

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA ELÉTRICA

NICHOLAS GABRIEL RODRIGUES

**COMPARATIVO ATERRAMENTO DE HASTES EM TRIÂNGULO E  
CONDUTOR ENTERRADO NA HORIZONTAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2018

NICHOLAS GABRIEL RODRIGUES

**COMPARATIVO ATERRAMENTO DE HASTES EM TRIÂNGULO E  
CONDUTOR ENTERRADO NA HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio.

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

NICHOLAS GABRIEL RODRIGUES

**COMPARATIVO ATERRAMENTO DE HASTES EM TRIÂNGULO E  
CONDUTOR ENTERRADO NA HORIZONTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 17:30h do dia 26/11/2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio  
Professor Orientador  
UTFPR/Campus Cornélio Procópio

---

Prof. Dr. Luiz Marcelo Chiesse da Silva  
Professor Convidado  
UTFPR/Campus Cornélio Procópio

---

Prof. Esp. Edmar Piacentini Junior  
Professor Convidado  
UTFPR/Campus Cornélio Procópio

Folha assinada encontra-se na coordenação

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Mãezinha três vezes admirável, Nossa Senhora mãe de Jesus, por me guiarem no meio da dificuldade e iluminando com bênçãos.

Agradeço a minha Mãe Sônia, meu Norte, meu guia.

A minha família, Selma, Zulena, Ivair, Antônio, Iraci, Wilson e o dois anjinhos da nossa família, Matheus e Ana.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio pelo apoio e confiança durante esse processo de orientação.

Aos meus irmãos de vida, que são presentes da minha vida e sempre me trouxeram felicidade nos dias difíceis.

Aos amigos que fiz na faculdade e nesse período de graduação.

## RESUMO

RODRIGUES, Nicholas G. **Comparativo Aterramento de Hastes em triângulo e Conductor enterrado na horizontal**. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

Os sistemas de aterramentos têm como objetivo proteger equipamentos elétricos e instalações, bem como a vida das pessoas que possam estar nas mediações dos mesmos. Este trabalho apresenta dois tipos diferentes de aterramentos, aterramento com Hastes em Triângulo e aterramento com Conductor Enterrado na Horizontal. Após a coleta diária dos dados, resistência de terra (com o terrômetro) e dos fatores climáticos da região de aplicação da experimentação, um estudo comparativo foi elaborado entre esses dois aterramentos.

**Palavras Chave:** Resistência de aterramento. Resistividade. Comparativo. Fatores climáticos. Medições.

## ABSTRACT

RODRIGUES, Nicholas G. Comparative of Grounding Triangle Rods and Horizontal Buried Conductor. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Federal Technology University of Parana. Cornélio Procópio, 2018.

Electrical grounding systems have as objective protect electrical equipments and installations, and the lives of people who may be in their mediations. This Project introduce two different types of grounding, grounding Triangle Rods and grounding Horizontal Buried Conductor. After daily data collection of grounding resistance (by a groundmeter) and climatic factors of the region of application of experimentation, a comparative study was made between these two grounding.

**Keywords:** Grounding resistance. Resistivity. Comparative. Climatic factors. Measurements.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistividades calculadas nos primeiros 30 dias .....	24
Gráfico 2 – Resistividades calculadas nos últimos 30 dias .....	24
Gráfico 3 – Resistências calculadas nos primeiros 30 dias.....	25
Gráfico 4 – Resistências calculadas nos últimos 30 dias .....	25
Gráfico 5 – Comparação da Temperatura nos primeiros 30 dias.....	27
Gráfico 6 – Comparação da Temperatura nos últimos 30 dias .....	28
Gráfico 7 – Comparação da Umidade nos primeiros 30 dias .....	29
Gráfico 8 – Comparação da Umidade nos últimos 30 dias .....	30
Gráfico 9 – Temperatura e resistividade nos primeiros 30 dias.....	31
Gráfico 10 – Temperatura e resistividade nos últimos 30 dias.....	32
Gráfico 11 – Umidade e resistividade nos primeiros 30 dias.....	33
Gráfico 12 – Umidade e resistividade nos últimos 30 dias .....	34
Gráfico 13 – Precipitações e resistividade nos primeiros 30 dias.....	35
Gráfico 14 – Precipitações e resistividade nos últimos 30 dias.....	36
Gráfico 15 – Radiação e resistividade nos primeiros 30 dias .....	37
Gráfico 16 – Radiação e resistividade nos últimos 30 dias .....	38
Gráfico 17 – Acidez do solo e resistividade nos primeiros 30 dias.....	39
Gráfico 18 – Acidez do solo e resistividade nos últimos 30 dias .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistividade de um solo arenoso com concentração de umidade.....	6
Tabela 2 – Desvio padrão para os dois sistemas de aterramento.....	26



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - $\rho$ x Umidade percentual do solo arenoso .....	7
Figura 2 - $\rho$ x Temperatura.....	8
Figura 3 - Estratificação do solo em duas camadas .....	9
Figura 4 - Estratificação do solo em duas camadas .....	9
Figura 5 - Espessura mínima de cobre na haste de aterramento.....	10
Figura 6 - Redução do valor da Resistência de uma haste vertical em função do diâmetro da haste.....	10
Figura 7 - Triângulo Equilátero .....	12
Figura 8 - Curvas “K x e” .....	13
Figura 9 - Condutor enterrado horizontalmente no solo .....	14
Figura 10 - Configurações horizontais de condutores vista de topo.....	15
Figura 11 – Os dois aterramentos instalados .....	16
Figura 12 – Hastes em Triângulo .....	17
Figura 13 – Condutor Enterrado Horizontalmente.....	18
Figura 14 – Terrômetro .....	19
Figura 15 – Eletrodo auxiliar para medição com o Terrômetro .....	20
Figura 16 – Eletrodos auxiliares colocados no solo .....	21
Figura 17 – Instrumentos fornecidos pela Universidade .....	22

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. PROBLEMAS E PREMISSAS .....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo Geral .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
<b>1.3. JUSTIFICATIVA</b> .....	3
1.4. MÉTODO DA PESQUISA.....	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	5
2.1. ATERRAMENTO .....	5
2.1.1. Resistividade do solo .....	5
2.1.2. Influência da Umidade.....	6
2.1.3. Influência da Temperatura .....	7
2.1.4. Influência da Estratificação .....	8
2.1.5. Hastes de Aterramento .....	9
2.1.6. Aumento do diâmetro da Haste.....	10
2.1.7. Segurança de Aterramento .....	11
2.2. SISTEMAS DE ATERRAMENTO .....	11
2.2.1. Dimensionamento de Sistema de Aterramento com Hastes em Triângulo ..	11
2.2.2. Dimensionamento do Sistema com Condutor Enterrado Horizontalmente no Solo .....	14
<b>3. METODOLOGIA DE EXPERIMENTAÇÃO</b> .....	16
3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO.....	16
3.2. INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO.....	17
3.3. COLETA E TRATAMENTOS DE DADOS .....	18
3.3.1. Obtenção das resistências de aterramento.....	19
3.3.2. Obtenção dos dados climáticos .....	21
<b>4. RESULTADOS</b> .....	23
4.1. Resistividades e Resistências de terra obtidas.....	23
4.2. COMPORTAMENTO CLIMÁTICO E RESISTIVIDADE DO SOLO.....	26
4.2.1. Comparação das temperaturas e umidades .....	26
4.2.1.1. Temperatura e resistividade.....	31
4.2.1.2. Umidade e resistividade.....	32
4.2.2. Precipitações e resistividade.....	34
4.2.3. Radiação e resistividade .....	36
4.2.4. Acidez do solo e resistividade .....	38

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE A – Resistência e resistividades dos primeiros 30 dias de medição</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE B – Resistência e resistividades dos últimos 30 dias de medição..</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE C – Dados climáticos do solo dos primeiros 30 dias de medição...</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE D – Dados climáticos do solo dos últimos 30 dias de medição .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE D – Dados climáticos do INMET dos primeiros 30 dias de medição</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE E – Dados climáticos do INMET dos últimos 30 dias de medição...</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade da energia elétrica para o desenvolvimento de um país é de extrema importância e o Brasil encontra-se na 7ª posição do mundo em consumo de energia elétrica (EPE, 2017). Qualquer Sistema de Energia Elétrica de qualidade, necessita operar corretamente, apresentar uma continuidade de serviço e demonstrar segurança nos sistemas de proteção. Para que todos esses tópicos sejam satisfeitos é fundamental lembrar do quesito Aterramento (CAPELLI, 2000).

Aterramento elétrico, para Visacro Filho (2002, p. 11), “consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo”. Para aterrar um sistema elétrico há inúmeras maneiras, que partem desde a instalação de uma simples haste enterrada no solo às mais complexas configurações de cabos cravados no solo (KINDERMANN, 2011).

A primeira aplicação desse tema, ocorreu no ano de 1836, quando um cientista alemão, Karl August Steinheil, descobriu que o terra poderia ser operado como condutor de retorno para completar o circuito de um telégrafo, dispensando a utilização do cabo de retorno da corrente, reduzindo os custos das linhas de telégrafo (GORLINSKI, 2007).

Em 1861, a companhia de telégrafo Western Union Telegraph Company e realizou (nesse mesmo ano) o primeiro telégrafo transcontinental nos Estados Unidos. As linhas desse telégrafo aplicavam a tecnologia de aterramento, porém a maioria destas, apresentavam problemas de condutividade, oriundos do clima seco da região, uma solução consiste em umedecer a região de instalação da haste de aterramento com água, para que o telégrafo funcionasse de maneira correta (PRUDCHENKO, 2014).

Com o decorrer dos anos novas tecnologias foram criadas, como a telefonia, que substituiu o telégrafo na comunicação primária à distância, assim o aterramento elétrico passou a ser aplicado em outros dispositivos. Hoje em dia, sistemas elétricos e de transmissão empregam o aterramento para fornecer segurança às pessoas, bem como facilitar o retorno de corrente.

Pode-se observar que esse assunto é suscetível a erro e para ter um aterramento de qualidade tem todo um estudo que necessita ser considerado, bem como a escolha correta do tipo de aterramento a ser instalado a determinado projeto.

Este trabalho irá abordar dois tipos específicos de aterramento, sendo estes, Aterramento em Haste em Triângulo e Aterramento de condutor enterrado na horizontal.

## 1.1. PROBLEMAS E PREMISSAS

O Brasil apresenta diversos estudos e uma tecnologia avançada em termos de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), entretanto no dia a dia os sistemas de aterramentos instalados em casas e prédios, quando existem, não apresentam a qualidade necessária. Em alguns casos, as pessoas presentes nesses locais estariam mais seguras sem a instalação desses aterramentos.

Os acidentes mais comuns com trabalhadores nas indústrias, grande maioria na área de manutenção, é o contato com partes metálicas energizadas, carcaça de motores como exemplo, submetendo assim o corpo do trabalhador a uma tensão entre fase e terra, podendo levar a complicações médicas, ou até a um acidente fatal. Desta forma, conhecer os valores das resistências dos aterramentos e a correta aplicação de cada tipo de aterramento para sua respectiva função implica diretamente na segurança do sistema elétrico e das pessoas envolvidas.

## 1.2. OBJETIVOS

Este tópico apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

### 1.1.1. Objetivo Geral

Realizar o comparativo entre dois sistemas de aterramento elétrico. Por meio de medições e a análise estatística entre os dois tipos de sistema.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Efetuar as medições da resistência de terra dos dois métodos propostos;
- Efetuar as medições do aterramento de três hastes em triângulo;

- Efetuar as medições do aterramento do condutor enterrado na horizontal (bitola 16mm<sup>2</sup>);
- Calcular as respectivas resistividades de solo (por pelo menos 2 meses);
- Realizar o comparativo dos dois sistemas entre a resistência e a resistividade de solo;
- Gerar os gráficos de resistividade e resistência de terra.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A necessidade de um estudo experimental quanto aos aterramentos em haste em triângulo e condutor enterrado na horizontal. Além da comparação entre estes dois tipos de aterramentos, verificando qual obtém o melhor rendimento para as suas respectivas funções.

### 1.4. MÉTODO DA PESQUISA

Este trabalho apresenta conceitos básicos para um melhor conhecimento sobre os sistemas de aterramento, realizando um comparativo entre dois tipos de aterramentos diferentes, salientando os benefícios dos mesmos. A proposta do trabalho é constituída de quatro partes descritas a seguir:

- Estudo bibliográfico sobre o tema aterramento, com o foco em dois tipos de aterramentos, bem como, os conceitos básicos que influenciam os sistemas de aterramento, sendo estes principalmente a, resistividade do solo, hastes metálicas, e os fatores que afetam a resistência de terra;
- Experimentação e aquisição dos dados das medidas das resistências de aterramentos dos dois tipos de aterramentos citados no trabalho: hastes em triângulo e condutor enterrado horizontalmente;
- Apresentação dos resultados, comparação dos dois tipos de aterramentos e observação das possíveis influências climáticas nos valores das resistências de aterramento, a partir de planilhas gráficas relativas aos valores experimentais medidos e apurados;

- Conclusão, via comprovação do método comparativo experimentado, descrição das desvantagens e vantagens de cada tipo de aterramento, e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. ATERRAMENTO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma (NBR) 5410/2014 uma infraestrutura de aterramento deve ser:

- Confiável, e também satisfazer os requisitos de segurança das pessoas;
- Possuir condução de correntes de falta à terra sem risco de avarias térmicas, termomecânicas, eletromecânicas ou de choques elétricos causados por estas correntes de falta;
- Quando solicitado atender os requisitos funcionais da instalação.

Os objetivos principais do aterramento, transcrito do KINDERMANN (2011), são:

Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível, para correntes de falta à terra, manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança de modo a não causar fibrilação do coração humano, fazer com que equipamentos de proteção sejam mais sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra, proporcionar um caminho de escoamento para terra de descargas atmosféricas, usar a terra como retorno de corrente no sistema MRT, escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

Também é necessário saber as características do solo, principalmente a resistividade do mesmo, para realizar um projeto de aterramento elétrico de qualidade (KINDERMANN, 2011).

#### 2.1.1. Resistividade do solo

De acordo com Kindermann, alguns fatores influenciam na resistividade do solo, como:

- Tipo de solo;
- Mistura de vários tipos de solo;



- Solos compostos por camadas estratificadas com profundidades e materiais variados;
- Teor de umidade;
- Temperatura;
- Compactação e pressão;
- Composição química dos sais dissolvidos na água retida;
- Concentração de sais dissolvidos na água retida.

Pode-se observar que há diversas combinações de fatores que ocasionam valores de resistividades distintos em solos com características específicas.

Por todos esses aspectos, para obter um parâmetro confiável de resistividade do solo do local analisado para a instalação de um aterramento, deve-se realizar medições nesse local para a obtenção dos valores reais de resistividade.

#### 2.1.2. Influência da Umidade

A umidade pode causar alterações nos valores de resistividade do solo.

Esta variação, de acordo com Kindermann (2011, p. 4):

Ocorre em virtude da condução de cargas elétricas no mesmo ser predominantemente iônica. Uma percentagem de umidade maior faz com que os sais, presentes no solo, se dissolvam, formando um meio eletrolítico favorável à passagem da corrente iônica. Assim, um solo específico, com concentração diferente de umidade, apresenta uma grande variação na sua resistividade.

A Tabela 1 apresenta a variação da resistividade do solo com a umidade de um solo arenoso como exemplo.

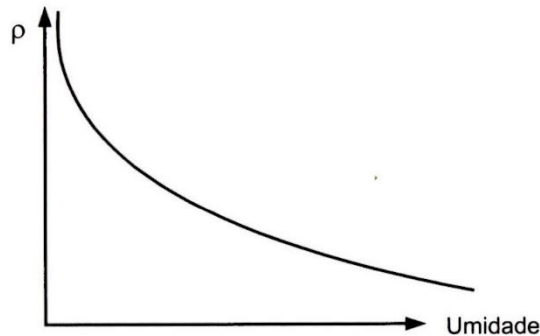
**Tabela 1 - Resistividade de um solo arenoso com concentração de umidade**

<b>Índice de Umidade (% por peso)</b>	<b>Resistividade (<math>\Omega.m</math>) (solo arenoso)</b>
0,0	10.000.000
2,5	1.500
5,0	430
10,0	185
15,0	105
20,0	63
30,0	42

Fonte: Adaptado (KINDERMANN, 2011).

Então a resistividade ( $\rho$ ) varia exponencialmente com a umidade do solo, como na Figura 1.

**Figura 1 -  $\rho$  x Umidade percentual do solo arenoso**



**Fonte: Kindermann (2011, P.5)**

Como se observou, o valor da resistividade do solo varia com os períodos de chuva e seca de uma região. Com os dados observados acima percebe-se que os aterramentos pioram a qualidade com o clima seco, e melhoram com o solo úmido (KINDERMANN, 2011).

