

## **AValiação DO ÍNDICE DE INSTABILIDADE CAPE EM EVENTOS DE TRANSBORDAMENTO DO RIO QUITANDINHA – PETRÓPOLIS - RJ**

Ruan Sampaio Rodriguez<sup>1</sup>, Pedro Corrêa de Melo<sup>1</sup>, Kamila Andreia Alves Novo<sup>1</sup>, Ingrid de Souza Simões<sup>1</sup>, Fabricio Polifke da Silva<sup>2</sup>, Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>3</sup>

1. Estudante de graduação de Engenharia Civil da UFRJ

2. Estudante de doutorado do Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ / Orientador

3. Professor do Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ /Orientador

### **Resumo:**

A ocorrência de eventos de chuvas intensas e cheias produzem significativos impactos socioeconômicos. Faz-se necessário conduzir estudos relacionados ao entendimento dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos presentes na atmosfera. O objetivo do trabalho concentrou-se na estimativa de parâmetros físicos que mensuram a potencialidade da atmosfera quanto à formação de tempestades e chuvas por meio de radiossondagem. Mais especificamente, explorou-se o índice CAPE, caracterizado como uma medida verticalmente integrada do trabalho realizado pelo ambiente sobre a parcela de ar ao acelerá-la para cima. Quanto maior for o valor desse índice, mais energia a atmosfera apresenta para formação de tempestades. Calcularam-se os valores de CAPE para os eventos de transbordamento do rio Quitandinha/RJ entre 2013 e 2014. Os resultados evidenciaram que o índice CAPE variou expressivamente entre os dias analisados, caracterizando a singularidade e não linearidade da atmosfera para a formação de tempestades e chuvas.

**Autorização legal:** Os dados utilizados nesta pesquisa são públicos, não necessitando de autorização para o seu uso.

**Palavras-chave:** Chuvas Intensas, Índice CAPE, Bacia do rio Quitandinha – Petrópolis/RJ.

**Apoio financeiro:** CNPq, FAPERJ, CAPES.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** UFRJ

### **Introdução:**

O interesse sobre o meio ambiente, incluindo desastres naturais e mudanças climáticas, tem aumentado de forma acentuada durante as últimas décadas. Desastres naturais são definidos como o

resultado de fenômenos naturais extremos ou intensos que causam grandes impactos na sociedade (TOBIN e MONTZ, 1997). Segundo as informações disponibilizadas pelo banco de dados do Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (EM-DAT,2017), os prejuízos associados a desastres naturais ocorridos em todo o globo chegaram a alcançar 4 trilhões de dólares entre os anos de 1980-2015. Nesse sentido, evidencia-se que os esforços empregados na prevenção, como a modernização de técnicas e o uso de informações do tempo e do meio ambiente possibilitam a redução de perdas bilionárias na economia (SILVA, 2014).

MARCELINO (2007) relata que diversas áreas do globo estão sendo seriamente impactadas por desastres naturais, principalmente para aqueles deflagrados por fenômenos atmosféricos extremos, representados, em sua maioria, pelas tempestades severas. O autor ainda ressalta aspectos que mostram a dificuldade de erradicar tais fenômenos, visto que as tempestades fazem parte da geodinâmica terrestre, sendo responsáveis pela manutenção dos ecossistemas, abastecimento das fontes hídricas naturais, entre outras funções. Assim, as ações humanas devem ser direcionadas para a implementação de medidas mitigadoras e preventivas que possam amenizar o impacto ocasionado pelos desastres.

Inserido nesse contexto, destaca-se o município de Petrópolis, situado na região serrana do Rio de Janeiro, que, em 2011, foi atingido por um dos maiores desastres naturais ocorridos no Brasil, onde acumulados elevados de chuva ocasionaram enchentes e deslizamentos de terra totalizando mais de 100 mortes, 191 desabrigados e 6.223 desalojados. Seu entorno é marcado por um relevo altamente acidentado e rico, onde se destacam encostas abruptas, com destaque para a bacia do rio Piabanha, que abrange o município de Petrópolis e Teresópolis, entre

outros.

