



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

JOSÉ ARTHUR ARAÚJO DE LUCENA

**ESTUDOS SOBRE A VARIABILIDADE DO CAMPO ELÉTRICO ATMOSFÉRICO
NAS LOCALIDADES DE CAMPINA GRANDE E LAGOA SECA, PB**

CAMPINA GRANDE

2021

JOSÉ ARTHUR ARAÚJO DE LUCENA

**ESTUDOS SOBRE A VARIABILIDADE DO CAMPO ELÉTRICO ATMOSFÉRICO
NAS LOCALIDADES DE CAMPINA GRANDE E LAGOA SECA, PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como partes do requisito para a obtenção do título de graduado em Licenciatura Plena em Física.

Área de concentração: Física da Atmosfera.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni.

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L935e Lucena, Jose Arthur Araujo de.

Estudos sobre a variabilidade do campo elétrico atmosférico nas localidades de Campina Grande e Lagoa Seca, PB [manuscrito] / Jose Arthur Araujo de Lucena. - 2021.
27 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni ,
Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Campo elétrico atmosférico. 2. Circuito elétrico global. 3.
Sensor de campo elétrico. I. Título

21. ed. CDD 537.6

JOSÉ ARTHUR ARAÚJO DE LUCENA

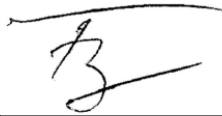
ESTUDOS SOBRE A VARIABILIDADE DO CAMPO ELÉTRICO ATMOSFÉRICO NAS
LOCALIDADES DE CAMPINA GRANDE E LAGOA SECA, PB

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como partes do requisito para a obtenção do título de graduado em Licenciatura Plena em Física.

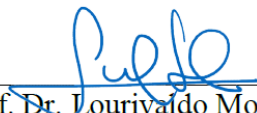
Área de concentração: Física da Atmosfera.

Aprovada em: 04/06/2021.

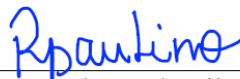
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Celso Perin Bertoni (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Lourivaldo Mota Lima
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Ana Roberta da Silva Paulino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me dar forças para concluir essa jornada da minha vida, pois não foi fácil.

Aos meus pais, minha irmã e meus avós que sempre me incentivaram a estudar e sempre me apoiaram e me deram forças nas decisões que tomei nessa minha caminhada.

A minha namorada que teve paciência comigo nos meus muitos momentos de ausência, pois os estudos não permitia que nos vicosmos sempre.

Quero agradecer também ao meu orientador Dr. Fernando Bertoni, pela dedicação e ajuda desde dos trabalhos de iniciação científica até o TCC.

Aos meus colegas da universidade que passaram boa parte do tempo comigo e me ajudaram a chegar até aqui, e os meus colegas fora dela, que me ajudavam a desestressar e espairecer a mente.

RESUMO

Neste trabalho, apresentam-se curvas médias mensais da variação do campo elétrico atmosférico de tempo bom. As medidas foram obtidas entre os anos de 2017 e 2018 para os meses de abril a setembro. Para tal, utilizamos dados de sensores de campo elétrico instalados nas cidades de Campina Grande e Lagoa Seca, estado da Paraíba. Esses sensores fazem parte de uma rede chamada de Atmospheric Electric Field Network in South America (AFINSA). Com os dados obtidos neste trabalho foi possível observar o comportamento do campo elétrico atmosférico em períodos de equinócio e inverno, e diferenças de ano a ano, bem como caracterizar a variação do campo elétrico atmosférico em médias referentes aos meses do ano.

Palavras-chave – Campo Elétrico Atmosférico. Circuito Elétrico Global. Sensor de Campo Elétrico.

ABSTRACT

Monthly average curves of the atmospheric electric field variation during fair weather days are presented. The measurements were obtained between the years 2017 and 2018 for the months of April to September. To this end, we have used data obtained by electric field sensors, located in the cities of Campina Grande and Lagoa Seca, state of Paraíba. These sensors are part of a network called the Atmospheric Electric Field Network in South America (AFINSA). With the data obtained in this work, it was possible to observe the behavior of the atmospheric electric field in periods of equinox and winter and differences from year to year, as well as to characterize the variation of the atmospheric electric field in averages referred to the months of the year.

Keywords - Atmospheric Electric Field. Global Electric Circuit. Electric Field Sensor.

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 9 |
| 2.1 | Fatores que afetam o campo elétrico atmosférico | 12 |
| 2.2 | Eventos solares | 13 |
| 2.3 | Raios Cósmicos | 13 |
| 2.4 | Concentração de aerossóis | 14 |
| 3 | INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA | 15 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 18 |
| 5 | CONCLUSÕES | 25 |
| | REFERÊNCIAS | 26 |

1 INTRODUÇÃO

Foi constatado durante o século XVIII que em regiões de tempo bom há a existência de um campo elétrico vertical na atmosfera terrestre (PARSONS e MAZEAS, 1753, apud TACZA, 2015). Esse campo elétrico aponta em direção ao centro do planeta (ROBLE e TZUR, 1986, apud TACZA, 2015). Recentemente Harrison e Nicoll (2018) apresentaram alguns requisitos para que se possa considerar um dia como sendo de tempo bom, que são: a inexistência de hidrometeoros, aerossol e neblina, também figura nessa lista dias com coberturas mínimas de nuvens cumuliformes e nenhuma nuvem do tipo estrato com sua base abaixo de 1500 m, como velocidade do vento superficial entre 1 m/s e 8 m/s. Neste trabalho, propôs-se um critério simplificado, pelo qual utilizam-se dias em que não há ocorrência de descargas elétricas atmosféricas em um raio de 30 km do sensor de campo elétrico atmosférico.

Na tentativa de obter mais informações sobre esse campo elétrico atmosférico de tempo bom, o Instituto Carnegie de Washington realizou alguns cruzeiros ao redor do mundo no início do século XX medindo o valor desse campo elétrico a cada hora no ar sobre o oceano. A análise dos resultados medidos no ar oceânico a bordo navio mostraram que o valor do campo elétrico atmosférico de tempo bom só dependia apenas da hora universal (UT), independentemente da posição onde era realizada a medida. Tal vínculo com a hora universal é conhecido como a curva de Carnegie (HARRISON, 2013). Apesar de todos esses estudos, algumas dúvidas de como esse campo elétrico era mantido e a sua origem, ainda persistiam.

Como solução para esse fenômeno, Wilson em 1929 sugeriu que o campo elétrico atmosférico de tempo bom se originava e era mantido por tempestades e nuvens de chuva em algumas regiões do planeta. Essa relação entre eles faz parte do conceito do circuito elétrico atmosférico global (RYCROFT et al., 2000).

As tempestades que ocorrem em todo planeta, agindo juntas fornecem uma grande quantidade de carga para a condutora ionosfera. Essas cargas chegam até a ionosfera por meio de correntes ascendentes que saem do topo das nuvens de tempestades e fluem por meio da condutora ionosfera até as regiões de tempo bom. Nessas regiões, correntes descendentes fluem da ionosfera terrestre para o solo. Devido à alta condução do solo, correntes horizontais fluem pela superfície do planeta até as regiões de tempestade que ocorrem em todo o mundo, fechando o circuito. Esse fenômeno é conhecido como circuito elétrico atmosférico global (RYCROFT et al., 2000).