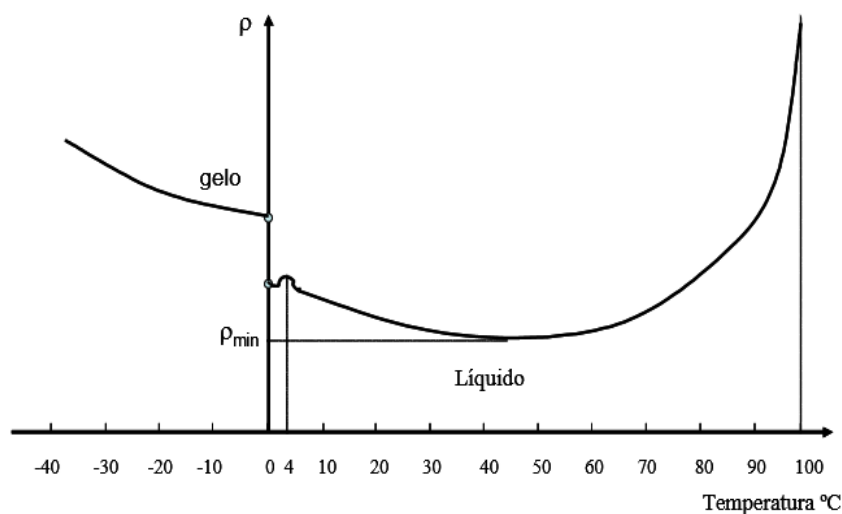
### 2.1.3. Influência da Temperatura

Os efeitos da temperatura na resistividade do solo devem levar dois aspectos distintos em consideração:

- A resistividade do solo é sensível à influência de água nele contida, e devido a água conter alto coeficiente negativo de temperatura, pode-se conceituar que a resistividade tende a crescer com a diminuição de temperatura (VISACRO, 2002).
- Com uma temperatura elevada a evaporação da água é maior, assim a umidade do solo tende a diminuir. Logo, esse aumento de temperatura também aumenta a resistividade. Isso deve ser considerado em projetos de aterramentos em países tropicais (VISACRO, 2002).

A Figura 2 ilustra os efeitos da temperatura na resistividade do solo.

**Figura 2 -  $\rho$  x Temperatura**



**Fonte: Tuma (2005, P.21)**

#### 2.1.4. Influência da Estratificação

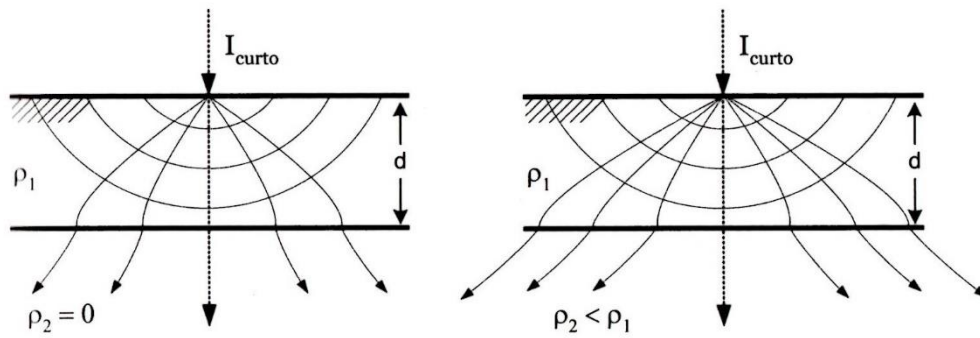
Na sua grande maioria, os solos não são homogêneos, mas constituídos por inúmeras camadas de profundidade e resistividade diferentes. Por causa da formação geológica, as camadas são geralmente horizontais e paralelas à superfície do solo (KINDERMANN, 2011).

Em algumas ocasiões as camadas se apresentam verticais e inclinadas, graças a alguma movimentação do solo ou falha geológica. Porém, alguns estudos do perfil do solo consideram essas camadas aproximadamente horizontais (KINDERMANN, 2011).

Devido à consequência da oscilação do valor da resistividade das camadas do solo, sabe-se que há uma variação da dispersão de corrente. De acordo com Kindermann (2011, p. 8) a Figura 3, “apresenta o comportamento dos fluxos de dispersão das correntes elétricas em torno do aterramento em um solo heterogêneo, formado por duas camadas, sendo a resistividade da segunda camada menor que a primeira camada”.

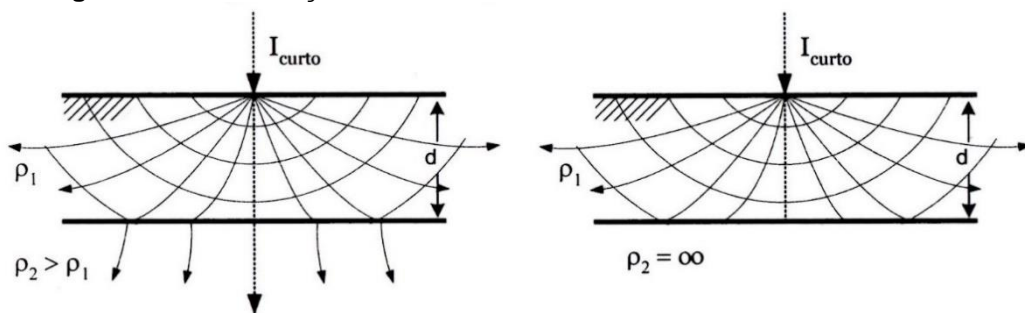
A Figura 4 apresenta o mesmo comportamento citado para a Figura 3, entretanto para a condição da resistividade da segunda camada seja maior que a da primeira camada.

**Figura 3 - Estratificação do solo em duas camadas**



Fonte: Kindermann (2011, P.9)

**Figura 4 - Estratificação do solo em duas camadas**



Fonte: Kindermann (2011, P.9)

As linhas cheias são as correntes elétricas transcorrendo para o solo e as linhas pontilhadas são as superfícies equipotenciais.

#### 2.1.5. Hastes de Aterramento

Algumas características do material que constituem as hastes de aterramento:

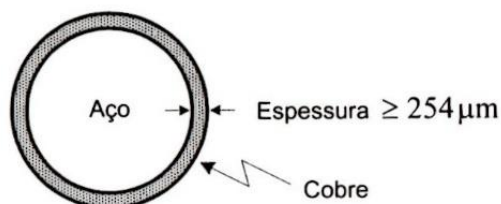
- Sofrer o mínimo de ação possível da corrosão galvânica que acontece no solo;
- Ser um bom condutor elétrico;
- Apresentar resistência mecânica compatível com a movimentação e cravação do solo;
- Ser um material praticamente inativo às ações dos sais e ácidos diluídos no solo.

As melhores hastes são na maioria as cobreadas, sendo as principais destas, de acordo com Kindermann (2011, p. 10-11):

**Tipo Copperweld:** É uma barra de aço de secção circular onde o cobre é fundido sobre a mesma; **Tipo Encamisado por Extrusão:** A alma de aço é revestida por um tubo de cobre através do processo de extrusão; **Tipo Cadweld:** O cobre é depositado eletroliticamente sobre a alma de aço.

O valor mínimo da espessura de cobre das hastes de aterramento deve ser maior ou igual a  $254\ \mu\text{m}$  (Figura 5).

**Figura 5 - Espessura mínima de cobre na haste de aterramento**



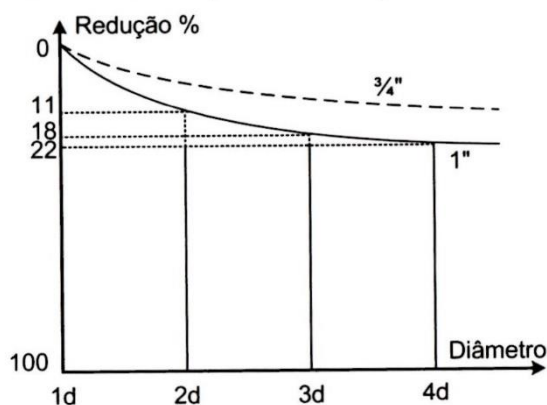
Fonte: Kindermann (2011, P.11)

#### 2.1.6. Aumento do diâmetro da Haste

Com o aumento do diâmetro da haste, há um pequeno decréscimo na resistência elétrica da mesma. Essa redução contém uma saturação com o aumento exagerado do diâmetro da haste.

A Figura 6 apresenta a redução da resistência da haste com o acréscimo do diâmetro em comparação à haste original.

**Figura 6 - Redução do valor da Resistência de uma haste vertical em função do diâmetro da haste**



Fonte: Kindermann (2011, P.73)

Vale lembrar que o aumento em demasia do diâmetro da haste, em relação a custo-benefício, não é vantajoso. O diâmetro mais utilizado para haste na prática é compatível com a resistência mecânica do cravamento no solo.

#### 2.1.7. Segurança de Aterramento

Para garantir a segurança, necessitam ser aterradas todas as partes metálicas que tenham contato ou possam ter contato com elementos energizados. Assim, se ocorrer um contato de um elemento energizado com a massa metálica acidentalmente, um curto-circuito será estabelecido, ocasionando uma atuação da proteção e paralisando a ligação do circuito energizado com a massa metálica (KINDERMANN, 2011).

Conclui-se então que a partir do sistema de aterramento deve-se providenciar uma concreta ligação aos elementos metálicos dos equipamentos. Em residências, equipamentos como micro-ondas, chuveiro, fogão por exemplo, devem apresentar um aterramento. Na indústria e no setor elétrico, um estudo deve ser realizado para o conhecimento de quais equipamentos devem ser aterrados, para alcançar o nível mais alto de segurança possível (KINDERMANN, 2011).

### 2.2. SISTEMAS DE ATERRAMENTO

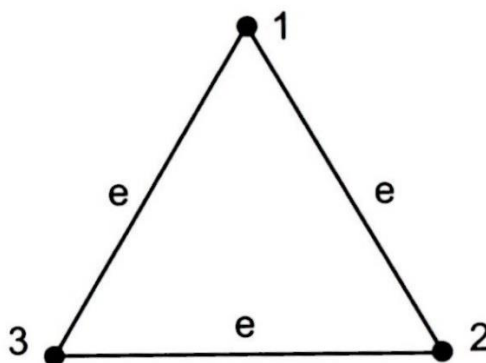
Neste tópico serão apresentados os sistemas de aterramento com haste em Triângulo, bem como com o condutor enterrado horizontalmente no solo.

Segundo Kindermann (2011, p. 68), “O escoamento da corrente elétrica emanada ou absorvida pelo sistema de aterramento se dá através de uma resistividade aparente que o solo apresenta para este aterramento em especial”. Em vista disso, serão examinados os sistemas de aterramento em relação a uma resistividade aparente ( $\rho_a$ ).

#### 2.2.1. Dimensionamento de Sistema de Aterramento com Hastes em Triângulo

A Figura 7 mostra que as hastes são cravadas nos vértices de um triângulo equilátero.

**Figura 7 - Triângulo Equilátero**



Fonte: Kindermann (2011, P.82)

Onde,

$e$ : é o espaçamento entre as hastes no triângulo equilátero [m].

O Índice de Redução ( $K$ ) é determinado como a relação entre a resistência equivalente do conjunto ( $R_{eq}$ ) e a resistência individual de cada haste sem a presença de outras hastes ( $R_{1haste}$ ).

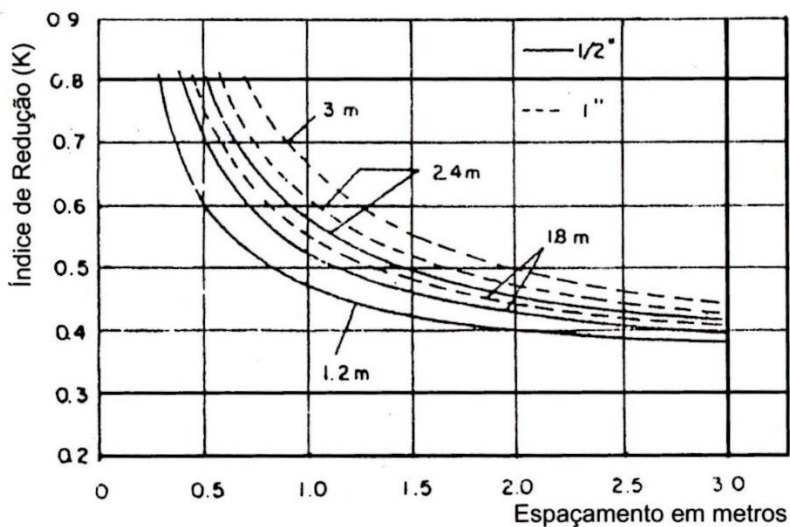
$$K = \frac{R_{eq}}{R_{1haste}} \quad (1)$$

Isolando,  $R_{eq}$  e sabendo que é igual a resistência equivalente apresentada pelo sistema de aterramento em triângulo de lado “e” ( $R_{eq\Delta}$ ), então:

$$R_{eq\Delta} = K * R_{1haste} \quad (2)$$

A Equação 2 indica que  $R_{eq\Delta}$  está reduzida de  $K$  vezes o valor  $R_{1haste}$ . Os índices de redução são obtidos através das curvas da Figura 8, ou também pelas Equações 3, 5 e 1.

Figura 8 - Curvas "K x e"



Fonte: Kindermann (2011, P.83)

As curvas apresentadas na Figura 8 são para hastes de 1/2" e 1", para comprimentos de 1,2; 1,8; 2,4 e 3 metros.

As Equações abaixo são utilizadas para obter o índice de redução ( $K$ ):

$$R_h = R_{hh} + \sum_{m=1, m \neq h}^n R_{hm} \quad (3)$$

Onde:

$R_h$ : Resistência apresentada pela haste inserida no conjunto considerando as interferências das outras hastes [ $\Omega$ ].

$n$ : Número de hastes.

$R_{hh}$ : Resistência individual de cada haste sem a presença de outras hastes [ $\Omega$ ], dado pela Equação 4.

$$R_{1haste} = \frac{\rho a}{2\pi L} * \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (4)$$

$R_{1haste}$ : Resistência de terra de uma haste [ $\Omega$ ].

$\rho a$ : Resistividade aparente do solo [ $\Omega m$ ].

$L$ : Comprimento da haste [m].

$d$ : Diâmetro do círculo equivalente à área da seção transversal da haste [m].



$R_{hm}$ : Acréscimo de resistência na haste devido à interferência mútua da outra haste no triângulo [ $\Omega$ ], dado pela Equação 5.

$$R_{hm} = \frac{\rho a}{4\pi L} * \ln \left( \frac{(b_{hm} + L)^2 - e^2}{e^2 - (b_{hm} - L)^2} \right) \quad (5)$$

$L$ : Comprimento da haste [m].

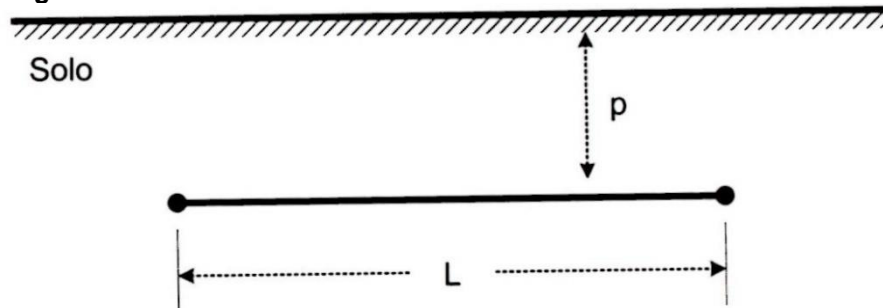
$b_{hm}$ : Parâmetro de interferência entre as hastes [m], dado pela Equação 6.

$$b_{hm} = \sqrt{L^2 + e^2} \quad (6)$$

### 2.2.2. Dimensionamento do Sistema com Condutor Enterrado Horizontalmente no Solo

A resistência de aterramento para esse sistema é exemplificada na Figura 9 e o valor é obtido pela Equação 7.

**Figura 9 - Condutor enterrado horizontalmente no solo**



**Fonte: Kindermann (2011, P.94)**

$$R = \frac{\rho a}{2\pi L} * \left[ \ln \left( \frac{2L^2}{rp} \right) - 2 + \frac{2p}{L} - \left( \frac{p}{L} \right)^2 + \frac{1}{2} * \left( \frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (7)$$

Onde:

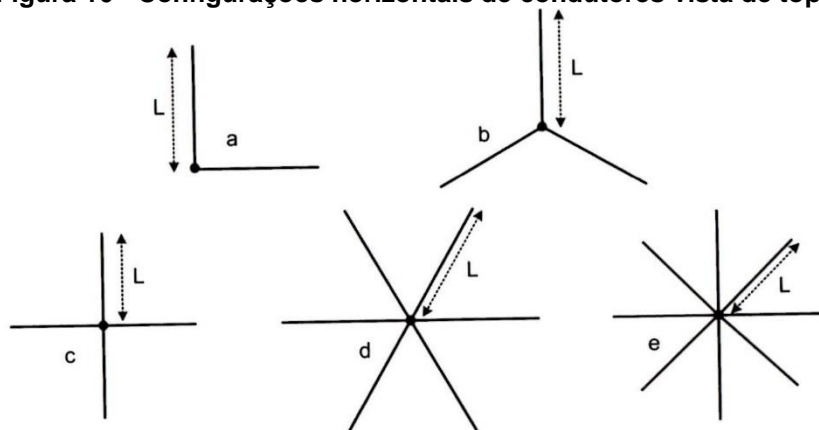
$p$ : Profundidade em que está enterrado o condutor [m].

$L$ : comprimento do condutor [m].

$r$ : Raio equivalente do condutor [m].

Apresenta-se a seguir algumas configurações diferentes para condutores enterrados horizontalmente, Figura 10.

**Figura 10 - Configurações horizontais de condutores vista de topo**



Fonte: Kindermann (2011, P.94)

### 3. METODOLOGIA DE EXPERIMENTAÇÃO

Este tópico apresenta a experimentação executada, ferramentas utilizadas e a coleta de dados para o estudo e posteriormente comparação dos aterramentos elétricos efetuados, com seus respectivos fatores de influência.

#### 3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

A instalação dos dois aterramentos foi executada próxima ao campo esportivo da UTFPR Campus Cornélio Procópio (Figura 11).

