



**TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**Descargas atmosféricas em meio rural e suas  
implicações nos seres vivos**

**Rodrigo Gustavo Scarpa**

Brasília, Novembro 2017

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Elétrica

**Rodrigo Gustavo Scarpa**

# **Descargas atmosféricas em meio rural e suas implicações nos seres vivos**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade  
de Brasília como requisito parcial para obtenção do  
Título de Engenheiro Eletricista

**Orientador: Professor Alcides Leandro da Silva, Dr.**

Brasília, Novembro 2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

Scarpa, Rodrigo Gustavo.

**Descargas atmosféricas em meio rural e suas implicações nos seres vivos** [Distrito Federal] 2017. **XII, 52p.: il. (ENE/FT/UnB, Graduação, Engenharia Elétrica, 2017)**

Trabalho de Conclusão de curso- Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica. Brasília 2017

Orientação: Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva.

1. Descarga atmosférica. 2. Gado. 3. Prejuízos. 4. Tensão de passo.

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SCARPA, Rodrigo Gustavo (2017). Descargas atmosféricas em meio rural e suas implicações nos seres vivos. [Distrito Federal] 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 64 páginas.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rodrigo Gustavo Scarpa

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: **Descargas atmosféricas em meio rural e suas implicações nos seres vivos.**

GRAU/ANO: Graduação em Engenharia Elétrica/2017.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Rodrigo Gustavo Scarpa

SQN 311 Bloco E apto 104, Asa Norte, Brasília, DF – Brasil.

E-mail: rodrigogscarpa@gmail.com

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica

# **Descargas atmosféricas em meio rural e suas implicações nos seres vivos**

**Rodrigo Gustavo Scarpa**

**Banca examinadora**

---

**Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB/ENE**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Francisco Damasceno Freitas, UnB/ENE**  
Examinador interno

---

**Prof. Dr. Plínio Ricardo Ganime Alves, UnB/ENE**  
Examinador interno

Brasília, Novembro 2017.

# DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu ídolo Wesley Oliveira da Silva, minha fonte de inspiração e motivação, e aos meus grandes amigos Nayron e Rodrigo, amigos esses decisivos para minha formação.*

Rodrigo Gustavo Scarpa

# AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva por toda ajuda, atenção e consideração prestada; sua ajuda e contribuição foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Agradeço também à minha querida irmã Camilla, a todos meus verdadeiros amigos que estiveram junto comigo e a todas as equipes formadas durante esses cinco anos de curso. A amizade é essencial na nossa vida e sem ela não chegamos a lugar algum. O time da cascata foi a prova viva que o trabalho em equipe e entrosado é imbatível, obrigado amigos, nada nem ninguém pode nos parar, juntos vamos além.

# RESUMO

As descargas atmosféricas são um fenômeno da natureza que englobam beleza, medo e curiosidade. Especialmente no caso do Brasil, que é o país campeão em incidência de raios, o temor pela destruição e prejuízos causados por raios é bem acentuado.

Cerca de 60% das mortes causadas por raios ocorrem na zona rural. A chance de ser atingido por um raio no meio rural é 10 vezes maior do que no ambiente urbano. Sendo o Brasil um grande criador de gado, medidas de proteção contra descargas atmosféricas no meio rural estão sendo cada dia mais buscadas com o intuito de evitar prejuízos e proteger os animais. Assim sendo, este trabalho trata da dinâmica dos raios, seus efeitos no meio rural, e medidas para evitar ou diminuir possíveis prejuízos e danos causados aos criadores de gado, destacando facilitadores de atração e propagação de energia das descargas atmosféricas que serão estudados para um melhor entendimento dos seus perigos e levantamento de formas para contornar ou diminuir o perigo que esses facilitadores causam.

**Palavras-chaves:** Descarga atmosférica, gado, prejuízos, tensão de passo.

# ABSTRACT

Lightning is a phenomenon of nature that encompasses beauty, fear and curiosity. That is especially true in Brazil, which is the leading country in lightning incidence, the fear of destruction and damage caused by lightning is very accentuated.

About 60% of lightning deaths occur in rural areas. The chance of being struck by lightning in the countryside is 10 times greater than in the urban environment. As Brazil is a great cattle breeder, measures to protect against atmospheric discharges in rural areas are being increasingly sought to avoid damages and protect animals. Thus, this project deals with the dynamics of lightning, its effects in rural areas, and measures to avoid or reduce possible damages and damages caused to livestock farmers, highlighting facilitators of attraction and propagation of energy from atmospheric discharges that will be studied for a better understanding of their hazards and ways to circumvent or lessen the danger that these facilitators cause.