Ainda não existe uma compreensão exata entre os mecanismos que geram a energia elétrica do circuito elétrico atmosférico global e a curva de Carnegie, por isso é necessário um monitoramento contínuo do campo elétrico atmosférico em diferentes áreas da Terra (RYCROFT et al., 2012). Mas a interpretação desses dados não é tão simples, pois o campo elétrico atmosférico é bem sensível a condições meteorológicas.

Fatores atmosféricos tal como ventos e raios podem a influenciar nos valores do campo elétrico atmosférico (HARRISON e NICOLL, 2018). Porém, o campo elétrico atmosférico também pode sofrer alterações devido a outros elementos como à atividade solar, por meio do seu intenso campo magnético e das partículas originadas nos eventos de prótons e, os raios cósmicos, através das partículas altamente energéticas. Esses dois fatores são capazes de ionizar a atmosfera provocando alterações nesse campo elétrico e, conseqüentemente, no circuito elétrico atmosférico global (HARRISON e USOSKIN, 2010; RYCROFT et al., 2000).

O presente trabalho trata de um estudo a respeito de variabilidades do campo elétrico atmosférico, utilizando-se medidas de sensores de campo elétrico instalados nos Campi da UEPB de Campina Grande e Lagoa Seca, os quais fazem parte da rede AFINSA (descrita mais à frente). Os resultados obtidos nesses estudos possibilitarão contribuir com o atual estágio de conhecimentos, avaliar e mitigar os efeitos ocasionados por fenômenos passíveis de previsão e modelagem.

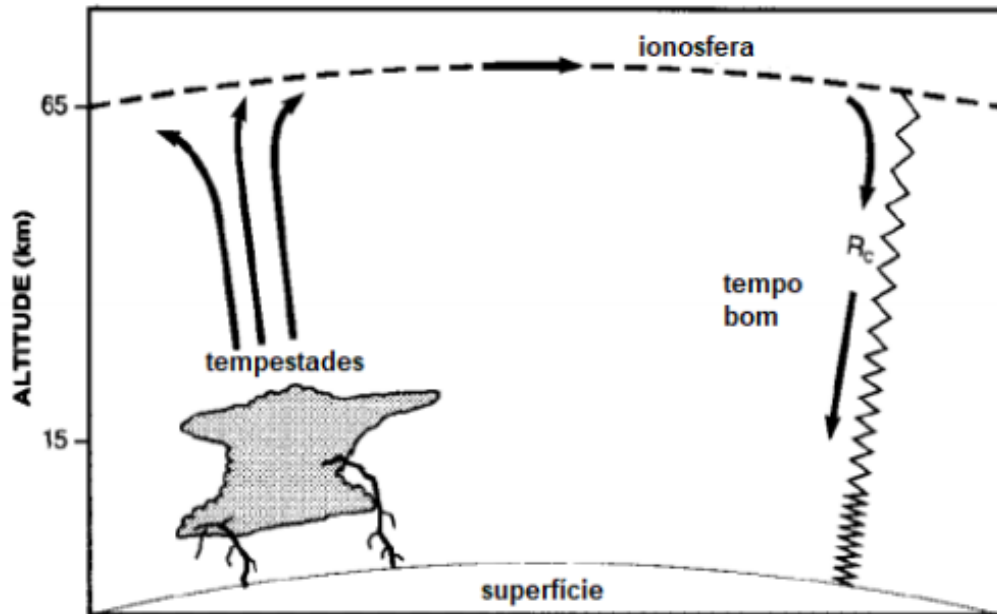
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O planeta está envolvido por um campo elétrico em sua atmosfera. Porém, nas regiões que apresentam características como a ausência hidrometeoros, aerossol e neblina, assim como, mínimas nuvens cumuliforme e nenhuma nuvem do tipo estrato com sua base abaixo de 1500 m e, a velocidade do vento superficial entre 1 m/s e 8 m/s esse campo elétrico é chamado de campo elétrico de tempo bom (HARRISON e NICOLL, 2018). Em 1929, Wilson trouxe uma explicação. Para ele, a Terra se comportava como um gigantesco capacitor esférico, cujas placas são formada pela ionosfera e a superfície da Terra. O ar que fica entre essas duas camadas se comportaria como o dielétrico desse capacitor, uma vez que, sua condutividade é muito baixa (RAKOV e UMAN, 2003, apud MEDINA, 2006).

Em meio a suas medições do campo elétrico atmosférico, em regiões de tempo bom, no trabalho de Wilson foi identificada uma densidade de corrente vertical (WILSON, 1906, apud OLIVEIRA, 2020). Posteriormente, constatou-se que essa densidade de corrente de fuga era da ordem de 2×10^{-12} A/m². Se multiplicarmos esse valor por todas as áreas de tempo bom do planeta, obtemos um valor de 1020 A. O que é suficiente para descarregar o capacitor Terra-Ionosfera em apenas alguns minutos (RYCROFT et al., 2000).

Para resolver esse problema, propôs-se que as tempestades e seus raios atuariam como baterias, gerando corrente e alimentando o circuito elétrico atmosférico global trazendo cargas negativas para a superfície da Terra e levando uma carga positiva equivalente até a ionosfera (MACGORMAN et al, 1998; RYCROFT et al., 2012). Com isso, o capacitor se mantém sempre carregado, pois os dois efeitos se compensam, como mostra a Figura 1:

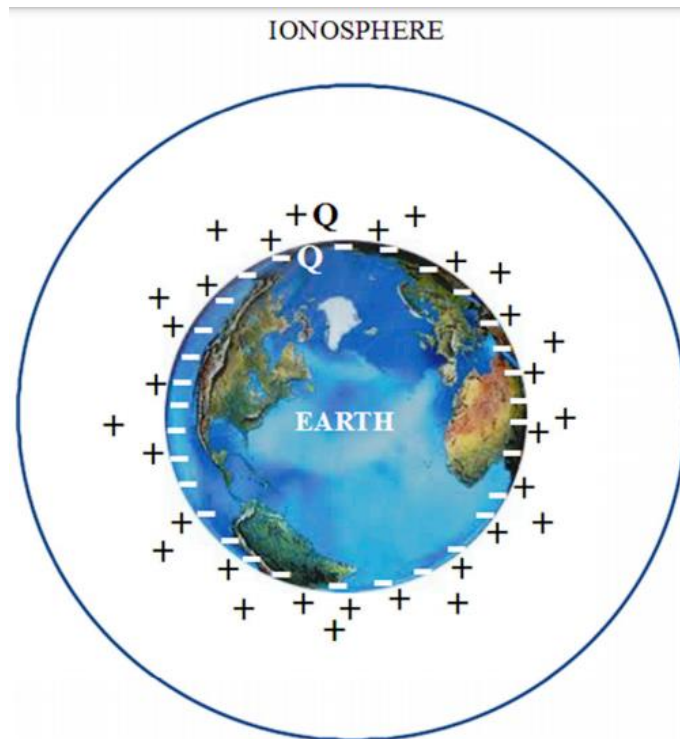
Figura 1 – Circuito Elétrico Atmosférico Global.