**Figura 11 – Os dois aterramentos instalados**



**Fonte: Autoria própria**

No capítulo 2, fundamentação teórica, especificamente na parte de Resistividade do solo, verificou-se que, cada tipo de solo possui suas próprias características e diferenças de resistividade, bem como a resistência de terra.

Na região em que foi realizado este trabalho, apresenta alguns tipos de diferentes de solo, sendo estes verificados na Secretaria de Estado da Educação

(SEED). Os tipos de solo presentes são: Argissolos, Nitossolo, Latossolos, Néossolos (LIMA, 2018).

### 3.2. INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Nesse trabalho foram aterrados dois sistemas diferentes de aterramentos, com Hastes em Triângulo e Condutor Enterrado Horizontalmente.

Para o primeiro aterramento, foram aterradas três hastes de aço zincado, de diâmetro  $\frac{3}{4}$ " e de 2,4 metros de comprimento cada uma, de forma que ficassem 20 centímetros da extremidade exposta para medições e para a proteção dessa extremidade, foi colocado um cano de PVC. O espaçamento entre as hastes é de 60 centímetros, assim como os cabos necessários para realização das ligações das hastes na configuração triângulo, como visto na Figura 7. Posteriormente, foi utilizada uma camada de britas de calcário cobrindo o solo e uma proteção de fita plástica para isolar o aterramento do gramado do local, como observado na Figura 12.

Uma observação deve ser considerada nesta instalação: o correto seria um espaçamento das hastes de no mínimo 2,4 metros para garantir que as influências de dispersão de corrente no solo não alterassem o resultado das medições (KINDERMANN, 2011). Porém como o espaço era limitado para a aplicação do aterramento, foi realizado o espaçamento referido acima.

**Figura 12 – Hastes em Triângulo**



**Fonte: Aatoria própria**



No segundo aterramento, (Figura 13), foi aterrado à uma profundidade de 50 centímetros um cabo horizontalmente, de diâmetro 16 milímetros e comprimento de 6,5 metros, considerando também o comprimento de 20 centímetros para medições com proteção do cano de PVC. Assim como o primeiro aterramento utilizou-se uma camada de britas de calcário e proteção de fita plástica para o acabamento do segundo aterramento.

Segunda ABNT 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, afirma que o cabo tem que apresentar um diâmetro mínimo de 25 milímetros para segurança do sistema de aterramento, mas foi utilizado um cabo com diâmetro de 16 milímetros, pois havia a disponibilidade apenas desse cabo com diâmetro menor (ABNT, 2004).

**Figura 13 – Condutor Enterrado Horizontalmente**



**Fonte: Aatoria própria**

### 3.3. COLETA E TRATAMENTOS DE DADOS

Esta etapa em questão é a de medições de resistência de terra nos dois tipos de aterramento, efetuada com um terrômetro, por volta das 16 horas diariamente, entre os meses de agosto até outubro de 2018. Em seguida, há uma análise das variações de medidas, e observações do comportamento das resistividades em relação ao clima, foram coletados os dados de: umidade do solo, pH do solo,

temperatura solo (máximas, mínimas) fornecidos por aparelhos de medições, bem como a comparação desses resultados com os dados do INMET – Instituto Nacional Meteorológico.

### 3.3.1. Obtenção das resistências de aterramento

Com a obtenção das medidas de resistência de aterramento, pode-se criar um banco de dados, assim como um histórico de comportamento da instalação, possibilitando a identificação e a solução de problemas da instalação elétrica de estabelecimentos em casos de danos referentes à alguma ocorrência, sobre carga do sistema ou outro motivo (WALENIA, 2008).

Neste trabalho o terrômetro digital utilizado é composto de três entradas, ou seja, o método de Wenner não é aplicável, uma vez que solicita no mínimo quatro hastes aterradas, significando apresentar um aparelho com quatro entradas. O instrumento disponível para as medições é apresentado na Figura 14, com três cabos de cores vermelha, amarela e verde.

**Figura 14 – Terrômetro**



**Fonte: LIMA (2018, P.35)**

A realização da medição para cada sistema de aterramento ocorreu conforme os procedimentos descritos abaixo:

- Seleção da escala: Como o terrômetro apresenta três opções de valores de resistência, optou-se por utilizar a opção do valor de 200  $\Omega$  do aparelho, possibilitando medir todos os valores das resistências de terra, considerando as dimensões da instalação;

- Colocação dos eletrodos auxiliares: Como o ambiente da instalação não apresentava restrições para medições, como obstruções e acessibilidade, foi escolhido o ponto onde cada eletrodo auxiliar foi instalado (Figura 15). Os eletrodos auxiliares foram colocados ao solo de forma alinhada para todas as medições realizadas, com 18 centímetros de comprimento sob o solo, 2 centímetros expostos para a conexão dos cabos. O primeiro eletrodo foi posto à uma distância de 4 metros, e o segundo à 6 metros do sistema de aterramento, conforme a Figura 16;
- Conexão dos cabos: Com a instalação dos eletrodos auxiliares, os cabos devem fazer as conexões do terrômetro à instalação. O sistema de aterramento foi ligado pelo cabo verde à entrada “E” do equipamento, o primeiro eletrodo auxiliar foi ligado pelo cabo amarelo à entrada “P” do medidor, e o por último o cabo vermelho realiza a conexão do eletrodo restante com à entrada “C” do equipamento.

Como haviam dois sistemas de aterramentos, repetiu-se o processo para o segundo aterramento. Depois de todas as medições, era realizada uma limpeza dos cabos e eletrodos do terrômetro, e posteriormente guardados no seu devido lugar na caixa do equipamento.

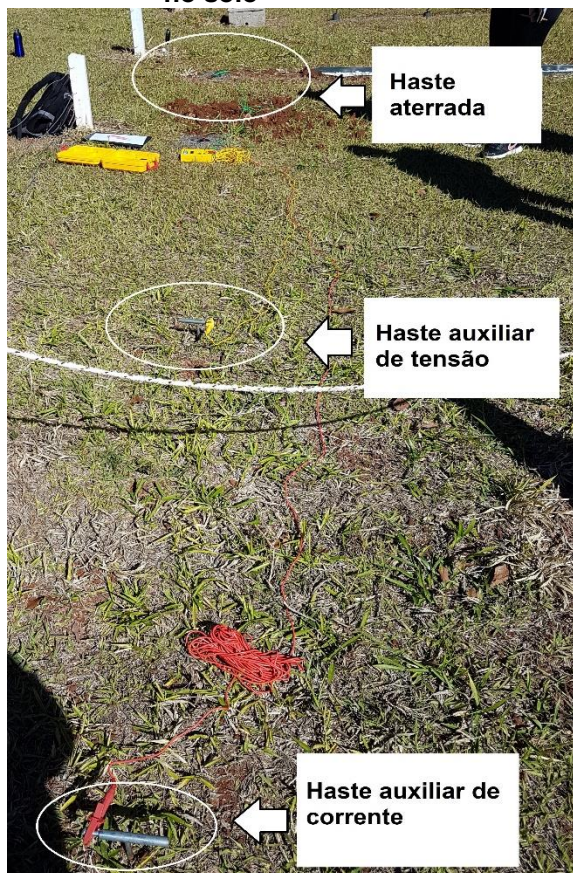
**Figura 15 – Eletrodo auxiliar para medição com o Terrômetro**



**Fonte: LIMA (2018, P.36)**



**Figura 16 – Eletrodos auxiliares colocados no solo**



**Fonte: A autoria própria**

Algumas instruções de segurança básicas foram colocadas em prática, segundo Mamede (2010, p. 421): “evitar medições sob condições atmosféricas adversas”, devido à possibilidade de descargas atmosféricas e suas respectivas correntes de retorno. Nos dias de maior ocorrência de chuva, as medições não foram realizadas, assim foi utilizada a interpolação linear do dia anterior com o dia posterior para a obtenção do valor do dia da ocorrência da chuva, e o posterior preenchimento da tabela de dados. O uso de calçados, luvas e evitar a presença de animais e pessoas alheias ao serviço; foi cumprida. Dessa maneira, obteve-se 60 valores de resistência de terra para cada sistema de aterramento (APÊNDICE A e B).

### 3.3.2. Obtenção dos dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos de duas maneiras, através de dois medidores para obtenção dos dados do solo e pela Estação Meteorológica de



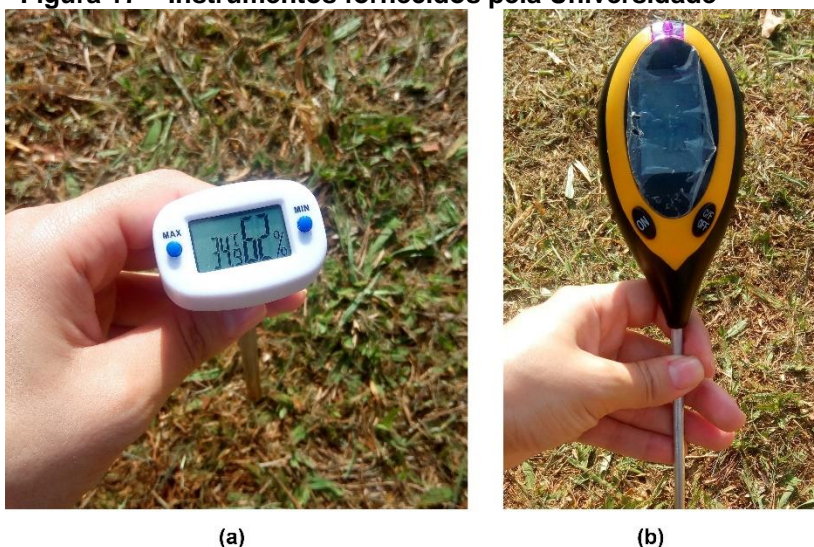
Observação de Superfície Automática, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para dados da região de instalação dos aterramentos.

Os dados climáticos do solo obtidos são umidade (máxima e mínima), temperatura (máxima e mínima) e acidez do solo. A temperatura e umidade foram obtidas por meio do medidor da Figura 17 (a), para obter os dados basta inserir o medidor no solo e apertar os botões de máximo e depois mínimo para conseguir as informações. A acidez do solo foi medida pelo aparelho da Figura 17 (b), assim como o primeiro medidor basta inserir o equipamento no solo e alterar uma chave seletora para a opção “pH”. Todos esses parâmetros foram organizados em tabelas para posterior análise, disponível nos APÊNDICES C e D.

A obtenção dos dados climáticos da região foi realizada através da Estação Meteorológica automática (EMA) da INMET, localizada na cidade de Nova Fátima, região de Cornélio Procópio, cerca de 30 quilômetros do local do experimento. No site da INMET é possível a escolha do período no qual se deseja obter os parâmetros, sendo estes; umidade do ar (máxima e mínima), temperatura (máxima e mínima), radiação, e precipitações. Com a ajuda do programa Microsoft Excel, ferramenta PROCV, foi possível obter apenas os dados do horário de medição (16 horas) diário pelo período de 60 dias. Ao final, foi feita uma tabela com todos esses dados organizados, disponível nos APÊNDICES E e F.

Com esses dados, foram gerados gráficos, com os valores diários de cada parâmetro (no Excel), para posterior análise e comparação.

**Figura 17 – Instrumentos fornecidos pela Universidade**



Fonte: LIMA (2018, P.35)

## 4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os cálculos realizados e os gráficos resultantes com as respectivas análises dos resultados, decorrente da comparação dos dois métodos de sistemas de aterramento aplicados nesse trabalho.

### 4.1. Resistividades e Resistências de terra obtidas

Com os valores de resistências de terra para os dois métodos de aterramento adotados, foram calculadas as suas resistividades. Para isto, foi necessária a manipulação da Equação 2, para Hastes em Triângulo, e da Equação 7, para o Condutor Enterrado Horizontalmente, ambos presentes no item 2.2, isolando as suas resistividades, resultando na Equação 8 e 9. Estas fórmulas foram aplicadas para cada resistência medida, resultando nos valores de resistividades de cada dia, das imediações dos sistemas de aterramentos.

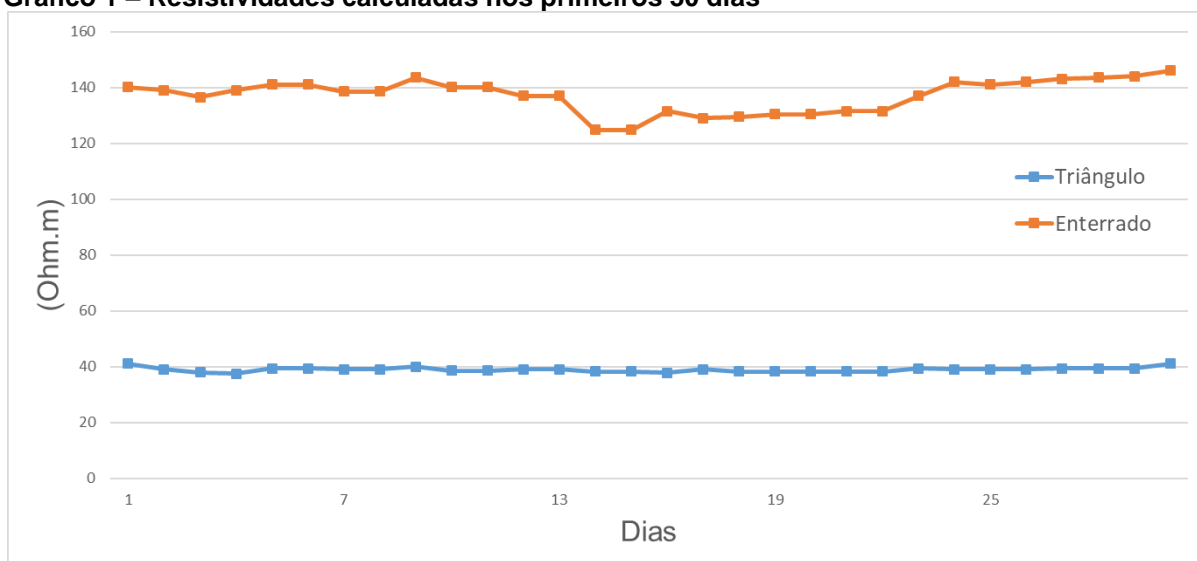
$$\rho a = \frac{R_{eq\Delta} * 2\pi L}{K * \ln\left(\frac{4L}{D}\right)} \quad (8)$$

Lembrando que, para o cálculo do o índice de redução ( $K$ ) foram utilizadas as Equações 3, 5, 1, (item 2.2.1).

$$\rho a = \frac{R * 2\pi L}{\left[ \ln\left(\frac{2L^2}{rp}\right) - 2 + \frac{2p}{L} - \left(\frac{p}{L}\right)^2 + \frac{1}{2} * \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right]} \quad (9)$$

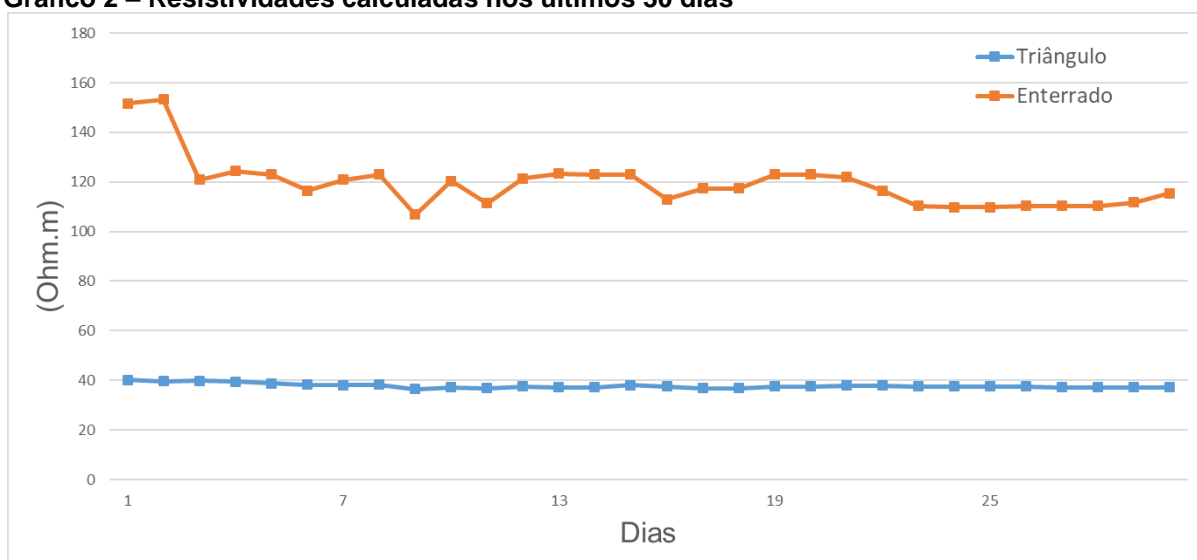
Nos APÊNDICES A e B, podem ser encontrados os valores das resistividades calculadas, nas colunas denominadas “RhT [Ω.m]” para a instalação de Hastes em Triângulo e “RhE [Ω.m]”, para a instalação Condutor Enterrado Horizontalmente.

Os Gráficos 1 e 2 mostram os comportamentos das resistividades de cada sistema de aterramento nos dias de estudo.

**Gráfico 1 – Resistividades calculadas nos primeiros 30 dias**

Fonte: Autoria Própria.

