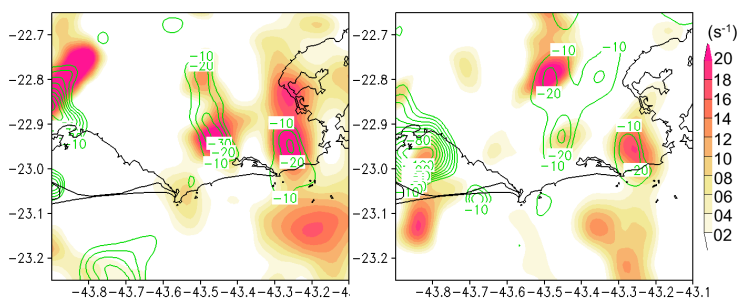


Figura 6 Convergência em 850 hPa (linhas em verde) e Divergência em 250 hPa (sombreado em rosa) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

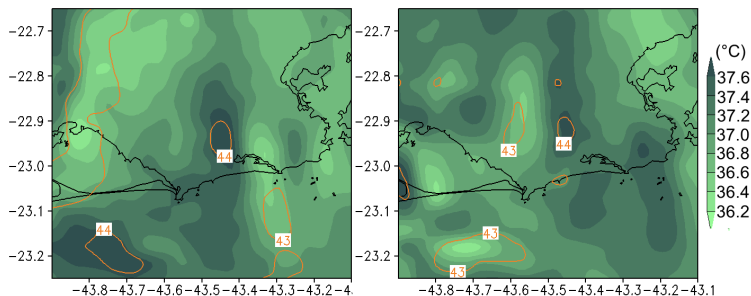


Figura 7 Índice K (tons de verde) e índice TT (linhas em laranja) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

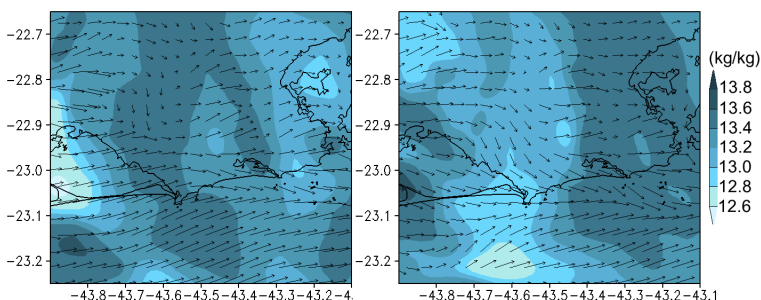


Figura 8 Umidade específica em 850 hPa (sombreado em azul) e vento em 850 hPa (setas em preto) às 20h (esquerda) e 21h (direita) simulados pelo modelo WRF.

6 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, uma análise meteorológica para seis eventos de chuvas muito fortes ocorridas na cidade do Rio de Janeiro entre fevereiro e abril de 2019 foi realizada. Avaliou-se a evolução temporal dos padrões meteorológicos de indicadores dinâmicos e termodinâmicos associados à formação da precipitação, a identificação dos sistemas atmosféricos que favoreceram à formação das chuvas e uma análise de agrupamento entre as variáveis analisadas e os registros pluviométricos.

Utilizando as saídas do modelo WRF, que roda de forma operacional no Sistema Alerta Rio, foram calculados e avaliados vinte parâmetros dinâmicos e termodinâmicos presentes começando doze horas antes do começo das chuvas e 25 horas após o início da mesma, pois este último foi a duração da chuva mais prolongada. Através dos resultados, verificou-se que, em média, as variáveis termodinâmicas apresentaram valores máximos poucas horas antes à ocorrência de precipitação, principalmente associadas à disponibilidade de umidade nos baixos níveis da atmosfera (UM2M e UM850). Os resultados das variáveis dinâmicas caracterizaram a presença de uma circulação vertical média favorável ao movimento ascendente do ar com valores negativos de convergência dos ventos nos baixos níveis da atmosfera (CV10M, CV850), e valores positivos de movimento

vertical (MV500) e divergência dos ventos (DV250), nos níveis médios e altos da atmosfera respectivamente.

Através da aplicação da análise de agrupamento entre as variáveis dinâmicas e termodinâmicas e a chuva, verificou-se que o aumento da umidade específica (UM2M) e a diminuição da intensidade dos ventos entre os baixos e médios níveis da atmosfera (WS10M, WS850 e WS500) apresentaram a maior similaridade à ocorrência de precipitação. Para um estudo de caso referente ao evento de chuva muito forte ocorrido em 08 de abril de 2019 foi possível observar a presença concomitante de gatilhos dinâmicos, instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade nos horários em que foram observadas as maiores taxas de precipitação. Apesar da pequena amostra de dados utilizada (somente seis eventos analisados), acredita-se que as informações analisadas nesta pesquisa poderão ser de grande utilidade para uma melhor identificação das condições atmosféricas associadas a eventos de chuva forte a partir das saídas numéricas do numérico WRF utilizado diariamente no âmbito do Sistema Alerta Rio.