Fonte: MacGorman et al. (1998, com adaptações).

Um conceito mais recente a respeito de como é formado o circuito elétrico atmosférico global foi proposto por Haldoupis et al. (2017). Nesse conceito, é levado em consideração que o campo elétrico atmosférico diminui rapidamente com altitude, por causa do aumento muito rápido da condutividade da atmosfera com a altura. Dessa forma, os autores consideram a estrutura do novo capacitor esférico como sendo formado pela superfície da Terra com uma carga negativa e, uma segunda placa formada pela camada esférica de ar na baixa atmosfera, com uma carga espacial igual à da superfície terrestre, porém positiva, mas distribuída de forma irregular, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Capacitor esférico Terra-atmosfera.



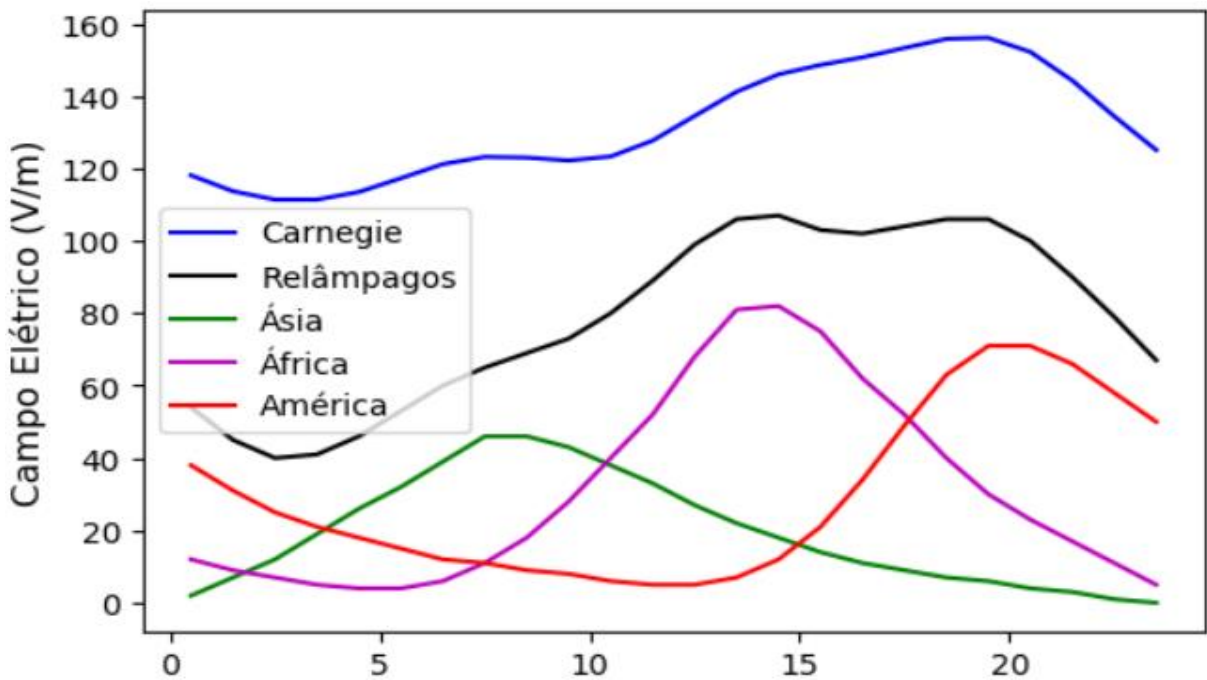
Fonte: Haldoupis et al. (2017).

Ainda no século XX, a bordo de um navio o campo elétrico atmosférico foi medido a cada hora ao redor do mundo pelo Instituto Carnegie de Washington com o objetivo de obter o valor desse campo elétrico em condições de tempo bom com a menor interferência possível de elementos externos como por exemplo, a presença de aerossóis. Depois dos resultados serem analisados, ficou constatado que o campo elétrico de tempo bom tinha uma dependência apenas com a hora universal e não com a posição em que o navio se encontrava. Essa relação existente é conhecida como a curva de Carnegie (HARRISON, 2013).

As variações de tempestades elétricas que ocorrem nos continentes são responsáveis pelas variações de tempo bom na curva de Carnegie. De acordo com Figura 3, podemos observar que a curva de Carnegie apresenta dois picos, um por volta das 14h UT e outro um pouco maior às 20h UT, que é o seu pico máximo. O primeiro coincide diretamente com o máximo de atividade vista na África e o segundo com máximo de atividade vista na América. Diante disso, podemos notar que os continentes africano e americano são os que exercem maior influência na curva de Carnegie. A forte influência desses continentes está relacionado com a grande quantidade de florestas tropicais que existe nessas regiões, que através do seu clima úmido e quente contribui para que um grande número de tempestades elétricas surjam nesses

locais. Por outro lado, o continente asiático mesmo sendo o maior continente do mundo em termos territoriais, não exerce muita influência na curva de Carnegie, sua influência é praticamente a metade do que a da África e a da América. Isso acontece devido à baixa quantidade de tempestades elétricas que ocorre no continente (WHIPPLE, 1929, apud OLIVEIRA, 2020).

Figura 3 – Curva de Carnegie (curva em azul) e contribuições continentais da América (curva em vermelho), da África (curva em lilás), da Ásia (curva em verde) e contribuições de relâmpagos ao redor do globo (curva em preto).



Fonte: Oliveira (2020).

2.1 Fatores que afetam o campo elétrico atmosférico

As curvas com medidas de campo elétrico atmosférico trazem complexidade em sua interpretação, pois são muito suscetíveis a variações meteorológicas, juntamente com qualquer outro agente que altere a condutividade atmosférica. Nesta seção apresentam-se alguns fatores que podem causar a alteração na curva do campo elétrico atmosférico.

2.2 Eventos solares

O sol pode liberar grandes quantidades de energia através das explosões solares. Essas explosões podem liberar uma energia superior a 10^{25} J e podem expelir para o meio planetário uma quantidade de partículas superior a 10^{13} kg (LIN et al., 2003).

Medidas foram realizadas em duas estações durante o evento de explosão solar, sendo uma com 2964 e outra 1780 metros de altura, ambas em latitude de 48° . Foi observado um aumento acima da média no valor do campo elétrico atmosférico no dia da explosão, durando até o quarto dia após o evento solar. Para a estação de menor altitude o aumento foi de 25%, já para a estação de maior altitude o aumento foi entre 50% e 60% (REITER, 1967, apud TACZA, 2015).

Observações realizadas por Cobb (1967) no Havaí em latitude de 20° N e altitude de 3400 m, mostraram as mesmas evidências. O estudo sugere que os melhores resultados sobre a influência do clima espacial no circuito elétrico atmosférico global são obtidos em lugares mais altos, uma vez que, nessas alturas a resistividade elétrica é menor, com isso a movimentação de cargas entre a ionosfera e o solo ocorre com mais facilidade.