Com as resistividades obtidas, foram calculadas as médias das resistividades para os primeiros 30 dias de medição, resultando em 39,67  $\Omega$ .m, pelas Hastes em Triângulo, e 137,17  $\Omega$ .m pelo Condutor Enterrado Horizontalmente. Depois foram calculadas as médias das resistividades das Hastes em Triângulo e do Condutor Enterrado Horizontalmente dos últimos 30 dias, sendo respectivamente 38,49  $\Omega$ .m e 119,41  $\Omega$ .m.

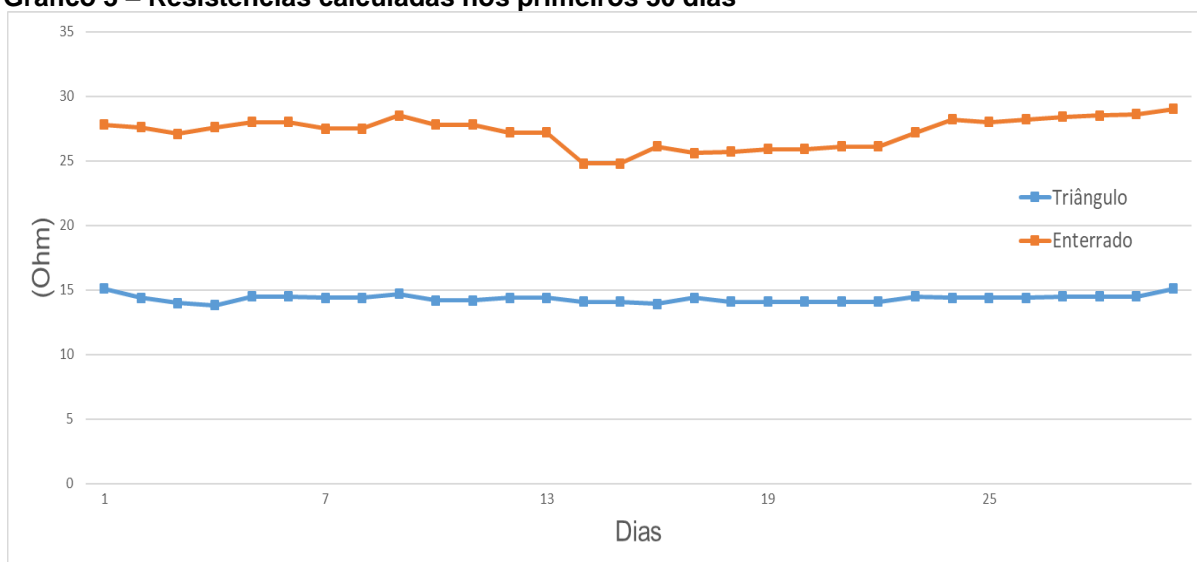
**Gráfico 2 – Resistividades calculadas nos últimos 30 dias**

Fonte: Autoria Própria.

Pode-se observar a diferença significativas dos valores de resistividade entre os dois métodos estudados. Essa diferença deve-se ao fato de que cada tipo de

aterramento adotado nesse trabalho apresenta um fluxo de dispersão de corrente diferente, decorrente das suas estruturas e disposição no solo. Conseqüentemente, os valores das resistências de terra apresentaram o mesmo comportamento, o qual observa-se nos Gráficos 3 e 4.

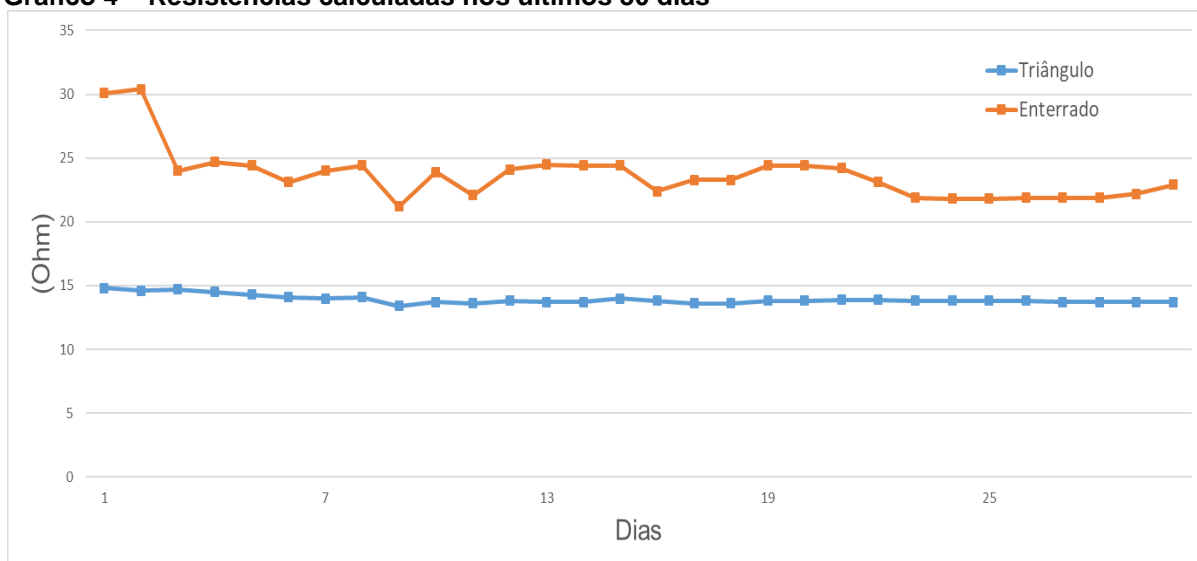
**Gráfico 3 – Resistências calculadas nos primeiros 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

Da mesma forma, as médias das resistências de terra nos primeiros 30 dias foram calculadas, sendo 14,34  $\Omega$ , pelas Hastes em Triângulo, e 27,22  $\Omega$  pelo Condutor Enterrado Horizontalmente. Bem como os cálculos de média das resistências de terra para os últimos 30 dias, respectivamente 13,91  $\Omega$  e 23,70  $\Omega$ .

**Gráfico 4 – Resistências calculadas nos últimos 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

Nos Gráficos 1, 2, 3 e 4, verificou-se um padrão no comportamento das curvas de resistividade de solo e resistência de terra para os dois tipos de aterramentos nos dias de medição, pelo cálculo das resistividades através das Equações 8 e 9, onde todos os valores, exceto a resistência de terra, são constantes. Sendo assim, a resistividade do solo foi escolhida para a comparação com os fatores climáticos, uma vez que, os mesmos exercem influência na resistividade do solo.

Seguidamente foi calculado o desvio padrão dos valores de resistividade e resistência com o intuito de verificar a dispersão desses valores nos dias de medições, a partir da Equação 10 (os valores resultantes são encontrados na Tabela 2).

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum \frac{(xi - média)^2}{(n - 1)}\right)} \quad (10)$$

**Tabela 2 – Desvio padrão para os dois sistemas de aterramento**

Dias	Triângulo		Enterrado	
	Resistência	Resistividade	Resistência	Resistividade
Primeiros 30 dias	0,294	0,793	1,157	5,844
Últimos 30 dias	0,344	0,939	2,082	10,501

**Fonte: Autoria própria**

## 4.2. COMPORTAMENTO CLIMÁTICO E RESISTIVIDADE DO SOLO

O comportamento climático foi observado durante as medições no estudo em questão. Os parâmetros de temperatura do solo, umidade do solo, acidez dos solos, precipitação, e radiação foram comparados individualmente com a resistividade do solo, para cada período de 30 dias de experimentação dos dois métodos de aterramentos.

### 4.2.1. Comparação das temperaturas e umidades

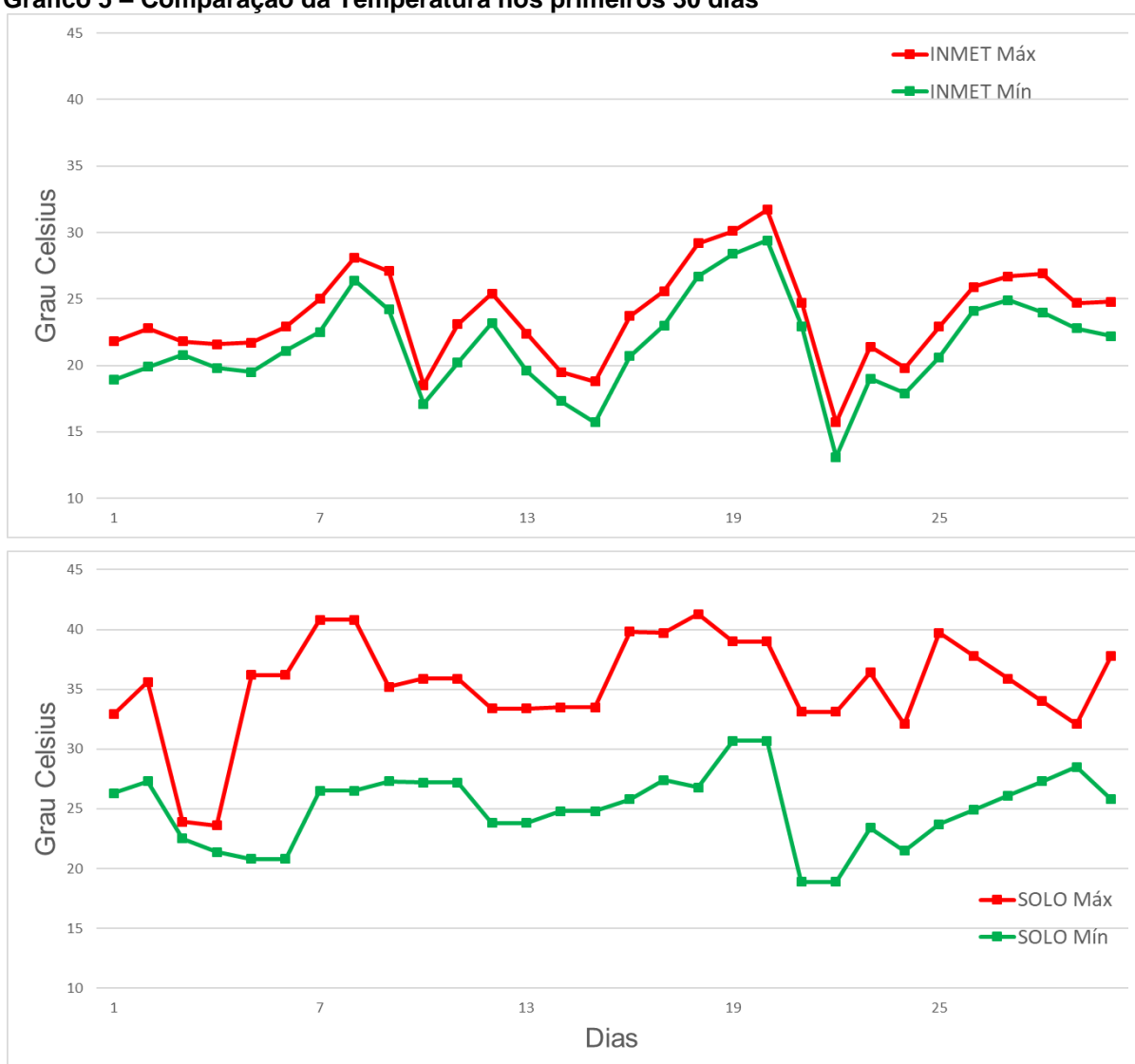
A temperatura como já visto nesse trabalho, no item 2.1.3, influencia na resistividade de um solo, quando muito elevada, a evaporação da água contida no solo ocorre, ou seja, reduz a umidade contida no solo e aumenta a resistividade. Em um outro ponto de vista, pela água conter alto coeficiente negativo de temperatura,

pode-se concluir que a resistividade tende a aumentar com a diminuição de temperatura (VISACRO, 2002).

O clima afeta a umidade, como visto no item 2.1.2, pois se esta apresenta uma alta porcentagem em um determinado solo, faz com que os sais contidos no próprio se dissolvam, formando um meio favorável para a dispersão da corrente, reduzindo a resistividade e aumentando a qualidade do aterramento (KINDERMANN, 2011).

Como pode-se observar, estes parâmetros influenciam nos valores da resistividade, e nos Gráficos 5 e 6 a comparação entre os valores encontrados através do medidor de temperatura, umidade, e da Estação Meteorológica da INMET será realizada.

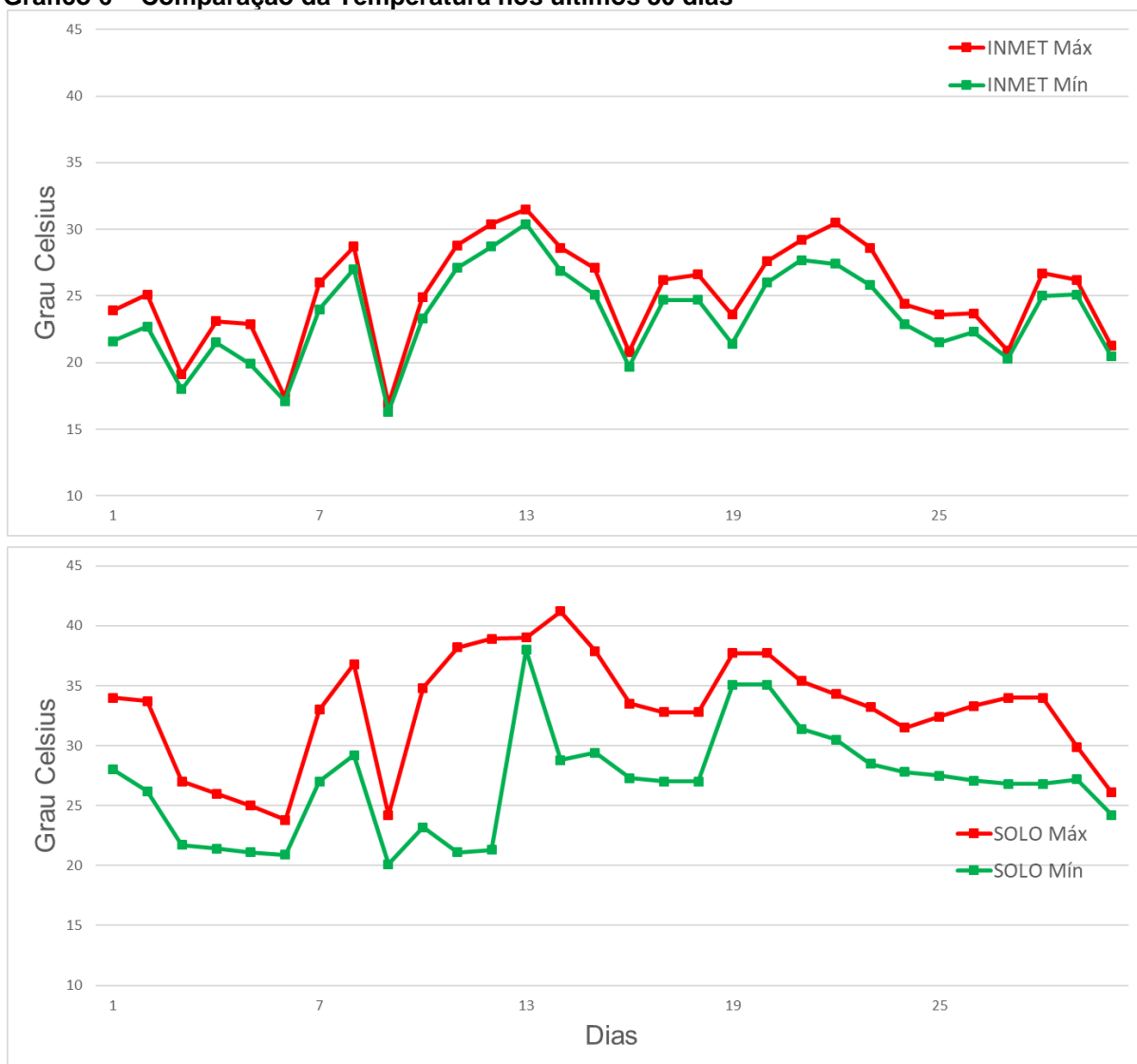
**Gráfico 5 – Comparação da Temperatura nos primeiros 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

Através das temperaturas médias de 22,67 °C do INMET, 30,22 °C do solo, dos primeiros 30 dias de medição, pode-se observar que os valores de temperatura do solo obtidos através das medições pelo aparelho são maiores do que os valores de temperatura do ar medidos pela Estação Meteorológicas, o mesmo acontece para os últimos 30 dias.