O rio Quitandinha, um dos principais rios de Petrópolis, atravessa uma área bastante urbanizada em seu percurso até o centro da cidade e possui alta ocorrência de transbordamentos, principalmente durante a estação chuvosa (entre outubro e março). A principal causa desses transbordamentos está associada à formação de tempestades convectivas que ocasionam a ocorrência de chuvas intensas e altamente localizadas na cidade de Petrópolis.

A potencialidade de tempestades, que geram chuvas intensas e transbordamentos de rios, está associada a padrões atmosféricos que podem ser avaliados através de informações de temperatura, umidade do ar e ventos. Tais informações são obtidas através de uma radiossonda, um equipamento que mede o perfil vertical de variáveis meteorológicas desde a superfície até a estratosfera, podendo, em alguns casos, atingir a mesosfera. Assim, por meio dos dados coletados pela radiossonda, parâmetros termodinâmicos podem ser calculados. Dentre eles, destaca-se o *Convective Available Potential Energy* – CAPE (Equação 1). O índice CAPE é uma medida verticalmente integrada do trabalho realizado pelo ambiente sobre a parcela de ar ao acelerá-la para cima. Na medida em que haja disponibilidade de umidade na atmosfera, favorece a formação de tempestades e chuvas.

$$CAPE = g \int_{NCE}^{NE} \frac{T_{vp}(z) - T_v(z)}{T_v(z)} dz \quad (1)$$

O limite inferior da integral é dado pelo nível de convecção espontânea (NCE), que é o nível a partir do qual uma parcela de ar em elevação torna-se naturalmente flutuante, isto é, menos densa que o ar ambiente, de modo que sua ascensão passa a ser livre e não forçada. O nível de equilíbrio (NE) é o nível que delimita o limiar em que uma parcela de ar naturalmente flutuante passa a ter densidade maior que a do ar ambiente, tendo, assim, sua ascensão livre. O NE tipicamente indica o topo da nuvem convectiva. Uma ilustração teórica da CAPE pode ser avaliada através da Figura 1. A região em vermelho indica a energia disponível na atmosfera para a formação da convecção, isto é, a CAPE.

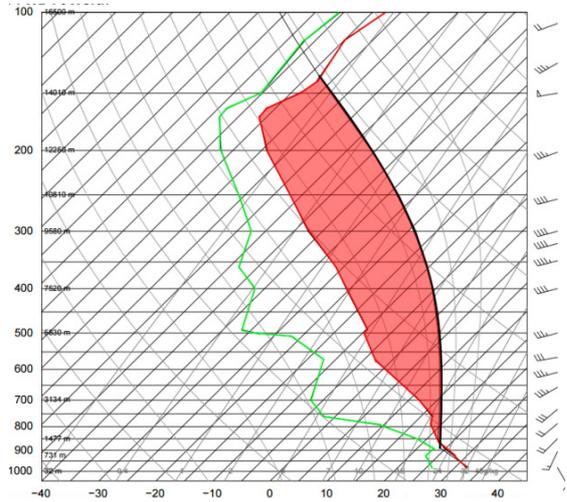


Figura 1: Ilustração teórica do índice CAPE. Fonte: Meted/UCAR (2017).

Devido à problemática de inundações bruscas do rio Quitandinha, o trabalho explorou o cálculo e correspondente avaliação dos valores do índice de instabilidade atmosférica CAPE para os dias em que houve o transbordamento da calha do rio entre 2013 e 2014.

#### Metodologia:

Inicialmente, mostra-se um evento de transbordamento do rio Quitandinha ocorrido no dia 22 de outubro de 2013 (Figura 2). Foi escolhido esse evento para ilustração, pois, dentre todos os eventos de transbordamento, foi o que apresentou maior registro de nível (2,20 m). É possível verificar, por meio da Figura 2, que o nível do rio Quitandinha teve um aumento expressivo e ultrapassou a cota de transbordamento (linha em preto – 1,20 m) em um intervalo de apenas 15 minutos (entre 3:30 h e 3:45 h), permanecendo transbordado (região em vermelho) por aproximadamente duas horas.