O campo elétrico atmosférico também pode sofrer mudanças devido a eventos de prótons solares como mostra Farrell e Desch (2002). Os autores apresentaram um modelo, no qual, o mesmo aponta que os eventos de prótons solares podem aumentar a condutividade atmosférica acima de regiões com nuvens de tempestades e, conseqüentemente, afetando o campo elétrico atmosférico de tempo bom na superfície terrestre, uma vez que, esse aumento na condutividade permite que mais corrente flua para o circuito elétrico atmosférico global.

2.3 Raios Cósmicos

Durante os períodos em que há explosões solares, os raios cósmicos galácticos encontram uma maior dificuldade para chegar até a Terra, pois a velocidade do vento solar é aumentada, este fenômeno é conhecido como *Decréscimo Forbush* (CANE, 2000).

Quando essas partículas interagem com a média e a baixa atmosfera terrestre, modificam sua condutividade elétrica. A química da atmosfera é mudada de acordo com o fluxo dessas partículas (RYCROFT et al., 2000). As alterações feitas na atmosfera por meio dos raios cósmicos fazem com que haja uma redistribuição do fluxo de corrente do circuito elétrico atmosférico global, além da densidade de corrente vertical. Durante um período de baixa atividade solar, ou seja, um maior fluxo de raios cósmicos, nota-se uma diminuição do campo

elétrico atmosférico e um aumento na densidade de corrente na superfície (HARRISON e USOSKIN, 2010).

2.4 Concentração de aerossóis

Com um diâmetro inferior a $10\mu\text{m}$, os aerossóis podem permanecer suspensas no ar por um longo período. Essas pequenas partículas podem ser geradas por processos naturais, tal como no caso das partículas de poeira dos desertos, sal marinho, vulcões, entre outros. Mas, os aerossóis também podem ser produzidos por atividade humana, como é o caso do revolvimento da terra na agricultura, gases liberados pelas indústrias, queima de combustíveis fósseis, entre outras. Essas partículas têm propriedades resistivas elétricas, podendo provocar diminuição da condutividade elétrica na atmosfera, afetando diretamente o circuito elétrico atmosférico global e conseqüentemente o campo elétrico atmosférico de tempo bom. Com isso, dados de campo elétrico atmosférico têm sido relacionados com índices de poluição atmosférica (COBB et al., 1970; GURMANI et al., 2018).

3 INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA

O presente trabalho utiliza dados de sistema dotados de sensores de campo elétrico do tipo EFM-100, fabricados pela empresa Boltek (EUA), especializada na elaboração de aparelhos capazes de monitorar a atividade elétrica na atmosfera. Tais sistemas possuem capacidade de monitorar de maneira contínua o campo elétrico. O EFM-100, apresentado na Figura 4, consegue coletar esses dados com uma resolução temporal de meio segundo (TACZA, 2015). Há, atualmente, dois desses monitores em operação em Campi da UEPB: um em Campina Grande (desde novembro de 2016) e outro em Lagoa Seca (desde maio de 2017). Esses dois instrumentos foram instalados como parte de acordo de cooperação científica firmado entre UEPB e Universidade Presbiteriana Mackenzie, de São Paulo, configurando-se como duas estações de observação da rede denominada *Atmospheric Electric Field Network in South America* (AFINSA).

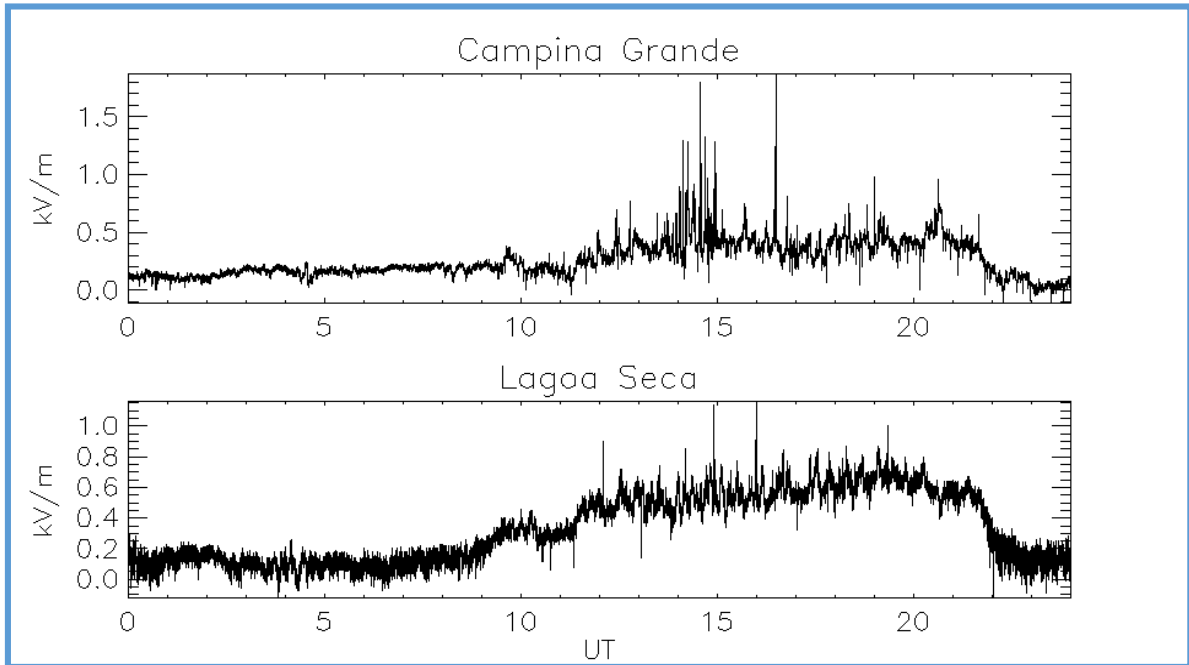
Figura 4 – Imagens do sensor de campo elétrico EFM-100 (canto superior direito), instalado sobre um prédio localizado no Campus de Lagoa Seca; sistema de gerenciamento de dados (canto inferior direito).



Fonte: Acervo Próprio.

Alguns exemplos de curvas com variações diárias do campo elétrico atmosférico são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Comportamento diário das curvas de campo elétrico atmosférico medido durante dias de tempo bom nas localidades de Campina Grande (22/02/2017) e Lagoa Seca (02/09/2017).



Fonte: Acervo Próprio.

Devido a alguns efeitos locais, como é o caso dos poluentes na atmosfera, as medidas diárias de campo elétrico atmosférico de tempo bom exibem um comportamento um pouco diferente em comparação com a curva de Carnegie. O monitoramento contínuo é necessário para compreender o comportamento dessas curvas.

O EFM-100 detecta descargas elétricas atmosféricas e as registra em um arquivo, incluindo-se a informação da distância em que ocorreram. Neste trabalho, selecionaram-se dias nos quais não houve queda de raios, como uma maneira alternativa aos critérios sugeridos por Harrison e Nicoll (2018), visando um modo mais simplificado, pois não havia dados meteorológicos disponíveis à época.