REFERÊNCIAS

BUSUIOC, A.; BIRSAN, M.V.; CARBUNARU, D.; BACIU, M.; ORZAN, A. 2015. Changes in the large scale thermodynamic instability and connection with rain shower frequency over Romania: verification of the Clausius–Clapeyron scaling. **International Journal of Climatology**, 36:2015-2034, 2015.

DENNIS, E.J.; KUMJIAN, M.R. The impact of vertical wind shear on hail growth in simulated supercells. **Journal of Atmospheric Science**, 74:641–663, 2017.

DERECZYNSKI, C.P.; CALADO, R.N.; BODSTEIN, A. Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. **Anuário do Instituto de Geociências**, 40(2):17–30, 2017.

DERECZYNSKI, C.P.; OLIVEIRA, J.S; MACHADO, C.O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24(1):24-38, 2009.

DOSWELL, C.A. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. **Weather and Forecasting**, 2:3-16, 1987.

FOX, J. Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods. Alabama, USA, **Sage Publications**, 1997.

GEORGE, J.J. Weather Forecasting for Aeronautics. New York, **Academic Press**. 684 p. 1960.

HAGEN, M.; SCHIESSER, H.H.; DORNINGER, M. Monitoring of mesoscale precipitation systems in the Alps and the northern Alpine foreland by radar and rain gauges. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 72:87-10, 2000.

LEMONS, C.F. & CALBETE, N.O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. **Climanálise Especial, edição comemorativa de 10 anos**, 1996.

LUZ BARCELLOS, Priscila da Cunha. **Precipitações intensas na cidade do Rio de Janeiro: Probabilidade e Previsibilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós – graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 186p, 2009.

MILLER, R.C. Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Center. Technical Report 200 (Rev.). **Springfield, Air Weather Service of United States Air Force**, 190 p, 1972.

MILLER, P.W.; MOTE, T.L. Characterizing severe weather potential in synoptically weakly forced thunderstorm environments. **Natural Hazards and Earth System Science**, 18:1261–1277, 2018.

NASCIMENTO, E.L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(1):121-140, 2005.

PILORZ, W.; LASKOWSKI, I.; LUPIKASZA, E. ;TASZAREK, M. Wind shear and the strength of severe convective phenomenon preliminary results from Poland in 2011–2015. **Climate**, 4(4):51-68, 2016.

RUDOLPH, J.V.; FRIEDRICH, K. : Dynamic and thermodynamic predictors of vertical structure in radar-observed regional precipitation. **Journal of Climate**, 27:2143–2158, 2014.

SELUCHI, M.E.; CHOU, E.S.C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 98:67-77, 2009.

SILVA DIAS, M.A.F. Índices de Instabilidade para Previsão de Chuva e Tempestades Severas, 2000. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/static/downloads/apostilas/indices.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SILVA, F.P.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; MENEZES, W.F ; ALMEIDA, V.A. Atmospheric Indicators Evaluation Using WRF Numerical Model in Rainfall Events in the City of Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, 38 (2): 81-90, 2016.

SILVA, F.P.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; ROTUNNO FILHO, O.C., PIRES, G.D., SAMPAIO, R.J.; ARAÚJO, A.A.M. Synoptic thermodynamic and dynamic patterns associated with Quitandinha River flooding events in Petropolis, Rio de Janeiro (Brazil). **Meteorology and Atmospheric Physics**, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00703-018-0609-2>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SILVA, F.P.; ROTUNNO FILHO, O.C.; SAMPAIO, R.J.; DRAGAUD, I.C.D.V.; ARAÚJO, A.A.M; JUSTI DA SILVA, M.G.A.;PIRES, G.D. Evaluation of atmospheric thermodynamics and dynamics during heavy-rainfall and no-rainfall events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-017-0570-5>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SKAMAROCK W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.; HUANG, X.Y.; WANG, W.; POWERS, J.G. A description of the advanced research WRF version 3. Tech. Rep. TN-475+STR, **NCAR**, 2008.

TAJBAKSHI, S.; GHAFARIAN, P.; SAHRAIAN, F. Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 12:1-11,2012.

TAVARES, J.P.N.; MOTA, M.A.S. Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém – PA durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 27(2): 207-218, 2012.

WARD, J.H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function”. **Journal of the American Statistical Association**, 58:236-244,1963.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction**. Vol. 59. San Diego, USA, Academic Press,1995.