**Gráfico 6 – Comparação da Temperatura nos últimos 30 dias**

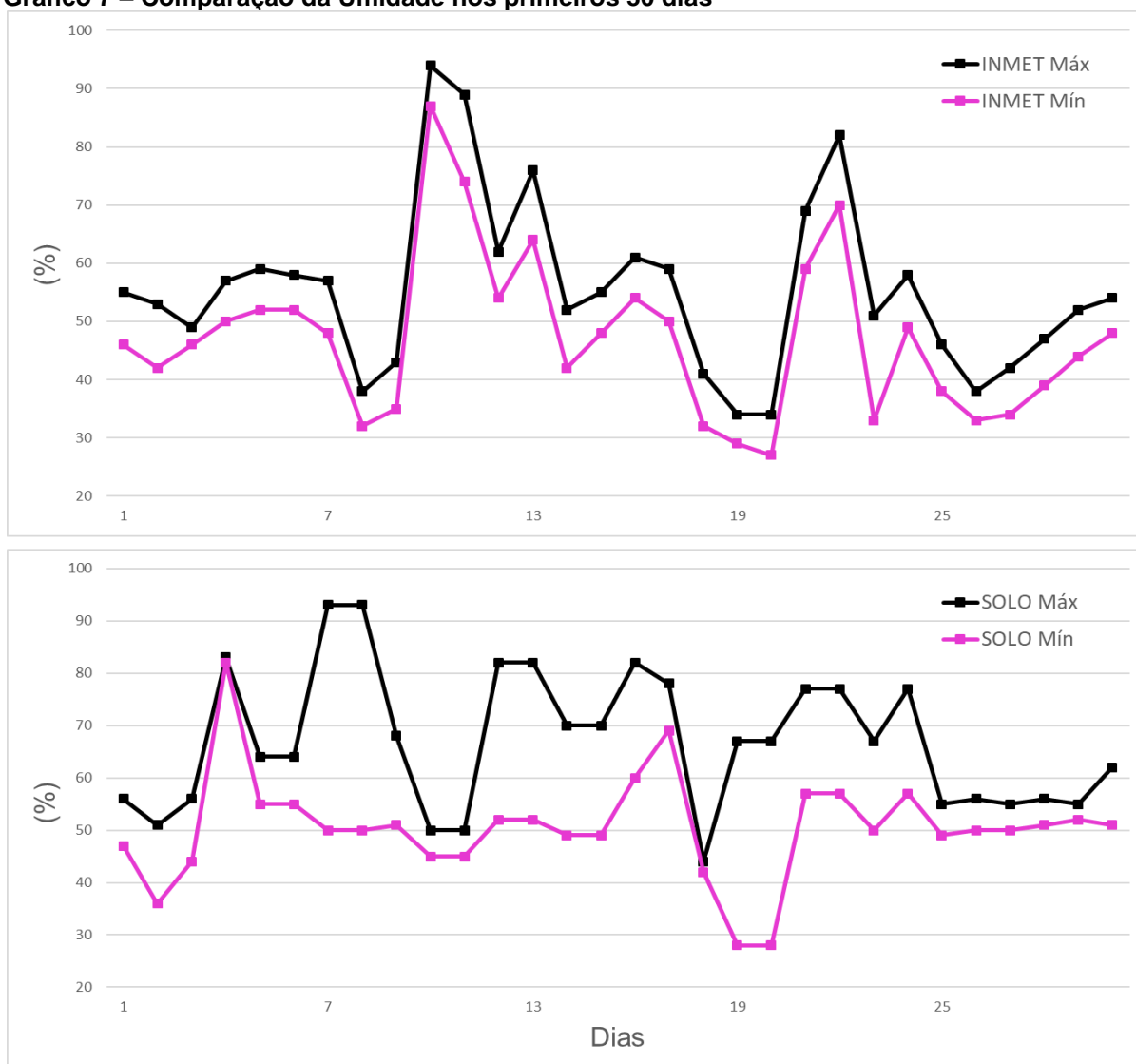


Fonte: Autoria Própria.

A partir do resultado do gráfico acima foram calculadas as temperaturas médias dos últimos 30 dias de medição, apresentando valores de 24,32 °C no INMET, 29,98 °C do solo.

Nos Gráficos 7 e 8 a seguir, apresentam a comparação dos valores de umidade coletadas.

Gráfico 7 – Comparação da Umidade nos primeiros 30 dias

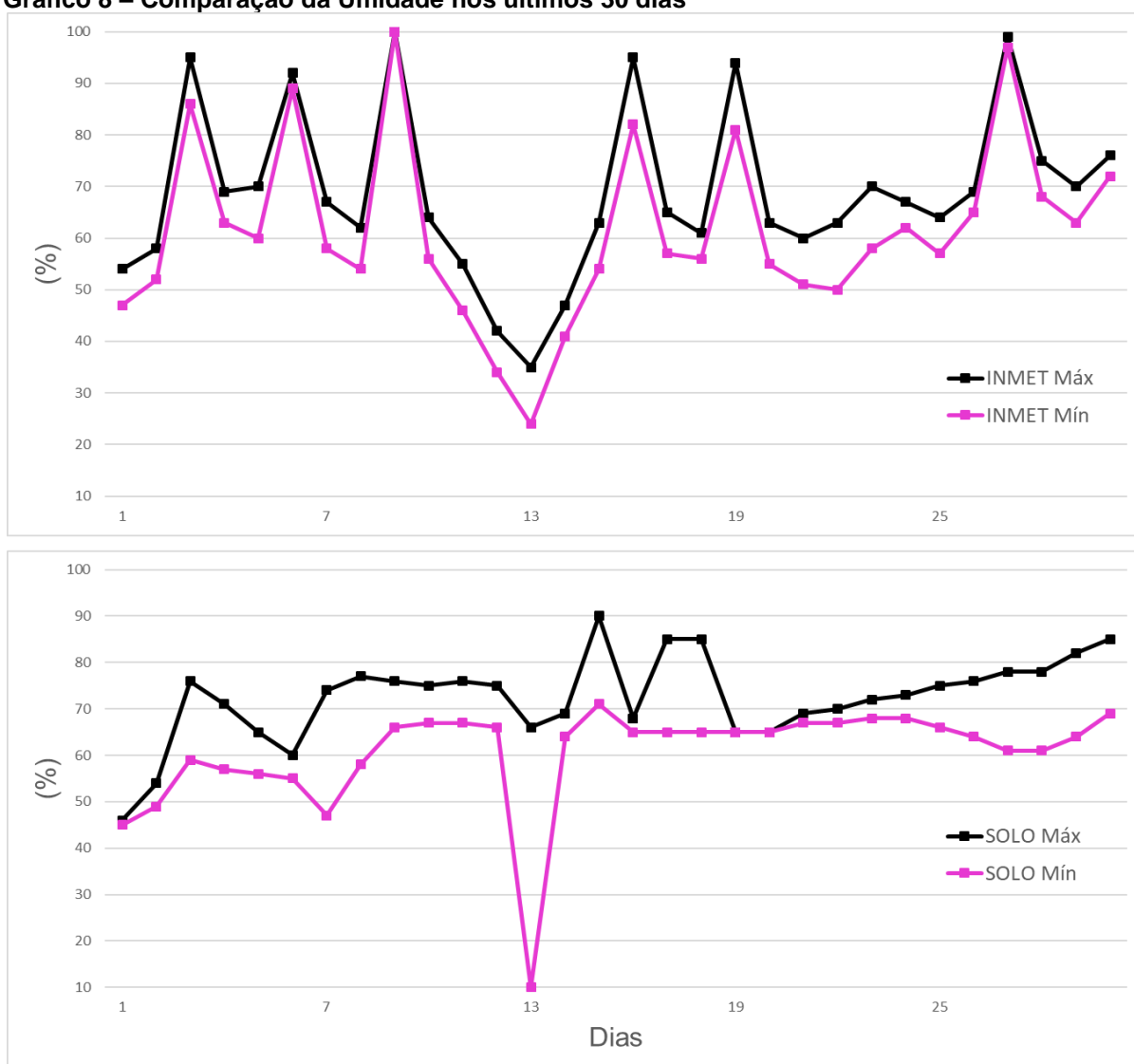


Fonte: Autoria Própria.

Ao realizar uma análise no Gráfico 7, verifica-se que os picos de umidade da Estação Meteorológica são maiores e acontecem com mais frequência, e nos valores do solo, a umidade aponta uma melhor regularidade. Os valores de umidade média são de 51,27 % no INMET, e 58,67 % do solo, para os primeiros dias de medição. Como no caso da temperatura, a umidade também se verifica uma maior precisão nos valores do medidor do que nos obtidos pela Estação Meteorológica da INMET.



Gráfico 8 – Comparação da Umidade nos últimos 30 dias



Fonte: Autoria Própria.

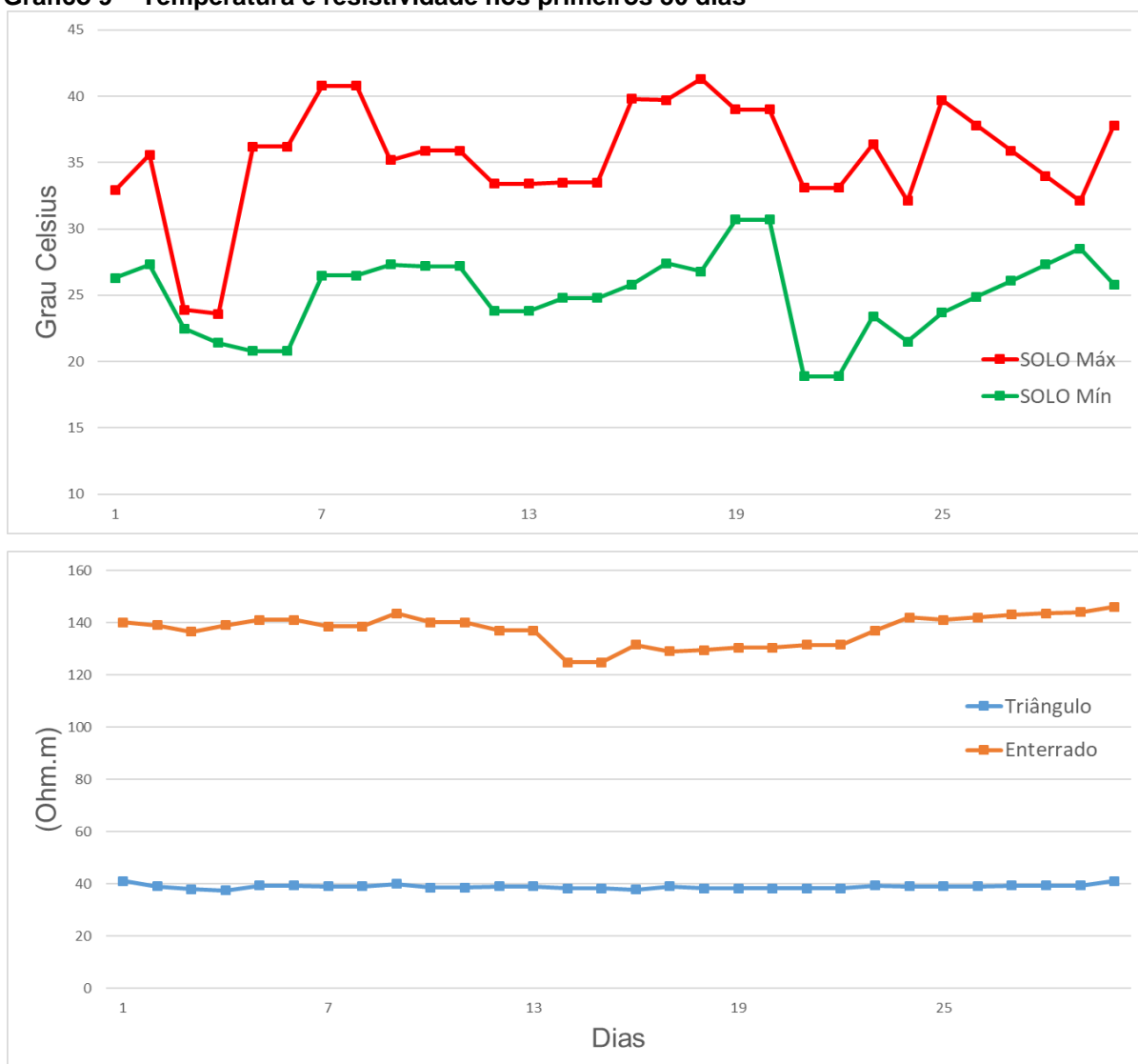
No período dos últimos dias de medição (Gráfico 8), os valores da INMET apresentam vários picos de umidade, mas no dia 13 o menor valor de umidade é registrado, 24 %, os dados do equipamento de medição expõem valores mais constantes, e assim como da INMET, no dia 13 o valor de 10 % é o menor valor de umidade registrado no equipamento. As umidades médias são de 65,03 % no INMET, e 66,55 % do solo, para os últimos dias de medição. Pode-se constatar que os valores médios são próximos, porém a variação dos dados da INMET é maior, sendo que somente pelo valor médio não é possível deduzir esse fato.

Desse modo, o estudo da influência da temperatura e umidade na resistividade dos aterramentos pelo medidor de solo é verificado com uma maior precisão.

#### 4.2.1.1. Temperatura e resistividade

No primeiro período de medição, Gráfico 9, o terceiro dia de medição houve um decréscimo grande na temperatura, conseqüentemente a resistividade diminuiu pouco, nos dois sistemas de aterramento. Pode-se observar também, que a variação da temperatura mínima do solo afeta diretamente o valor da resistividade de ambos os métodos de aterramento, principalmente o Condutor Enterrado Horizontalmente, constatando esse fato no vigésimo quinto dia de medição em diante, onde a temperatura mínima aumenta gradualmente a resistividade do Aterramento de Condutor Enterrado Horizontalmente também aumenta, e de Hastes em Triângulo se mantém constante.

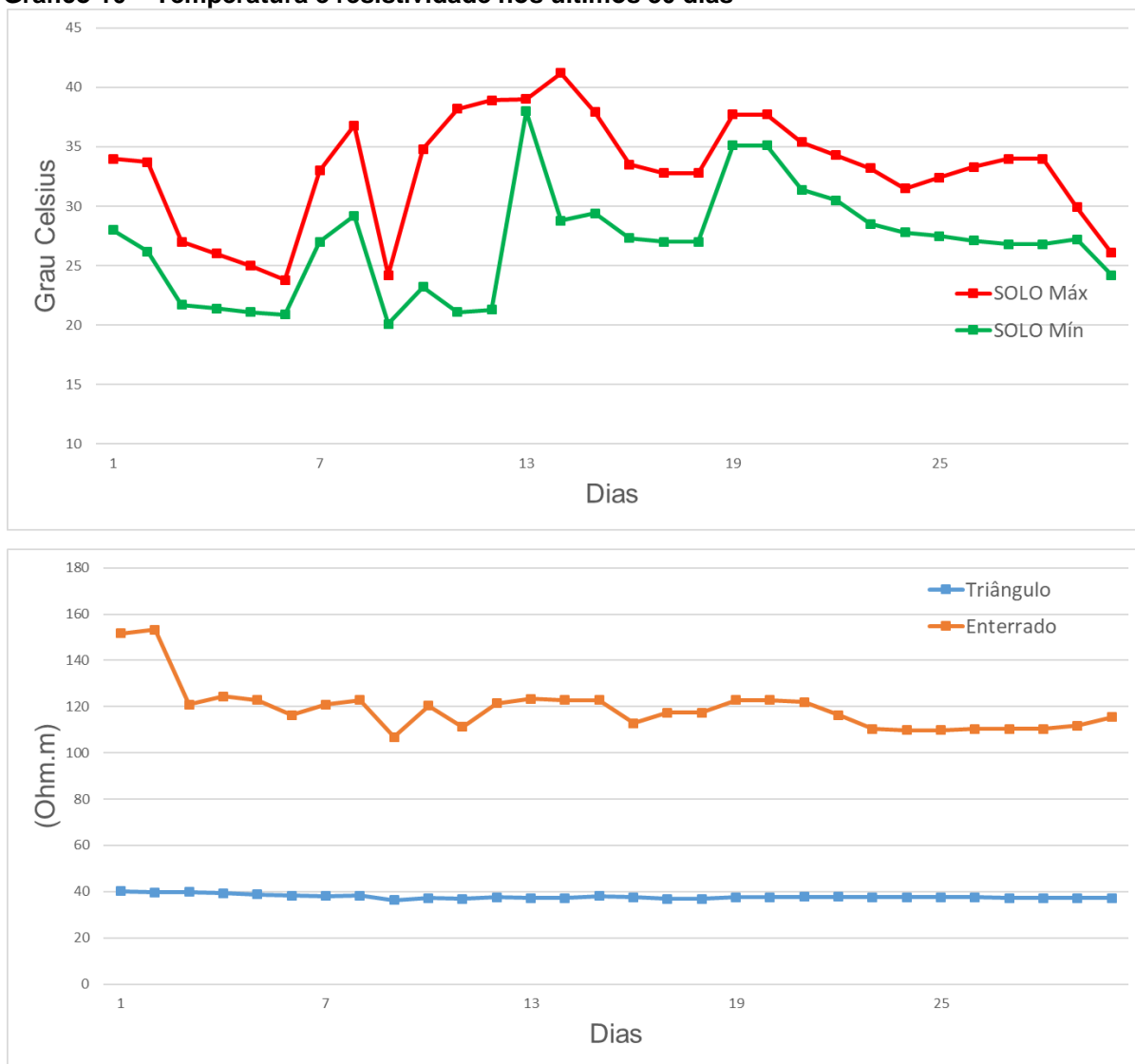
**Gráfico 9 – Temperatura e resistividade nos primeiros 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

No período dos últimos dias de medição (Gráfico 10), o comportamento da resistividade do aterramento de Hastes em triângulo continua constante, entretanto o valor da resistividade de aterramento para o Condutor Enterrado Horizontalmente apresentou variações, as mais evidentes sendo do segundo dia.