Analisando-se as curvas de variação diária do campo elétrico atmosférico em condições de tempo bom, segundo esse critério simplificado, foram obtidas curvas de média mensais, no intuito de estabelecer as suas principais características. O processamento de dados teve a elaboração de rotinas específicas, as quais foram escritas na plataforma *Interactive Data Language* (IDL).

Para elaboração das curvas procedeu-se da seguinte forma: o sensor fornece uma medida de campo elétrico atmosférico a cada meio segundo, daí utilizam-se todos os 7200 valores

registrados pelo sensor em uma hora e se faz uma média desses valores, conseqüentemente temos uma média horária. Em seguida utilizou-se o mesmo processo para as demais horas daquele mesmo dia, adotado como de tempo bom, segundo o critério simplificado utilizado e, assim são obtidas as curvas com médias horárias representada pelas linhas coloridas mostradas nas Figuras 6 a 9.

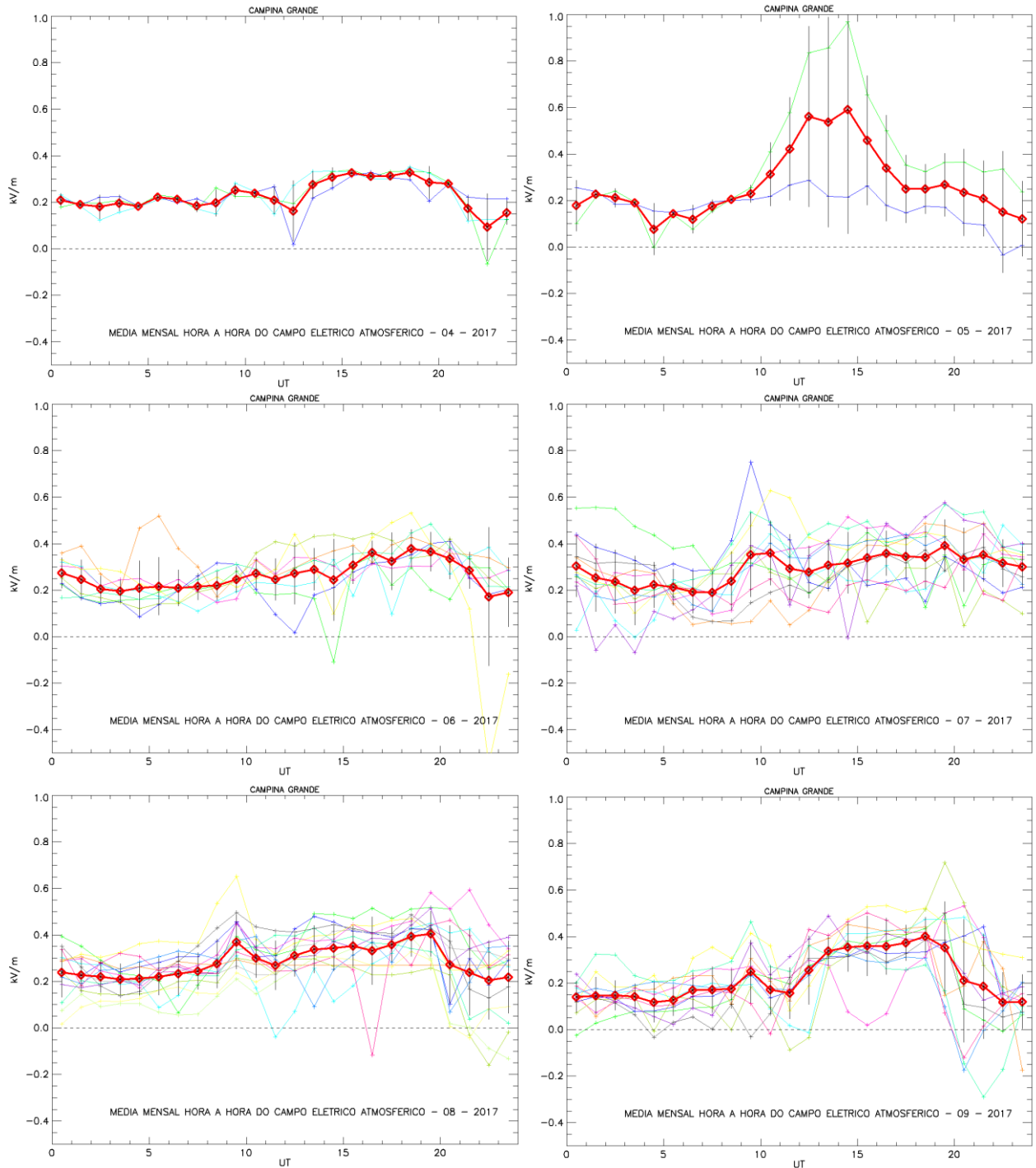
Para elaboração das curvas de dias compostos das médias horárias referentes aos meses, mostradas nas Figuras 6, 7, 8 e 9, foram utilizados os valores de cada média horária de cada dia de tempo bom do mês. Em seguida, calculou-se uma média desses valores, obtendo-se, portanto, um valor médio mensal do campo elétrico daquela hora, daquele determinado mês e, conseqüentemente a curva do dia composto das médias horárias referente ao mês, dos valores de campo elétrico atmosférico de tempo bom (curvas na cor vermelho+diamante), juntamente com a representação dos dias que entraram nas médias compostas (curvas coloridas) e das barras de desvio padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentadas as figuras com curvas de dias compostos das médias horárias referentes aos meses, com medidas de intensidade de campo elétrico atmosférico em hora universal (UT, do inglês *Universal Time*, $UT \cong \text{hora local} + 3\text{h}$). Essas medidas foram obtidas nas estações de Campina Grande e Lagoa Seca.