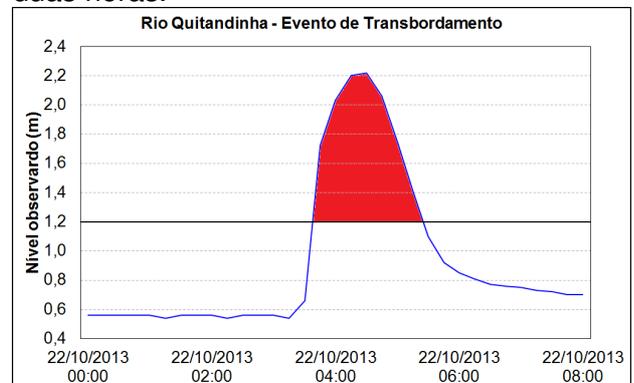


Figura 2 – Transbordamento do rio Quitandinha ocorrido em 22 de outubro de 2013.

Com a finalidade de identificar as ocorrências de transbordamento do rio Quitandinha, fez-se uma consulta ao banco de dados do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) entre os anos de 2013 e 2014. Após a realização da consulta, verificou-se que a estação Coronel Veiga realiza uma coleta de dados de chuva e do nível do rio Quitandinha em intervalo temporal de 15 minutos. A partir de uma cota limiar de nível de água, estabelecida pelo INEA, foi possível identificar os registros e horários de transbordamento do rio Quitandinha que aconteceram ao longo dos anos de 2013 e de 2014.

Após a identificação dos dias de transbordamento do rio Quitandinha, fez-se uma consulta aos dados de radiossondagem disponibilizados pela Universidade de Wyoming. Para a avaliação da potencialidade atmosférica, avaliada pelo cálculo da CAPE, foram utilizadas as sondagens lançadas pelo Galeão antes da formação de tempestades, pois, após a sua formação, não é possível avaliar as características termodinâmicas da atmosfera que favoreceram o seu desenvolvimento.

### Resultados e Discussão:

Na Tabela 1, é possível verificar os dias e hora/minuto em que foram registrados os transbordamentos do rio Quitandinha.

Tabela 1 – Transbordamentos do rio Quitandinha e horário de ocorrência	
Transbordamentos	Hora:Minuto
05/03/2013	20:30
09/03/2013	18:30
17/03/2013	16:45
22/03/2013	15:15
27/03/2013	14:30
02/04/2013	19:15
17/05/2013	10:30
22/10/2013	03:45
17/11/2013	15:30
24/11/2013	19:15
30/11/2013	16:00
05/12/2013	23:00
11/12/2013	22:45
02/01/2014	02:30
08/03/2014	00:30
28/03/2014	16:00
23/04/2014	15:30
24/04/2014	16:00

Assim, com a identificação dos eventos e horários em que houve o transbordamento do rio Quitandinha, conduziu-se a análise da frequência horária dos eventos. Através dessa frequência (Figura 3), é possível observar que o período das 16 horas foi o que apresentou maiores ocorrências de transbordamento (22 %), seguido pelo horário das 15 horas (17 %) e 19 horas (11 %) e 2 horas (11 %). A maior frequência de transbordamentos registrados a partir da tarde mostra a importância da interação entre os processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na atmosfera. Devido ao aquecimento diurno e disponibilidade de umidade, a formação de áreas de instabilidade, embebidas em sistemas de grande escala atmosférica, favorecem a ocorrência de nuvens profundas e chuvas intensas, principalmente a partir da tarde.

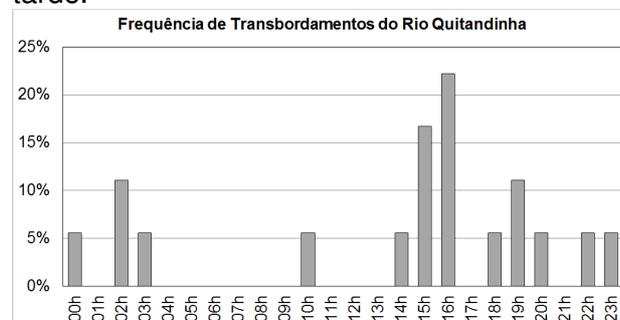


Figura 3 – Frequência horária de transbordamentos do rio Quitandinha ocorridos entre 2013 e 2014.