**Gráfico 10 – Temperatura e resistividade nos últimos 30 dias**



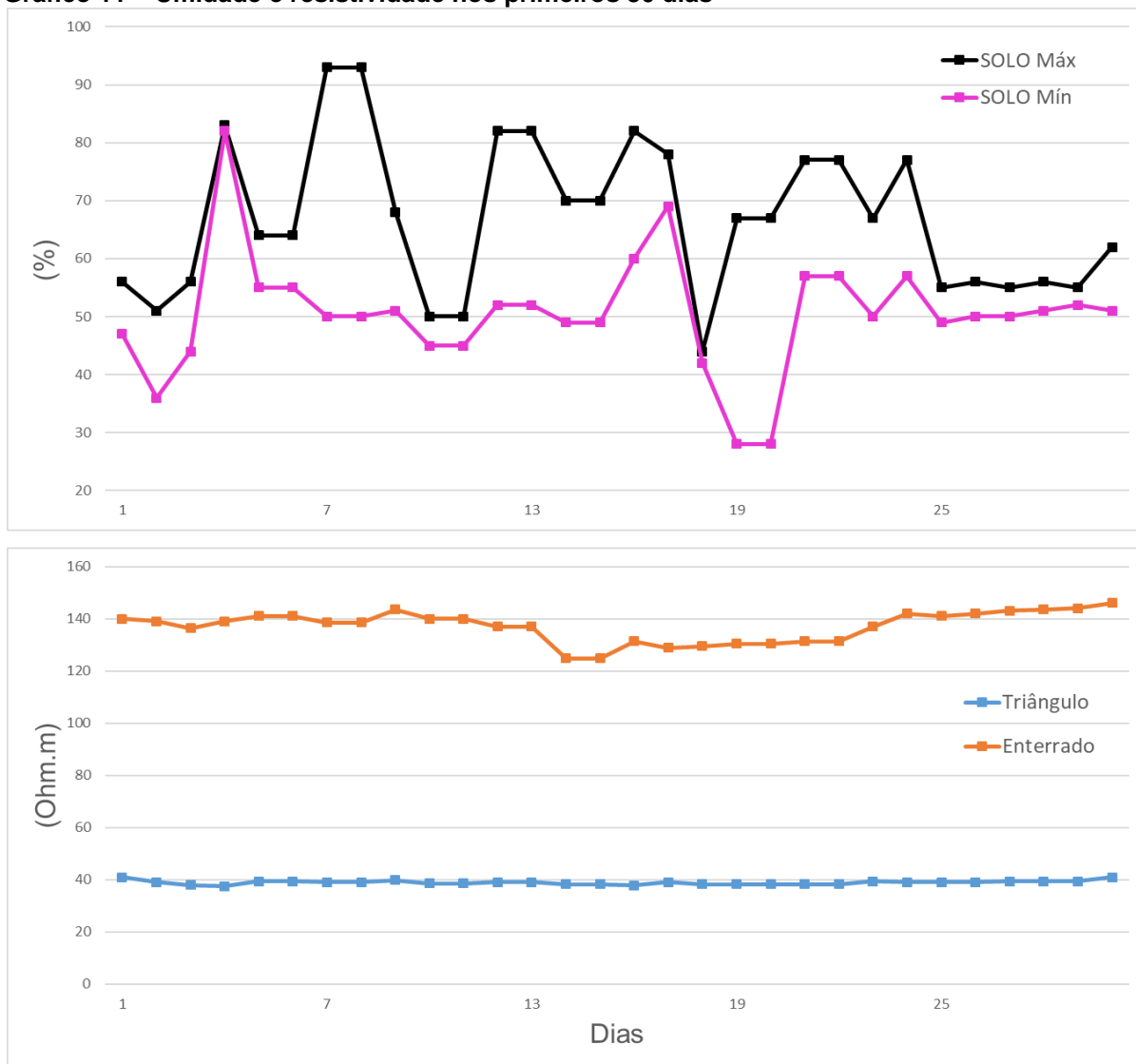
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.1.2. Umidade e resistividade

Como já estudado, no item 2.1.2, a umidade exerce influência na resistividade, indicando o comportamento exponencial visto na Figura 1, porém esse comportamento não é observado no Gráfico 11, visto que, em uma possível explicação, a maioria dos valores de umidade desse período estão entre 45% e 85%,

mantendo também um valor de resistividade constante para ambos os métodos de aterramento.

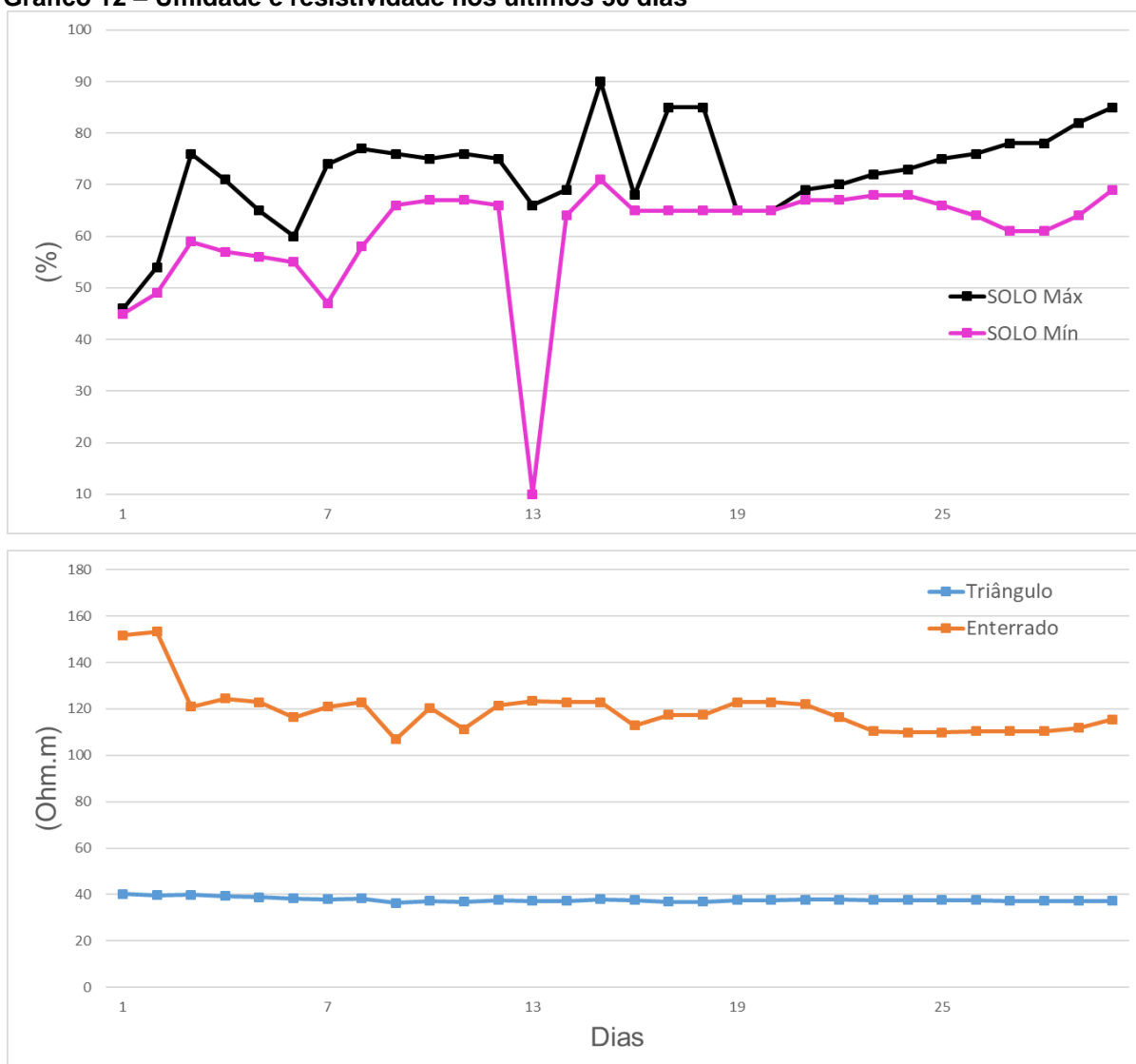
**Gráfico 11 – Umidade e resistividade nos primeiros 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

No Gráfico 12, referente às últimas 30 medições, a média de umidade subiu de 58,67% no primeiro período, para 66,55% no último período. Esse aumento na média explica o grande decréscimo do valor da resistividade para o Condutor Enterrado Horizontalmente e o pequeno decréscimo de resistividade para as Hastes em Triângulo.

Gráfico 12 – Umidade e resistividade nos últimos 30 dias



Fonte: Autoria Própria.

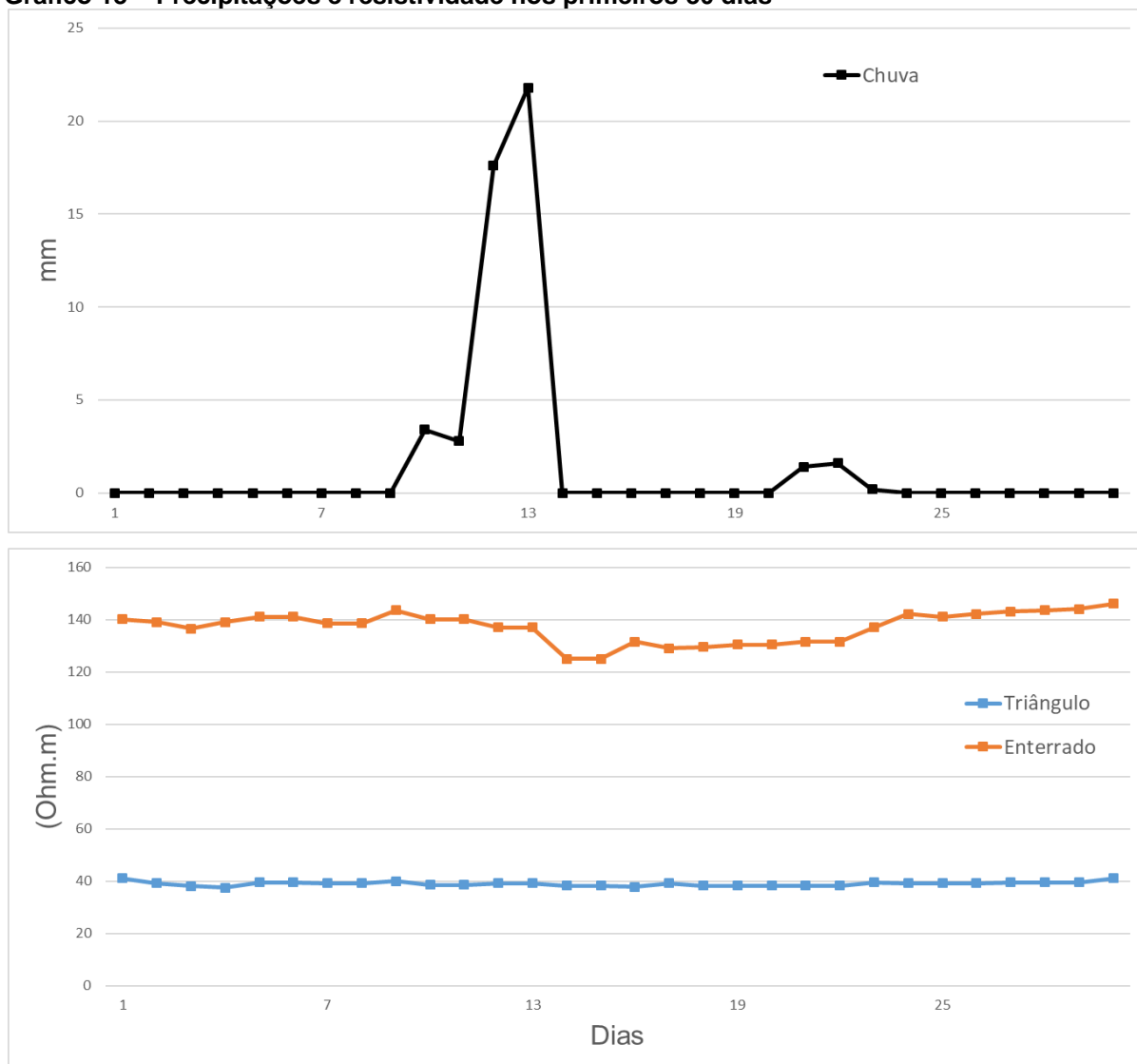
#### 4.2.2. Precipitações e resistividade

A chuva pode ser considerada um dos fatores contribuintes mais significativos quando se trata de umidade do solo, em consequência a resistividade do solo também. Os dados coletados foram tratados em milímetros de precipitações, pelos dados obtidos através da Estação Meteorológica do INMET, traçados nos Gráficos 13 e 14 juntamente com a resistividade dos aterramentos.

No primeiro período, analisado no Gráfico 13, o nível de chuva total do período foi de 48,80 milímetros, sendo que aproximadamente metade desse valor ocorreu no dia 15: 21,80 milímetros; impactando imediatamente no valor da

resistividade do Condutor Enterrado Horizontalmente. Posteriormente com o período de seca, a resistividade desse aterramento passou a aumentar novamente. Para o outro método de aterramento a resistividade permaneceu constante.

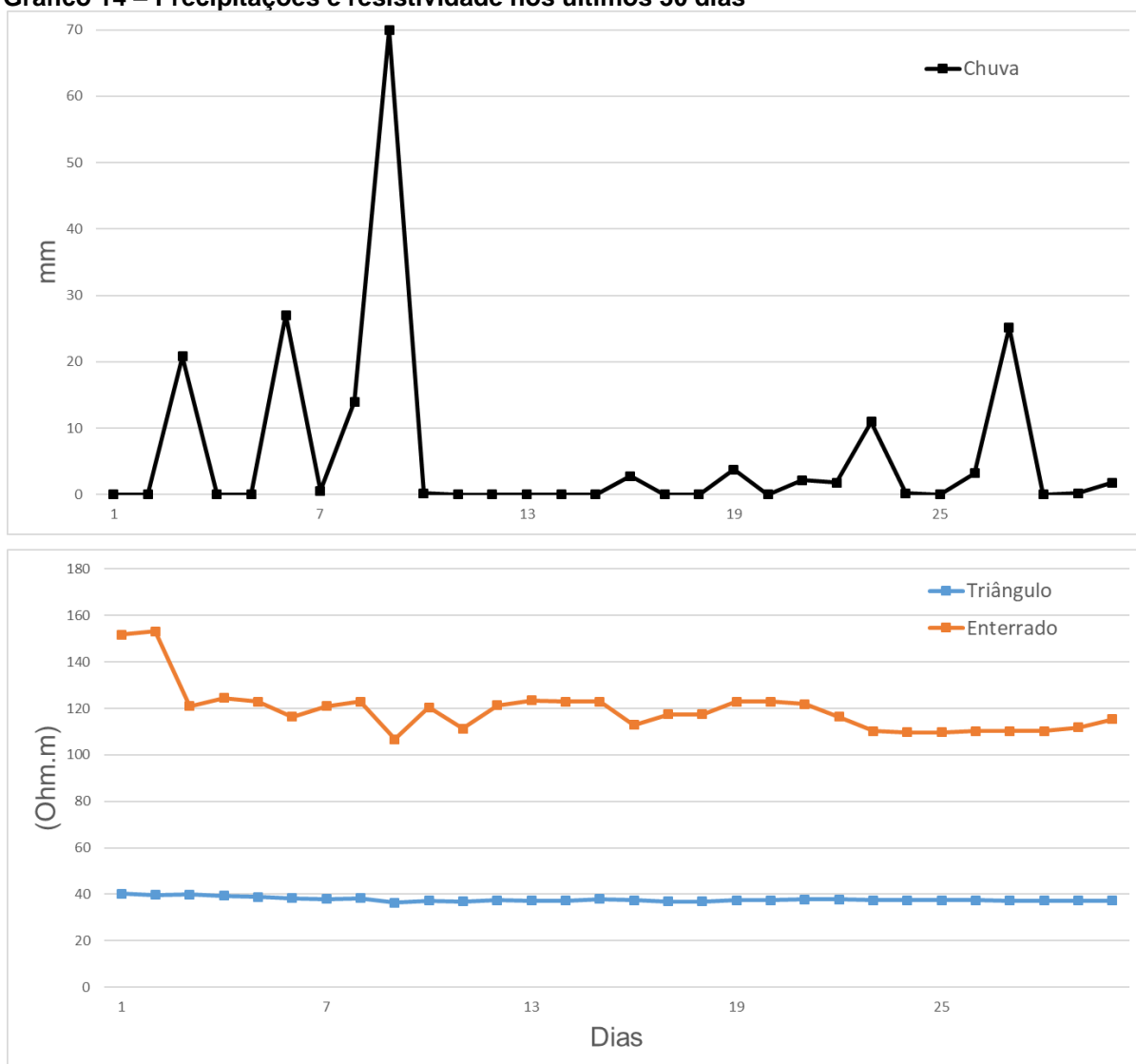
**Gráfico 13 – Precipitações e resistividade nos primeiros 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

No segundo período (Gráfico 14), o nível de chuva total do período foi de 184,80 milímetros, e no nono dia de medição ocorreu o pico de chuva de 70 milímetros. Como a quantidade de chuva do último período foi muito maior do que o primeiro, conseqüentemente a média de resistividade diminuiu para os dois casos, de 39,67  $\Omega.m$  para 38,49  $\Omega.m$  para as Hastes em Triângulo; e 137,17  $\Omega.m$  para 119,41  $\Omega.m$ , no caso do Condutor Enterrado Horizontalmente.

Gráfico 14 – Precipitações e resistividade nos últimos 30 dias



Fonte: Autoria Própria.