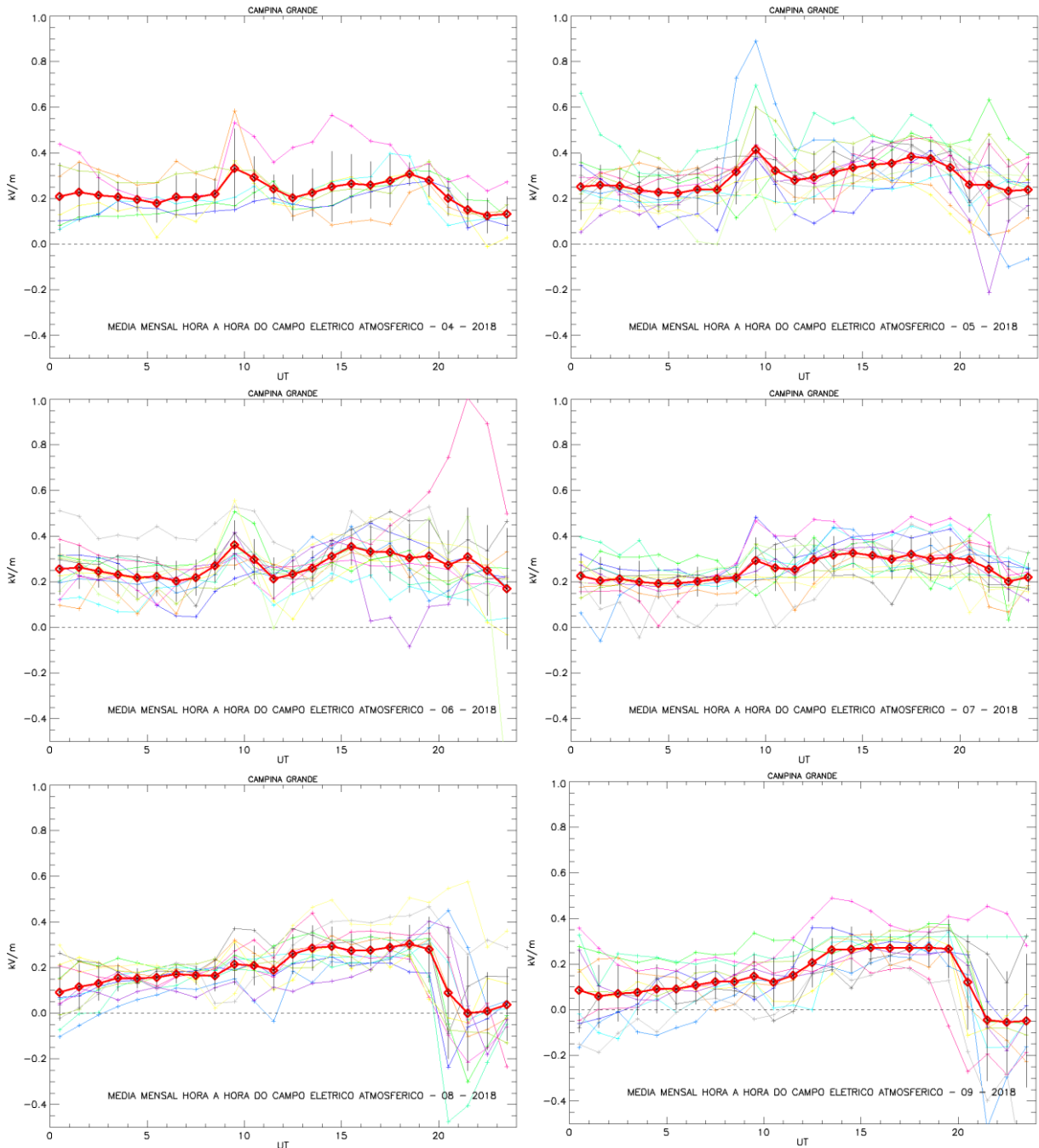
As curvas exibidas nas Figuras 6 e 7 foram calculadas para os meses entre abril e setembro dos anos de 2017 e 2018, na estação de Campina Grande. Temos na cor vermelho+diamante, os dias compostos das médias horárias referentes aos meses, as quais são exibidas juntamente com as curvas de valores com médias horárias de cada um dos dias que, por sua vez, entraram na média mensal (representados em diferentes linhas contínuas coloridas), escolhidos por serem dias de tempo bom de acordo com o critério já citado acima.

Figura 6 – Dias compostos das médias mensais hora a hora (linhas contínuas em vermelho+diamantes) referentes aos meses entre abril e setembro, das medidas de campo elétrico atmosférico, juntamente com curvas diárias representando as respectivas média horárias (linhas contínuas coloridas, o número de linhas determina o número de utilizados nos cálculos), para o ano de 2017, em Campina Grande.



Fonte: Acervo Próprio.

Figura 7 – Dias compostos das médias mensais hora a hora (linhas contínuas em vermelho+diamantes) referentes aos meses entre abril e setembro, das medidas de campo elétrico atmosférico, juntamente com curvas diárias representando as respectivas média horárias (linhas contínuas coloridas, o número de linhas determina o número de utilizados nos cálculos), para o ano de 2018, em Campina Grande.



Fonte: Acervo Próprio.

É possível observar no ano de 2017, na estação de Campina Grande, que há poucos dias de tempo bom, segundo o critério simplificado utilizado, durante os meses de abril e maio. Já para os meses de junho, julho, agosto e setembro esses números aumentam. Esse resultado é

intrigante, uma vez que, esses são os meses mais chuvosos e, portanto, esperava-se mais atividade de descargas elétricas atmosféricas. Para esses meses, as curvas seguem um padrão de comportamento similar com máximo da curva de média mensal por volta das 19:00 UT. A exceção fica pelo mês de maio que tem o seu valor máximo próximo das 15:00 UT, isso se deve pelo fato de que o mês de maio ter tido apenas dois dias de tempo bom, sendo um deles com uma grande perturbação, influenciando diretamente a curva média mensal. Essa perturbação pode ter sido causada por fatores como cobertura de nuvens, aerossóis, entre outros.

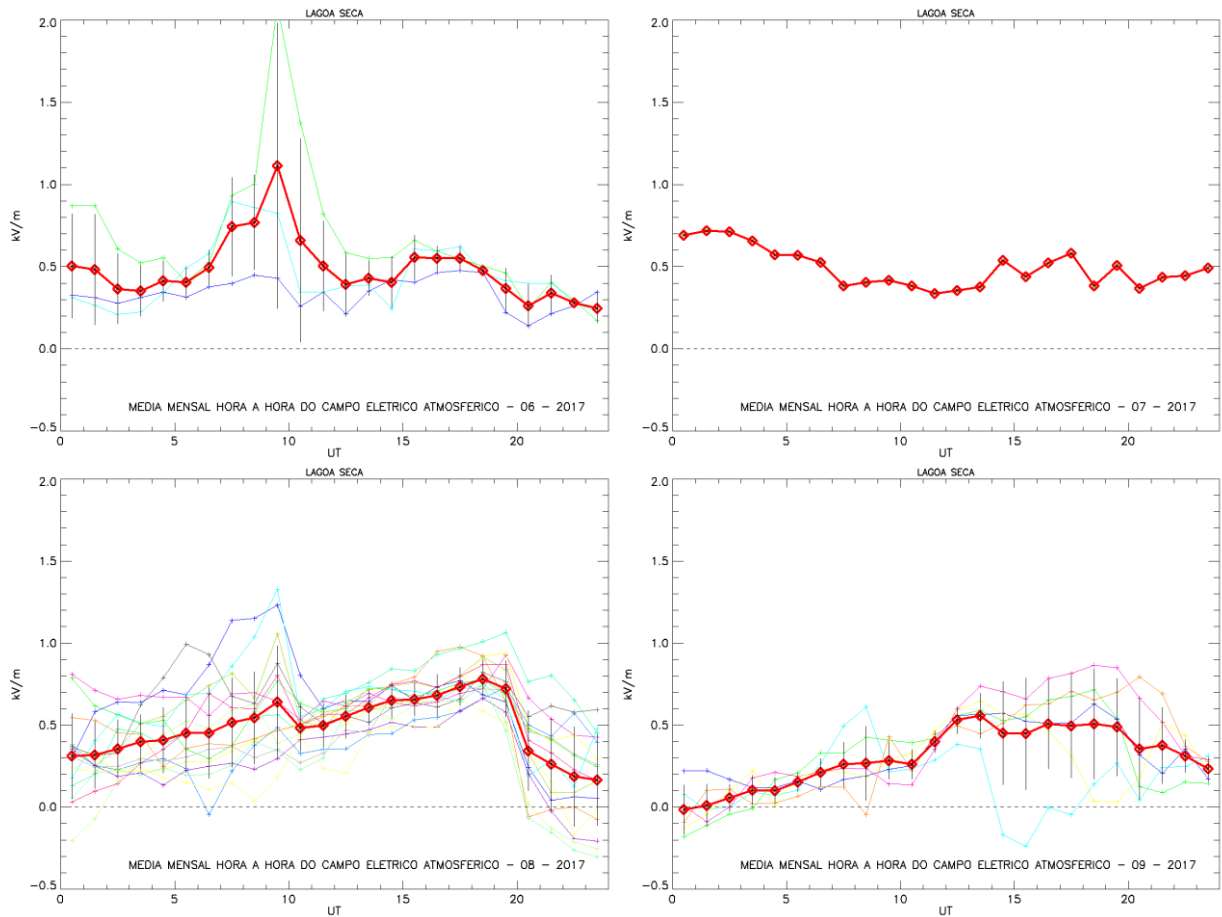
De acordo com a Figura 7, no ano 2018 os meses de abril, maio e junho, a curva média mensal apresenta o seu máximo próximo das 10:00 UT diferentemente do ano anterior. Para os meses seguintes, as curvas de médias mensais atinge o máximo próximo das 19:00 UT, assemelhando-se com às curvas de 2017 para esses meses.