Após a análise das frequências horárias de transbordamento do rio Quitandinha, fez-se o cálculo e análise do índice CAPE para os dias de transbordamento do rio Quitandinha. Não foi possível calcular a CAPE para o evento de transbordamento do rio Quitandinha ocorrido no dia 17/11/2013, pois não havia dados de radiossondagem disponíveis para esse dia. Através da Figura 4 é possível observar os valores calculados da CAPE.

Dias que apresentem altos valores do índice CAPE são termodinamicamente mais favoráveis à formação de tempestades em relação aos dias em que apresentem valores mais baixos da CAPE. Entretanto, através da Figura 4, pode-se verificar que os valores do índice CAPE variaram expressivamente entre os eventos de transbordamento analisados, com um mínimo de  $2,39 \text{ J.kg}^{-1}$  no dia 27/03/2013 e um máximo de  $1739 \text{ J.kg}^{-1}$  no dia 09/03/2013. Tais ocorrências caracterizam a

singularidade e não linearidade da atmosfera para a formação de tempestades e chuvas.

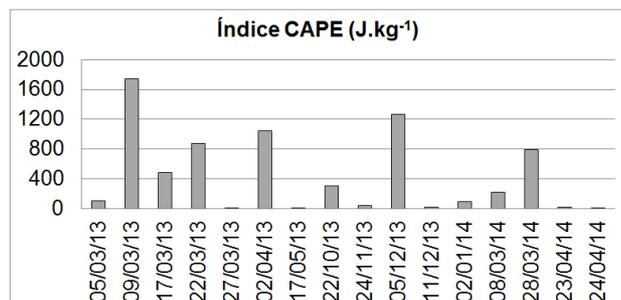


Figura 4 – Índice CAPE para os dias de transbordamento do rio Quitandinha ocorridos entre 2013 e 2014.

### Conclusões:

No presente trabalho, foi feito um levantamento dos horários em que foram observados os transbordamentos do rio Quitandinha, situado no município de Petrópolis, inserido na bacia do rio Piabanha, região montanhosa do Rio de Janeiro, entre 2013 e 2014. A análise dos dados revelaram que a maior frequência de transbordamentos ocorreu entre as 15 horas e 17 horas. Acredita-se que tais ocorrências estejam associadas à presença de sistemas meteorológicos que, somados aos efeitos locais de aquecimento diurno, disponibilidade de umidade e orografia, favoreceram a formação de nuvens convectivas no fim da tarde sobre o município de Petrópolis.

O índice CAPE caracteriza uma medida verticalmente integrada do trabalho realizado pelo ambiente sobre a parcela de ar ao acelerá-la para cima. Na medida em que há disponibilidade de umidade na atmosfera, criam-se as condições para a formação de tempestades e chuvas. Com efeito, dias que apresentem altos valores do índice CAPE são termodinamicamente mais favoráveis à formação de tempestades em relação aos dias em que apresentem valores mais baixos da CAPE.

Os valores do índice CAPE calculados para os dias em que houve o transbordamento do rio Quitandinha variaram expressivamente entre si, caracterizando a particularidade e não linearidade da atmosfera para a formação de tempestades e chuvas. Como trabalhos futuros, serão analisados outros parâmetros termodinâmicos que são também indicativos da potencialidade da atmosfera para formação de tempestades e chuvas.

### Referências bibliográficas

EM-DAT– Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>>. Acesso em: 23 mar.2017

MARCELINO, E. V., 2007: Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos básicos. Santa Maria: CRS/INPE, 20p.

Meted/UCAR – Meteorological Education of University Corporation for Atmospheric Research. Disponível em: <<https://www.meted.ucar.edu/index.php>>. Acesso em: 23 mar.2017.

SILVA, F.P., 2014: Chuvas Severas no Rio de Janeiro: Avaliação de Indicadores dos Processos Físicos Associados. D. Msc. Instituto de Geociências. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TOBIN, G.A; MONTZ, B.E., 1997: Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

Universidade de Wyoming. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 23 mar.2017.