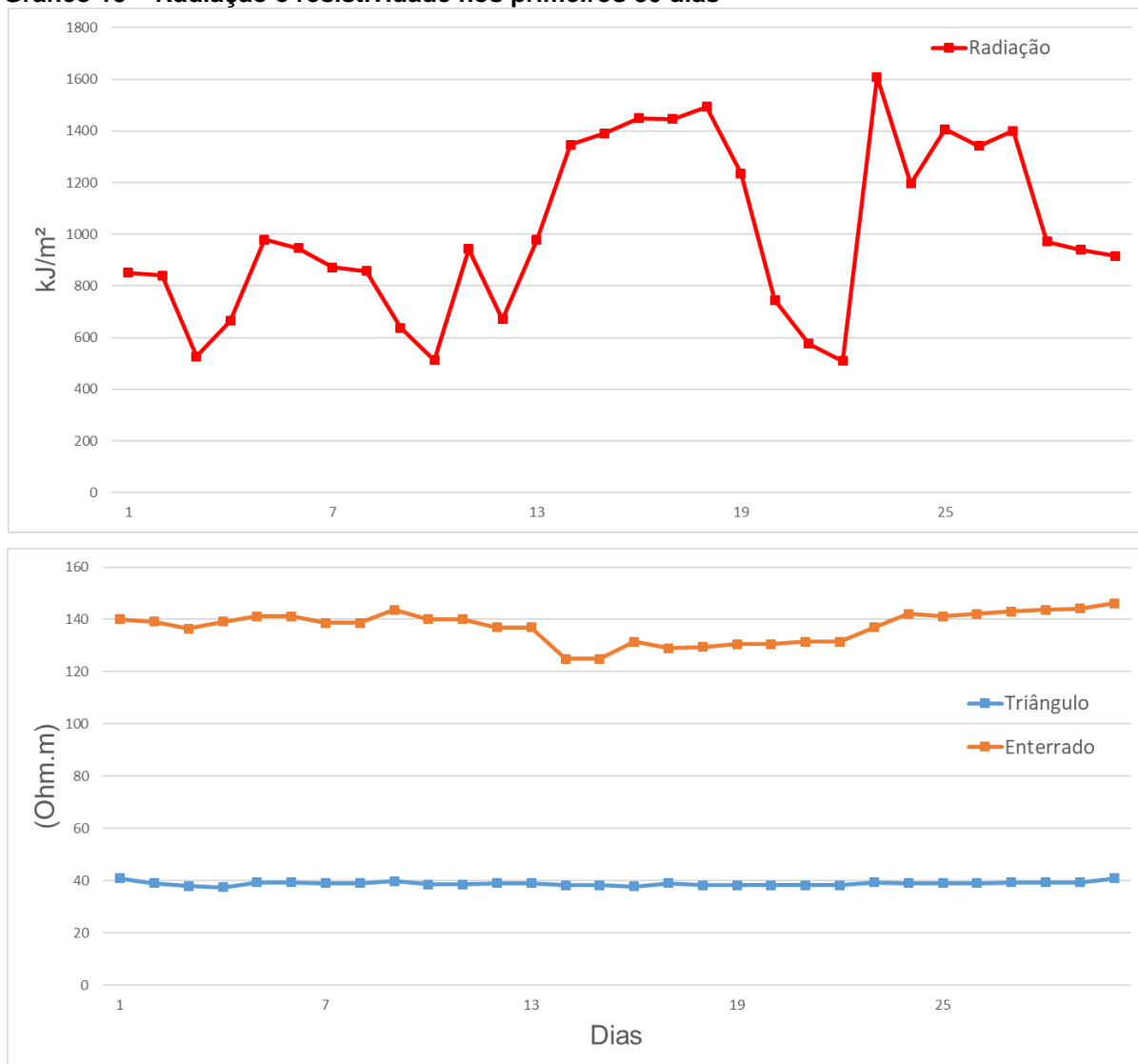
#### 4.2.3. Radiação e resistividade

O potencial da energia solar é a quantidade máxima de radiação solar que atinge uma superfície terrestre, em um dia e em uma determinada região, com ausência de nuvens. Esse fenômeno afeta a superfície sob influência, com a evaporação e aquecimento, sendo estes, fatores que podem alterar a umidade do solo, alterando também a sua resistividade (PEREIRA, 2002).

No Gráfico 15, quando a radiação apresentou um pico elevado no dia 23 (aproximadamente 1610 kJ/m<sup>2</sup>), houve um aumento na resistividade do aterramento do Condutor Enterrado Horizontalmente. Observou-se também, que com vários dias

consecutivos de aumento de radiação, a resistividade do aterramento do Condutor Enterrado Horizontalmente apresenta um crescimento ao longo dos dias.

**Gráfico 15 – Radiação e resistividade nos primeiros 30 dias**

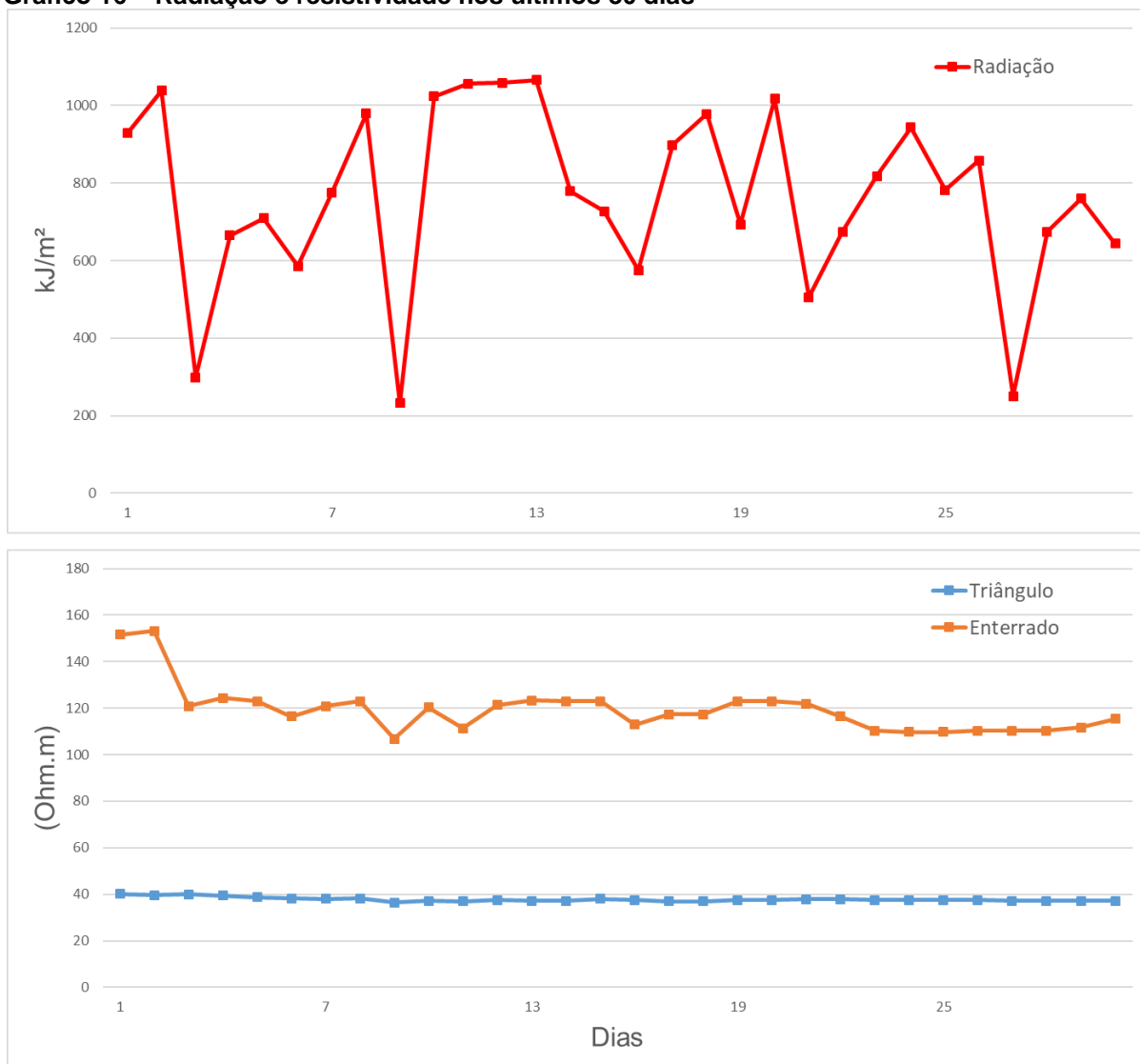


Fonte: Autoria Própria.

A radiação (Gráfico 16), apresenta grande variação nesse período, uma que vez, como dito nessa seção, a presença de nuvens afeta o valor da radiação. Ao analisar o gráfico, verifica-se que para todo decréscimo de radiação há um decréscimo na resistividade do aterramento do Condutor Enterrado Horizontalmente e neste gráfico, assim como no primeiro período, apenas esta resistividade é afetada que é visível.



Gráfico 16 – Radiação e resistividade nos últimos 30 dias



Fonte: Autoria Própria.

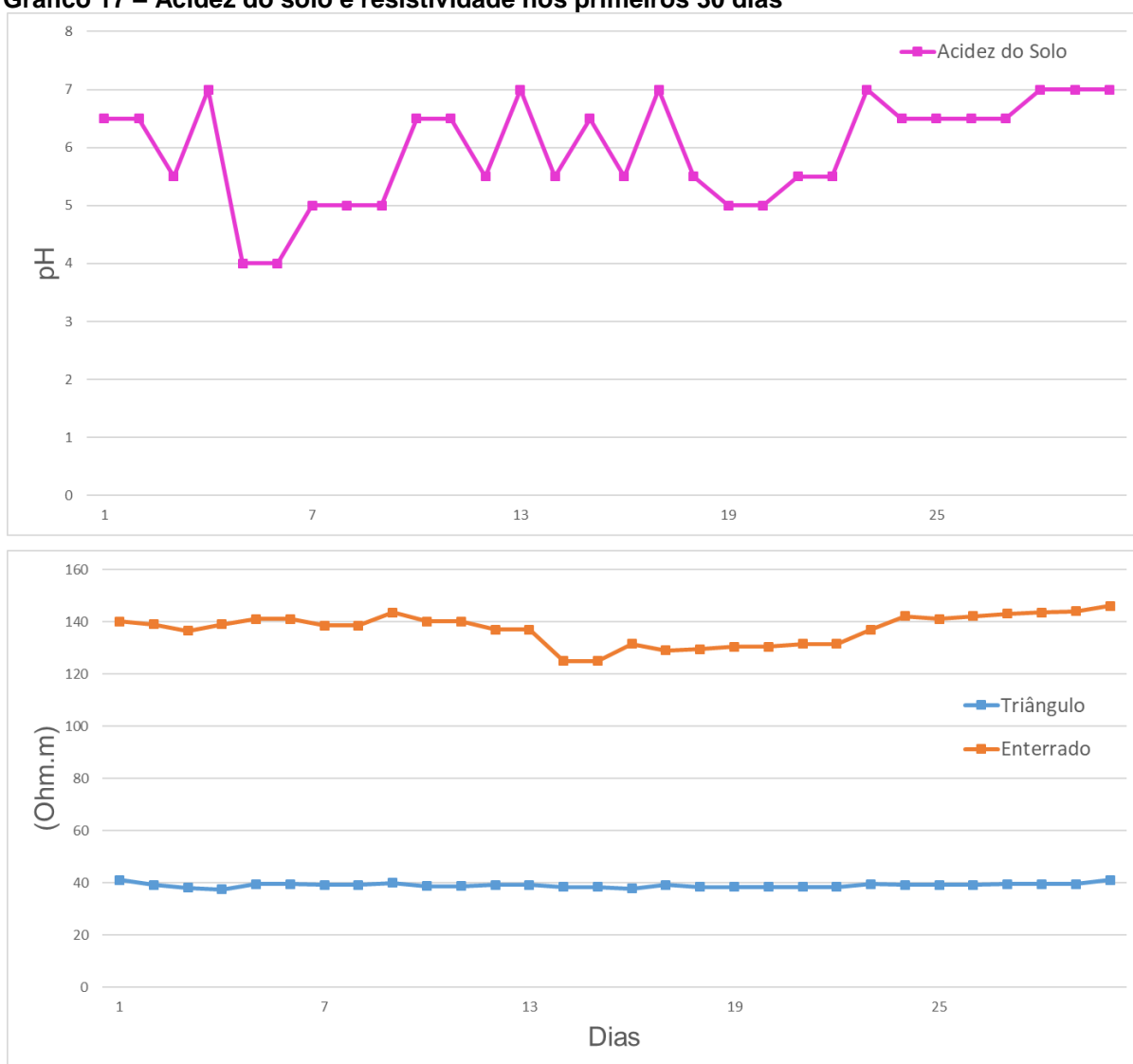
#### 4.2.4. Acidez do solo e resistividade

Outro fator que influencia na resistividade são os sais presentes no solo. A água quando não possui sais, resulta em uma resistividade quase infinita, um isolante, pois é impossível a passagem de corrente elétrica sem ionização. Como a areia é carente de sais minerais, acrescentando água destilada a resistividade altera seu valor minimamente, já que o meio em questão não apresenta condições para o processo de eletrólise (TUMA, 2005).

A acidez do solo nos primeiros 30 dias de medição (Gráfico 17), mostrou um pH médio de 5,97. Lembrando que um solo muito ácido não é adequado, devido

à corrosão galvânica das hastes ou cabos enterrados do sistema de aterramento (KINDERMANN, 2011), i.e., a acidez do solo é necessária para um bom aterramento, porém deve apresentar um baixo valor de acidez para não resultar em problemas na própria instalação.

**Gráfico 17 – Acidez do solo e resistividade nos primeiros 30 dias**

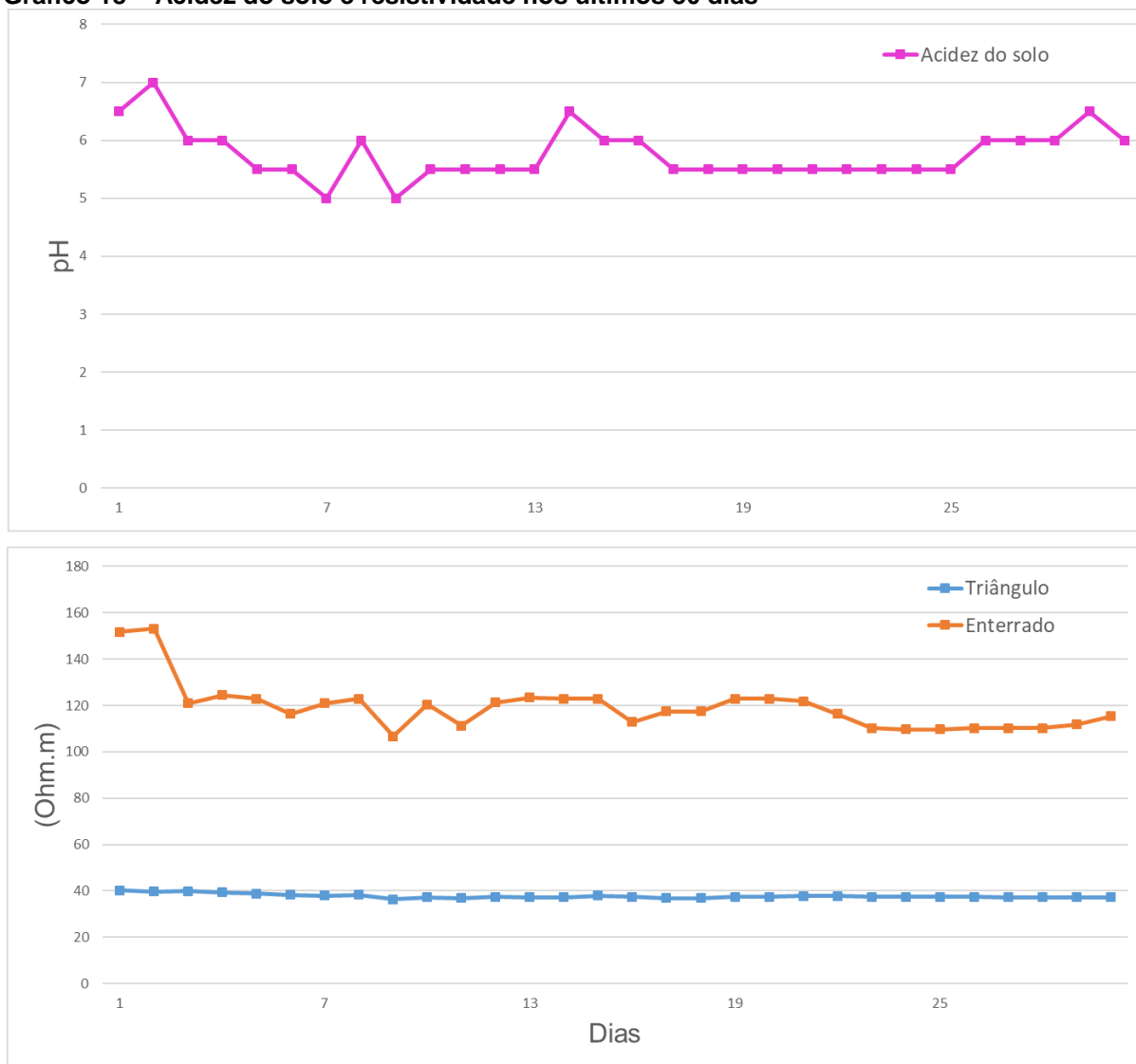


Fonte: Autoria Própria.

Para o segundo e último período (Gráfico 18), a acidez do solo chegou ao valor de pH médio de 5,77; e uma possível explicação para esse decréscimo no valor da média é que nesse período o nível de chuva aumentou, tornando a umidade do solo maior, consequentemente aumentando também a acidez do solo.

Em ambos os períodos, observou-se que esse fator não alterou diretamente os valores das resistividades dos métodos de aterramentos estudados nesse trabalho.