Outro ponto a se destacar, é o fato de que houve menos dias com tempo bom, segundo o critério adotado, nos meses de abril e maio de 2017, comparando-se com 2018. O número reduzido de dias selecionados, pode ser ocasionado por influência de ocorrência de mais quedas de raios próximos ao local do sensor, num raio de 30 km, entre outros fatores.

Nas Figuras 8 e 9, apresentam-se as curvas médias mensais para a estação de Lagoa Seca, nos meses de abril a setembro, para os anos de 2017 e 2018. Porém, na Figura 7 não se mostram as curvas para os meses de abril e maio devido à ausência de dados para o período, nessa estação, pois a sua operação iniciou-se em final de maio de 2017.

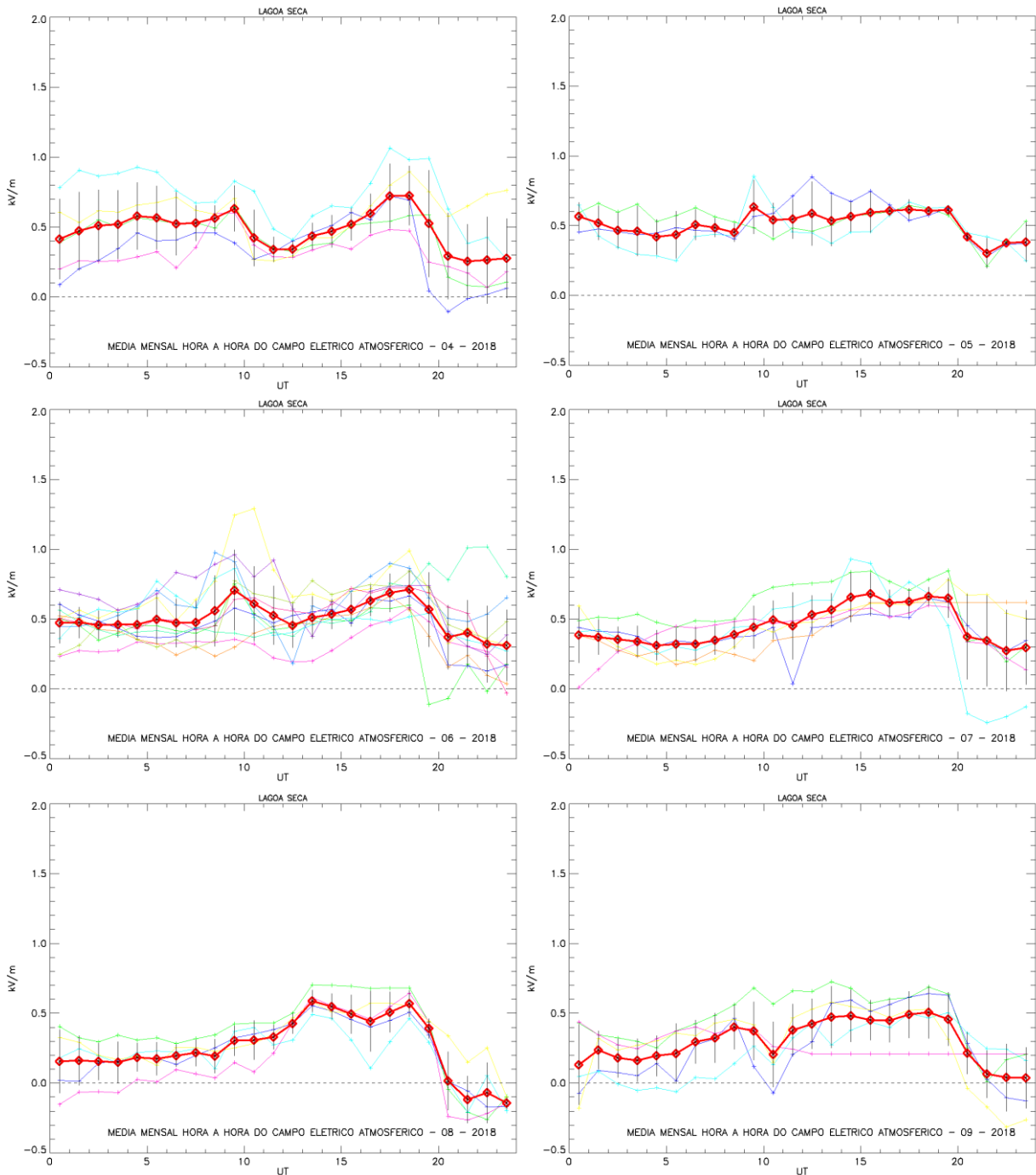
As curvas na cor vermelho+diamante representam as médias mensais e, juntamente com as curvas mensais, são exibidos de valores com médias horárias para cada dia (representados em diferentes linhas contínuas coloridas), seguindo o mesmo padrão usado para Campina Grande.

Figura 8 – Dias compostos das médias mensais hora a hora (linhas contínuas em vermelho+diamantes) referentes aos meses entre abril e setembro, das medidas de campo elétrico atmosférico, juntamente com curvas diárias representando as respectivas média horárias (linhas contínuas coloridas, o número de linhas determina o número de utilizados nos cálculos), para o ano de 2017, em Lagoa Seca. Não se mostram as curvas para os meses de abril e maio devido à ausência de dados para o período, nessa estação.



Fonte: Acervo Próprio.