A

Ambiente natural 2, 23

Aparelho móvel 11

Arborização 5

B

Base 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 47, 48

C

Características atmosféricas 24

Chuvas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37

Cidades inteligentes 40, 41, 42, 43, 45, 50, 51

Cobertura vegetal natural 1

Comparação 1, 8, 20, 30

D

Desterritorialização 2

E

Ecosistema urbano 2

Elementos urbanos 1, 5

Espaço geográfico rural 1

Eventos extremos 23

G

Galileo 19

Gêmeos digitais 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51

Geodésia 9

Google Earth Pro 1, 2, 3, 6

GPS pós-processado 8, 12

I

Indicadores atmosféricos 23

Ionosfera 19

M

Machine learning 41, 47

Mapas 5, 8, 21

Metaverso 40, 41, 42, 43, 44, 49, 50, 51

Método de triangulação 15

Métodos estático 12

Mudanças urbanas 1

N

Navegação 6, 19, 21

P

Ponto de orvalho 25, 26

Precipitação 22, 23, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 48

R

Receptores 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 20

Redes de água 12

Revoluções 41

Rio de Janeiro 7, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 50

Rio Grande do Sul 8

Rio Guamirim 2

RTK 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20

S

São Paulo 1, 4, 7, 48, 50

Sistema Alerta Rio 23, 24, 26, 27, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37

Software 1, 2, 3, 6, 9, 15

T

Topografia 9, 10, 21

Trabalhos práticos 8, 12

Tripé 13

V

Variáveis dinâmicas 22, 25, 29, 31, 32, 36, 37

Vila Negri 1, 2, 3, 6

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

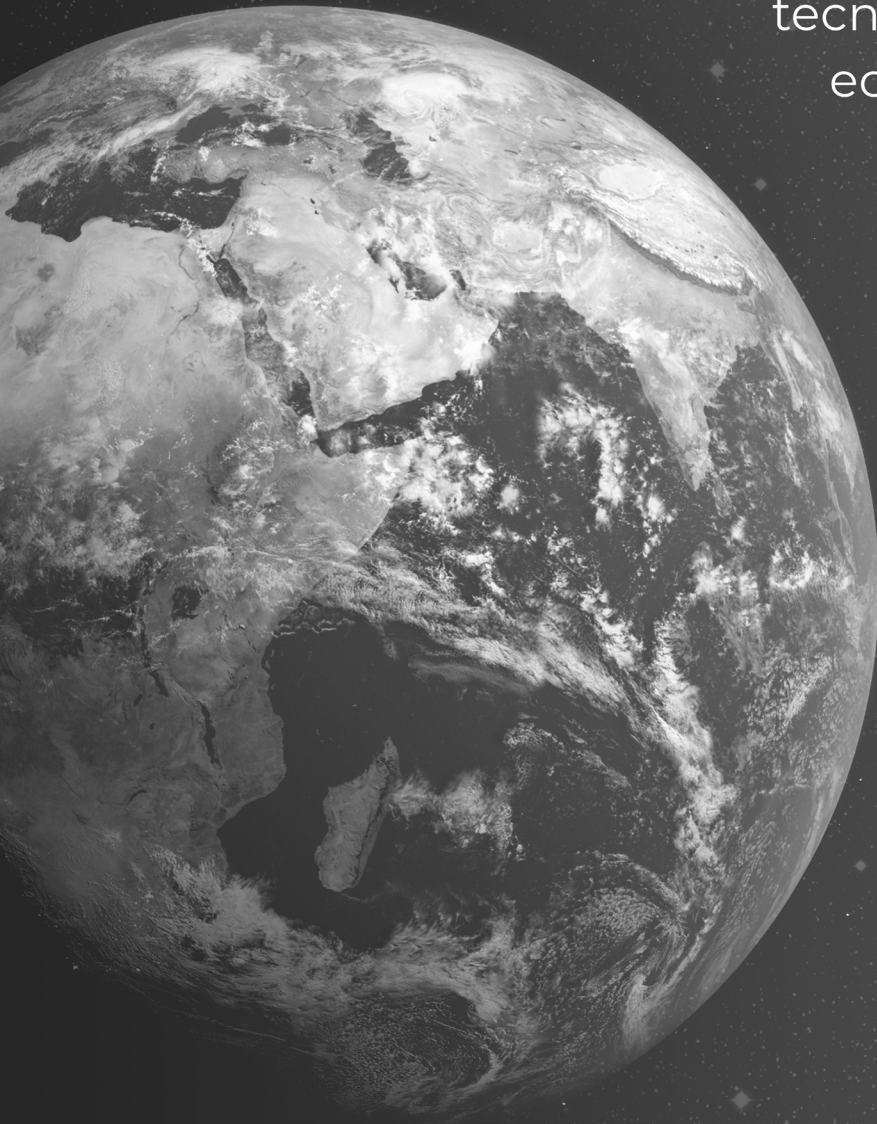
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

3