**Gráfico 18 – Acidez do solo e resistividade nos últimos 30 dias**



Fonte: Autoria Própria.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho foi possível desenvolver o conhecimento do funcionamento de diferentes tipos de aterramentos e seus possíveis resultados nos valores de resistência de terra e resistividade do solo, em comparação do clima da região de estudo. Os valores de resistências de terra dos aterramentos nos dias de medições se apresentaram entre 13,4  $\Omega$  a 15,1  $\Omega$  para as Hastes em Triângulo, e 21,2  $\Omega$  a 30,4  $\Omega$  para o Condutor Enterrado Horizontalmente. Para a resistividade do solo os valores variaram entre 36,4  $\Omega.m$  a 41  $\Omega.m$  para as Hastes em Triângulo, e 106,8  $\Omega.m$  a 153,2  $\Omega.m$  para o Condutor Enterrado Horizontalmente. Esses valores demonstram que o aterramento de Hastes em Triângulo apresenta uma maior regularidade entre os valores acima, e uma estabilidade principalmente no valor de resistência de terra em relação as mudanças climáticas da região, o outro método de aterramento, com base nesses valores, mostrou-se mais sensível à mudanças climáticas, comprovando que o método de aterramento de Hastes em Triângulo, de fato, é melhor e mais seguro para o tipo de instalação feita neste estudo experimental do que o aterramento do Condutor Enterrado Horizontalmente.

Dos fatores climáticos observados, os que apresentaram maior influência foram as variações de temperatura do solo e as precipitações, não por sua ocorrência em apenas um dia, mas pelo acontecimento em dias seguidos. Pode-se observar que após dias de chuva, os índices de resistividade e resistência de terra diminuíram. Já em períodos de dias com temperatura elevadas e estiagem, as resistências e resistividades eram elevadas. O aterramento de Condutor Enterrado Horizontalmente sofria mais alterações a esses fatores climáticos, onde aumentos e quedas nas curvas de resistividade e resistência de terra foram maiores. Para o aterramento de Hastes em Triângulo a estabilidade dos índices de resistividade e resistência de terra em relação a esses fatores climáticos foi evidente.

Para os trabalhos futuros, facilitar a obtenção dos dados medidos é necessária, adotando técnicas automáticas de medições diárias e armazenamento das resistências de terra, com um sistema microcontrolado gerenciando e transmitindo automaticamente os dados. Utilizar o método de Wenner para um completo estudo da resistividade do solo da região em que o sistema de aterramento está instalado, para isto é obrigatório substituir o terrômetro de três entradas para um de quatro entradas, melhorando o estudo da resistividade do solo da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5410**. Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5419**. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2004.

CAPELLI, Alexandre. Saber Eletrônica. **Aterramento Elétrico**. São Paulo, n. 329, p. 56-59, jul. 2000. Disponível em: < <https://goo.gl/UP5mcj>>. Acesso em: 9 mai. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário de Energia Elétrica 2017. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2018.

GORLINSKI, Virginia. Karl August Steinheil. Encyclopaedia Britannica, nov. 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/skPCX8>>. Acesso em: 8 mai. 2018.

LIMA, Giovana P. dos S. **Método alternativo para diminuição da resistência de terra utilizando cristal absorvente líquido**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge M. **Aterramento Elétrico**. Florianópolis: LabPlan, 2011.

MAMEDE, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 8 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2010.

PEREIRA, André Belmont; VRISMAN, Augusto Leandro; GALVANI, Emerson. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Sci. agric. (Piracicaba, Brasil.)**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 211-216, Junho 2002.

PRUDCHENKO, Kate. História do aterramento elétrico. Ehow Brasil, abr. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/JEVJfb>>. Acesso em: 8 mai. 2018.

TUMA, E. T. **Proposta De Um Novo Modelo Para Análise Dos Comportamentos Transitório E Estacionário De Sistemas De Aterramento, Usando-Se O Método FDTD**. 2005. 146f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2005.

VISACRO, Silvério F. **Aterramento Elétrico: Conceitos básicos, Técnicas de Medição e Instrumentação, Filosofias de Aterramento**. São Paulo: ArtLiber, 2002.

WALENIA, Paulo S. **Projetos Elétricos Industriais**. Curitiba: Base Didáticos, 2008.

## APÊNDICE A – Resistência e resistividades dos primeiros 30 dias de medição

MEDIÇÕES: Hastes em Triângulo e Condutor Enterrado Horizontalmente				
Dias	RehT [ $\Omega$ ]	RhT [ $\Omega.m$ ]	RehE [ $\Omega$ ]	RhE [ $\Omega.m$ ]
<b>13/ago</b>	15,1	41	27,8	140,1
<b>14/ago</b>	14,4	39,1	27,6	139,1
<b>15/ago</b>	14	38	27,1	136,5
<b>16/ago</b>	13,8	37,5	27,6	139,1
<b>17/ago</b>	14,5	39,4	28	141,1
<b>18/ago</b>	14,5	39,4	28	141,1
<b>19/ago</b>	14,4	39,1	27,5	138,6
<b>20/ago</b>	14,4	39,1	27,5	138,6
<b>21/ago</b>	14,7	39,9	28,5	143,6
<b>22/ago</b>	14,2	38,6	27,8	140,1
<b>23/ago</b>	14,2	38,6	27,8	140,1
<b>24/ago</b>	14,4	39,1	27,2	137
<b>25/ago</b>	14,4	39,1	27,2	137
<b>26/ago</b>	14,1	38,3	24,8	124,9
<b>27/ago</b>	14,1	38,3	24,8	124,9
<b>28/ago</b>	13,9	37,8	26,1	131,5
<b>29/ago</b>	14,4	39,1	25,6	129
<b>30/ago</b>	14,1	38,3	25,7	129,5
<b>31/ago</b>	14,1	38,3	25,9	130,5
<b>01/set</b>	14,1	38,3	25,9	130,5
<b>02/set</b>	14,1	38,3	26,1	131,5
<b>03/set</b>	14,1	38,3	26,1	131,5
<b>04/set</b>	14,5	39,4	27,2	137
<b>05/set</b>	14,4	39,1	28,2	142,1
<b>06/set</b>	14,4	39,1	28	141,1
<b>07/set</b>	14,4	39,1	28,2	142,1
<b>08/set</b>	14,5	39,4	28,4	143,1
<b>09/set</b>	14,5	39,4	28,5	143,6
<b>10/set</b>	14,5	39,4	28,6	144,1
<b>11/set</b>	15,1	41	29	146,1

Onde:

RehT: Resistência de terra do aterramento de Hastes em Triângulo [ $\Omega$ ];

RhT: Resistividade do solo do aterramento de Hastes em Triângulo [ $\Omega.m$ ];

RehE: Resistência de terra do aterramento de Condutor Enterrado horizontalmente [ $\Omega$ ];

RhE: Resistividade do solo do aterramento de Condutor Enterrado horizontalmente [ $\Omega.m$ ].

### APÊNDICE B – Resistência e resistividades dos últimos 30 dias de medição

MEDIÇÕES: Hastes em Triângulo e Condutor Enterrado Horizontalmente				
Dias	RehT [ $\Omega$ ]	RhT [ $\Omega.m$ ]	RehE [ $\Omega$ ]	RhE [ $\Omega.m$ ]
<b>12/set</b>	14,8	40,2	30,1	151,7
<b>13/set</b>	14,6	39,7	30,4	153,2
<b>14/set</b>	14,7	39,9	24	120,9
<b>15/set</b>	14,5	39,4	24,7	124,4
<b>16/set</b>	14,3	38,8	24,4	122,9
<b>17/set</b>	14,1	38,3	23,1	116,4
<b>18/set</b>	14	38	24	120,9
<b>19/set</b>	14,1	38,3	24,4	122,9
<b>20/set</b>	13,4	36,4	21,2	106,8
<b>21/set</b>	13,7	37,2	23,9	120,4
<b>22/set</b>	13,6	36,9	22,1	111,3
<b>23/set</b>	13,8	37,5	24,1	121,4
<b>24/set</b>	13,7	37,2	24,5	123,4
<b>25/set</b>	13,7	37,2	24,4	122,9
<b>26/set</b>	14	38	24,4	122,9
<b>27/set</b>	13,8	37,5	22,4	112,9
<b>28/set</b>	13,6	36,9	23,3	117,4
<b>29/set</b>	13,6	36,9	23,3	117,4
<b>30/set</b>	13,8	37,5	24,4	122,9
<b>01/out</b>	13,8	37,5	24,4	122,9
<b>02/out</b>	13,9	37,8	24,2	121,9
<b>03/out</b>	13,9	37,8	23,1	116,4
<b>04/out</b>	13,8	37,5	21,9	110,3
<b>05/out</b>	13,8	37,5	21,8	109,8
<b>06/out</b>	13,8	37,5	21,8	109,8
<b>07/out</b>	13,8	37,5	21,9	110,3
<b>08/out</b>	13,7	37,2	21,9	110,3
<b>09/out</b>	13,7	37,2	21,9	110,3
<b>10/out</b>	13,7	37,2	22,2	111,8
<b>11/out</b>	13,7	37,2	22,9	115,4

**APÊNDICE C – Dados climáticos do solo dos primeiros 30 dias de medição**

<b>Dia</b>	<b>T (°C) min</b>	<b>T (°C) máx</b>	<b>U min (%)</b>	<b>U máx (%)</b>	<b>pH</b>
<b>13/ago</b>	32,9	32,9	47	56	6,5
<b>14/ago</b>	27,3	35,6	36	51	6,5
<b>15/ago</b>	22,5	23,9	44	56	5,5
<b>16/ago</b>	21,4	23,6	82	83	7
<b>17/ago</b>	20,8	36,2	55	64	4
<b>18/ago</b>	20,8	36,2	55	64	4
<b>19/ago</b>	26,5	40,8	50	93	5
<b>20/ago</b>	26,5	40,8	50	93	5
<b>21/ago</b>	27,3	35,2	51	68	5
<b>22/ago</b>	27,2	35,9	45	50	6,5
<b>23/ago</b>	27,2	35,9	45	50	6,5
<b>24/ago</b>	23,8	33,4	52	82	4
<b>25/ago</b>	23,8	33,4	52	82	7
<b>26/ago</b>	24,8	33,5	49	70	4
<b>27/ago</b>	24,8	33,5	49	70	6,5
<b>28/ago</b>	25,8	39,8	60	82	5,5
<b>29/ago</b>	27,4	39,7	69	78	7
<b>30/ago</b>	26,8	41,3	42	44	5,5
<b>31/ago</b>	30,7	39	28	67	5
<b>01/set</b>	30,7	39	28	67	5
<b>02/set</b>	18,9	33,1	57	77	5,5
<b>03/set</b>	18,9	33,1	57	77	5,5
<b>04/set</b>	23,4	36,4	50	67	7
<b>05/set</b>	21,5	32,1	57	77	6,5
<b>06/set</b>	23,7	39,7	49	55	6,5
<b>07/set</b>	24,9	37,8	50	56	6,5
<b>08/set</b>	26,1	35,9	50	55	6,5
<b>09/set</b>	27,3	34	51	56	7
<b>10/set</b>	28,5	32,1	52	55	7
<b>11/set</b>	25,8	37,8	51	62	7



**APÊNDICE D – Dados climáticos do solo dos últimos 30 dias de medição**

<b>Dia</b>	<b>T (°C) min</b>	<b>T (°C) máx</b>	<b>U min (%)</b>	<b>U máx (%)</b>	<b>pH</b>
12/set	28	34	45	46	6,5
13/set	26,2	33,7	49	54	7
14/set	21,7	27	59	76	6
15/set	21,4	26	57	71	6
16/set	21,1	25	56	65	5,5
17/set	20,9	23,8	55	60	5,5
18/set	27	33	47	74	5
19/set	29,2	36,8	58	77	6
20/set	20,1	24,2	66	76	5
21/set	23,2	34,8	67	75	5,5
22/set	21,1	38,2	67	76	5,5
23/set	21,3	38,9	66	75	5,5
24/set	38	39	10	66	5,5
25/set	28,8	41,2	64	69	6,5
26/set	29,4	37,9	71	90	6
27/set	27,3	33,5	65	68	6
28/set	27	32,8	65	85	5,5
29/set	27	32,8	65	85	5,5
30/set	35,1	37,7	65	65	5,5
01/out	35,1	37,7	65	65	5,5
02/out	31,4	35,4	67	69	5,5
03/out	30,5	34,3	67	70	5,5
04/out	28,5	33,2	68	72	5,5
05/out	27,8	31,5	68	73	5,5
06/out	27,5	32,4	66	75	5,5
07/out	27,1	33,3	64	76	6
08/out	26,8	34	61	78	6
09/out	26,8	34	61	78	6
10/out	27,2	29,9	64	82	6,5
11/out	24,2	26,1	69	85	6

**APÊNDICE D – Dados climáticos do INMET dos primeiros 30 dias de medição**

<b>Dia</b>	<b>T (°C) min</b>	<b>T (°C) máx</b>	<b>U min (%)</b>	<b>U máx (%)</b>	<b>Radiação (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chuva (mm)</b>
<b>13/ago</b>	18,9	21,8	46	55	851,27	0,00
<b>14/ago</b>	19,9	22,8	42	53	840,07	0,00
<b>15/ago</b>	20,8	21,8	46	49	526,48	0,00
<b>16/ago</b>	19,8	21,6	50	57	664,33	0,00
<b>17/ago</b>	19,5	21,7	52	59	979,76	0,00
<b>18/ago</b>	21,1	22,9	52	58	946,55	0,00
<b>19/ago</b>	22,5	25	48	57	872,30	0,00
<b>20/ago</b>	26,4	28,1	32	38	857,68	0,00
<b>21/ago</b>	24,2	27,1	35	43	638,34	0,00
<b>22/ago</b>	17,1	18,5	87	94	513,32	3,40
<b>23/ago</b>	20,2	23,1	74	89	943,23	2,80
<b>24/ago</b>	23,2	25,4	54	62	670,30	17,60
<b>25/ago</b>	19,6	22,4	64	76	977,67	21,80
<b>26/ago</b>	17,3	19,5	42	52	1345,68	0,00
<b>27/ago</b>	15,7	18,8	48	55	1390,67	0,00
<b>28/ago</b>	20,7	23,7	54	61	1449,96	0,00
<b>29/ago</b>	23	25,6	50	59	1445,86	0,00
<b>30/ago</b>	26,7	29,2	32	41	1492,92	0,00
<b>31/ago</b>	28,4	30,1	29	34	1235,96	0,00
<b>01/set</b>	29,4	31,7	27	34	745,23	0,00
<b>02/set</b>	22,9	24,7	59	69	575,79	1,40
<b>03/set</b>	13,1	15,7	70	82	509,52	1,60
<b>04/set</b>	19	21,4	33	51	1609,08	0,20
<b>05/set</b>	17,9	19,8	49	58	1195,41	0,00
<b>06/set</b>	20,6	22,9	38	46	1406,50	0,00
<b>07/set</b>	24,1	25,9	33	38	1341,27	0,00
<b>08/set</b>	24,9	26,7	34	42	1400,54	0,00
<b>09/set</b>	24	26,9	39	47	970,65	0,00
<b>10/set</b>	22,8	24,7	44	52	940,42	0,00
<b>11/set</b>	22,2	24,8	48	54	915,58	0,00

**APÊNDICE E – Dados climáticos do INMET dos últimos 30 dias de medição**

<b>Dia</b>	<b>T (°C) min</b>	<b>T (°C) máx</b>	<b>U min (%)</b>	<b>U máx (%)</b>	<b>Radiação (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chuva (mm)</b>
<b>12/set</b>	21,6	23,9	47	54	929,35	0,00
<b>13/set</b>	22,7	25,1	52	58	1038,62	0,00
<b>14/set</b>	18	19,1	86	95	298,66	20,80
<b>15/set</b>	21,5	23,1	63	69	665,03	0,00
<b>16/set</b>	19,9	22,9	60	70	709,23	0,00
<b>17/set</b>	17,1	17,4	89	92	585,99	27,00
<b>18/set</b>	24	26	58	67	776,13	0,60
<b>19/set</b>	27	28,7	54	62	978,71	14,00
<b>20/set</b>	16,3	16,9	100	100	232,53	70,00
<b>21/set</b>	23,3	24,9	56	64	1024,04	0,20
<b>22/set</b>	27,1	28,8	46	55	1056,20	0,00
<b>23/set</b>	28,7	30,4	34	42	1057,85	0,00
<b>24/set</b>	30,4	31,5	24	35	1065,78	0,00
<b>25/set</b>	26,9	28,6	41	47	779,03	0,00
<b>26/set</b>	25,1	27,1	54	63	727,00	0,00
<b>27/set</b>	19,7	20,8	82	95	575,32	2,80
<b>28/set</b>	24,7	26,2	57	65	898,38	0,00
<b>29/set</b>	24,7	26,6	56	61	977,94	0,00
<b>30/set</b>	21,4	23,6	81	94	693,29	3,80
<b>01/out</b>	26	27,6	55	63	1017,10	0,00
<b>02/out</b>	27,7	29,2	51	60	505,23	2,20
<b>03/out</b>	27,4	30,5	50	63	674,12	1,80
<b>04/out</b>	25,8	28,6	58	70	817,59	11,00
<b>05/out</b>	22,9	24,4	62	67	943,09	0,20
<b>06/out</b>	21,5	23,6	57	64	781,53	0,00
<b>07/out</b>	22,3	23,7	65	69	858,43	3,20
<b>08/out</b>	20,3	20,9	97	99	250,48	25,20
<b>09/out</b>	25	26,7	68	75	674,26	0,00
<b>10/out</b>	25,1	26,2	63	70	759,84	0,20
<b>11/out</b>	20,5	21,3	72	76	644,04	1,80