Figura 9 – Dias compostos das médias mensais hora a hora (linhas contínuas em vermelho+diamantes) referentes aos meses entre abril e setembro, das medidas de campo elétrico atmosférico, juntamente com curvas diárias representando as respectivas média horárias (linhas contínuas coloridas, o número de linhas determina o número de utilizados nos cálculos), para o ano de 2018, em Lagoa Seca.



Fonte: Acervo Próprio

As curvas da Figura 8 se mostram bem diferenciadas entre elas, por exemplo, o mês de junho mostra um máximo próximo das 10:00 UT devido a uma grande perturbação em um dos dias. Já os meses de agosto e setembro mostram dois máximos, um por volta das 10:00 UT e

outro por volta das 19:00 UT no mês de agosto, sendo o máximo das 19:00 UT maior do que o das 10:00 UT e, para o mês de setembro temos um máximo por volta das 14:00 UT e outro por volta das 19:00 UT, sendo o máximo das 14:00 maior do que o das 19:00.

Observa-se na Figura 9, para o ano de 2018, que as curvas dos valores médios mensais seguem valores de máximo muito parecidos, com os seus picos próximos das 19:00 UT. Porém, algumas curvas de valores mensais mostram um segundo pico próximo das 10:00 UT, como é o caso dos meses de abril, maio e junho. O mês de agosto também mostra um segundo pico, esse próximo das 14:00 UT.

Também é possível observar nas Figuras 8 e 9, que há menos dias de tempo bom, segundo o critério adotado, em junho e julho de 2017 do que em 2018. Já para os meses de agosto e setembro a situação se inverte, temos mais dias de tempo bom durante o ano de 2018.

Os valores registrados em Lagoa Seca comumente são maiores em comparação com Campina Grande. Essa diferença deve-se principalmente porque o sensor de Campina Grande está colocado em um ponto mais alto em relação ao solo que o sensor de Lagoa Seca.

5 CONCLUSÕES

Durante os meses de abril a setembro dos anos de 2017 e 2018, foram apresentadas curvas médias mensais do campo elétrico atmosférico, nas estações dos Campi de Campina Grande e de Lagoa Seca.

Um ponto a ser destacado, é o fato de que foram medidos maiores valores de campo elétrico medidos em Lagoa Seca em comparação a Campina Grande. Tal comportamento pode ser explicado em decorrência do sensor de Campina Grande estar instalada no topo de um prédio mais alto em relação ao solo, em comparação com o que aquele em que o sensor de Lagoa Seca está instalado.

Outro ponto interessante é que a maioria das curvas, nas duas estações exibem um máximo normalmente por volta das 19:00 UT (~ 16:00 horas locais). Com isso, as curvas médias parecem ter comportamento consistente e similar nas duas estações.

Convém observar que alguns dias apresentam uma brusca perturbação no valor do campo elétrico atmosférico, tal como pode ser visto para o mês de maio na Figura 6, no mês de junho e julho da Figura 7 e para o mês de junho da Figura 8, isso é possivelmente causado devido à maior simplicidade do critério de tempo bom adotado, neste trabalho. Diante disso, fica como uma sugestão para um trabalho futuro, a revisão desses dias separadamente, usando dados de uma estação meteorológica, atrelada a um método mais específico para se estabelecer um dia de tempo bom.

REFERÊNCIAS

- CANE, H. Coronal mass ejections and forrush decreases. **Space Science Reviews**, v. 93, p. 55 – 77, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225903522_Coronal_Mass_Ejections_and_Forrush_Decreases. Acesso em: 11 mar. 2021.
- COBB, W. Evidence of a solar influence on the atmospheric electric elements at mauna loa observatory. **Monthly Weather Review** v. 95, n. 12, p. 905–911, 1967. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.395.3223&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 08 mar. 2021.
- COBB, W., WELLS, H. The electrical conductivity of oceanic air and its correlation to global atmospheric pollution. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 27, n. 5, p. 814–819, 1970.
- FARRELL, W.M., DESCH, M.D. Solar proton events and the fair weather electric field at ground. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 9, p. 37-1, 37-4. DOI: 10.1029/2011GL013908, 2002. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001GL013908>Acesso em: 14 dez. 2020.
- GURMANI, S., AHMAD, N., TACZA, J., IQBAL, T. First seasonal and annual variations of atmospheric electric field at a subtropical station in islamabad, Pakistan. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 179, p. 441–449, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328011788_First_seasonal_and_annual_variations_of_atmospheric_electric_field_at_a_subtropical_station_in_Islamabad_Pakistan. Acesso em: 04 abr. 2021.
- HALDOUPIS, C., RYCROFT, M., WILLIAMS, E., PRICE, C. Is the “Earth-ionosphere capacitor” a valid component in the atmospheric global electric circuit?. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 164, p. 127-131, 2017.
- HARRISON, R. G. The Carnegie Curve. **Surveys in Geophysics**, v. 34, n. 2, p. 209-232, 2013. DOI 10.1007/s10712-012-9210-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-012-9210-2>. Acesso em: 19 dez. 2020.
- HARRISON, R. G., NICOLL, K. A. Fair weather criteria for atmospheric electricity measurements. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 139, p. 239 – 250, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682618301299>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- HARRISON, R.G., USOSKIN, I. Solar modulation in surface atmospheric electricity. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 72, p. 176-182, 2010. Disponível em: http://centaur.reading.ac.uk/5906/1/HarrisonUsoskin2010_postprint.pdf. Acesso em: 27 dez. 2020.
- LIN, J., SOON, W., BALIUNAS, S. Theories of solar eruptions: a review. **New Astronomy Reviews, Elsevier**, v. 47, n. 2, p. 53–84, 2003. Disponível em:

<https://lweb.cfa.harvard.edu/~wsoon/myownPapers-d/LinSoonBaliunas03-TheoriesofSolarEruptions.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

MACGORMAN, D., RUST, W. **The Electrical Nature of Storms**. Oxford University Press, 1998.

MEDINA, R. L. **Construção de um instrumento para a medida e estudo do campo elétrico da atmosfera**. 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas – Pelotas, p. 161. 2006.

OLIVEIRA, R. R. **Análise de variações na radiação gama natural associada ao radônio e influência do campo elétrico atmosférico e efeitos meteorológicos**. 2020. Dissertação (Programa de Ciências e Aplicações Geoespaciais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo, p. 105. 2020.

RYCROFT, M. J., NICOLL, K. A., APLIN, K. L. HARRISON, R. G. Recent advances in global electric circuit coupling between the space environment and the troposphere. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 90-91, p. 198-211, 2012. Disponível em: http://centaur.reading.ac.uk/31502/1/31502RecentAdvances_Rycroftetal2012_Manuscript_revised_centaur.pdf. Acesso em: 11 Jan. 2021.

RYCROFT, M.J., ISRAELSSON, S., PRICE, C. The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 62, p. 1563–1576, 2000. Disponível em: <https://www.pretemp.it/alterpages/files/Elettr-Atm.pdf>. Acesso em: 18 Dez. 2020.

TACZA, J. **Análise do campo elétrico atmosférico durante tempo bom e distúrbios geofísicos**. 2015. Dissertação (Programa de Ciências e Aplicações Geoespaciais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo, p. 119. 2015.