**Keywords:** Lightning, cattle, damages, step voltage.



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Motivação.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivo.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Estruturação do trabalho .....</b>	<b>14</b>
<b>2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Formação da nuvem de tempestades.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Processo de descarga atmosférica.....</b>	<b>18</b>
<b>3 FACILITADORES PARA ATRAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM MEIO RURAL .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Árvores .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. Montes e regiões de relevo elevado.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Pastos e áreas planas.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Riachos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 Cercas rurais .....</b>	<b>26</b>
<b>4 CERCAS ELÉTRICAS.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Cercas elétricas no meio rural .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Fotos de cercas elétricas .....</b>	<b>34</b>
<b>5 EFEITOS FISIOLÓGICOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NOS SERES HUMANOS E NO GADO .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 Linhas equipotenciais e tensão de passo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Efeito na carne do gado .....</b>	<b>40</b>
<b>5.3 Cálculo da máxima tensão de passo para o ser humano .....</b>	<b>43</b>

5.4 Estudo de caso, simulação de diferença de potencial e correntes em um fazendeiro e seu cavalo .....	46
5.4.1 Comentários sobre o estudo de caso.....	55
<b>6 MEDIDAS PREVENTIVAS E PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS</b>	
ATMOSFÉRICAS NO MEIO RURAL.....	56
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
7.1 Conclusões.....	58
7.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	59
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1 - Aumento da incidência de raios no Brasil até o final do século.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2.1 - Tipos de nuvens .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2.2 - Distribuição de cargas na nuvem de tempestade e surgimento da diferença de potencial.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2.3 - Esquemático da formação de uma descarga atmosférica .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3.1 - Descarga atmosférica em uma árvore .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3.2 - Gado morto embaixo de uma árvore .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3.3 - Descarga em locais de alto relevo .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.4 - Gados em uma região plana.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3.5 - Riacho nos fundos de uma fazenda .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3.6 - Corrente percorrendo cerca rural.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.7- Corrente da cerca direcionada ao solo por sistema de aterramento.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 4.1 - Cerca rural elétrica e cerca rural convencional de arame.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 4.2 - Fio de arame liso para cerca elétricas rurais.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 4.3 - Forma de onda das tensões geradas por um eletrificador .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 4.4 - Exemplo de eletrificador de cerca elétrica rural.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 4.5 - Isolador de cerca elétrica rural .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4.6 - Kit de para-raio para uma cerca elétrica .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4.7 - Cerca rural em uma região com bastante árvores .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 4.8 - Caixa contendo o eletrificador.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 4.9 - Isoladores da cerca .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 5.1 - Infográfico mortes por raios.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5.2 - Efeitos fisiológicos de um choque elétrico no ser humano.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 5.3 -Tensão de toque e tensão de passo em uma pessoa.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 5.4 - Representação das equipotenciais e da tensão de passo de um ser humano e de um gado .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 5.5 - Infográfico cenário da exportação brasileira .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 5.6 - Carcaça de gado em um frigorífico.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 5.7 - Circuito equivalente para representar a tensão de passo .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 5.8 - Representação do solo eletricamente .....</b>	<b>45</b>

<b>Figura 5.9 - Modelo de circuito resistivo para o corpo humano .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5.10 - Circuito resistivo equivalente do cavalo .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 5.11 - Cavalo utilizado para fazer as medições.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 5.12 - Autor do trabalho realizando as medidas junto com um ajudante .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 5.13 - Forma de onda da corrente aplicada .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 5.14 - Diferença de potencial entre os pés do fazendeiro.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 5.15 - Correntes elétricas no fazendeiro.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 5.16 - Circuitos simplificados das correntes que passam no corpo do cavalo .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 5.17 - Tensão entre as patas dianteiras, pico 6.5kV (azul) e tensão entre as patas dianteiras e as patas traseiras, pico 15,6kV (preto).....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 5.18 - Forma das correntes I 1-2 e I 2-4 .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 5.19 - Correntes totais no corpo do cavalo.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 6.1 – Posição para se proteger dos efeitos de uma descarga atmosférica.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 6.2 - SPDA pra árvores com mais de 3 metros .....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação das Nuvens .....	17
Tabela 2.2 - Classificação das descargas atmosféricas.....	19
Tabela 5.1 - Resistividade do material de revestimento( $\rho_s$ ).....	44
Tabela 5.2 - Medidas importantes para efetivação dos cálculos .....	49
Tabela 5.3 - Resistências do fazendeiro .....	50
Tabela 5.4 - Resistências do animal.....	50

# 1 INTRODUÇÃO

Descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade com picos de intensidade de corrente acima de mil ampères (1 kA), que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro de tempestades [1]. A descarga inicia quando o campo elétrico produzido por essas cargas excede a capacidade isolante do meio, a rigidez dielétrica, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Quebrada a rigidez dielétrica, inicia-se um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas caracterizando os raios.

Os raios com suas peculiaridades são função das cargas elétricas que por sua vez são função do tipo de nuvem, detalhados ao longo dessa monografia. As energias liberadas pelas descargas atmosféricas agredem tanto o meio urbano quanto o meio rural, objeto de estudo deste trabalho.

## 1.1 Motivação

Os impactos causados por descargas atmosféricas são reais e podem chegar a níveis devastadores, o que pode ser amenizado ou até mesmo evitado com projetos adequados de proteção. Os impactos advindos dessas descargas podem se alastrar à diversos setores como indústrias, residências, comércio, agricultura e pecuária.

O Brasil é o país campeão mundial em incidência de raios, o que se explica geograficamente, pois é o maior país da zona tropical, área mais favorável a formação de raios e tempestades. Animais no meio rural são vitimados anualmente devido a descargas atmosféricas, com enormes prejuízos ao criador de gado e produtor rural.

De acordo com dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o Tocantins lidera o ranking de incidência de raios por quilômetro quadrado, com 17,1 raios por quilômetro quadrado. Na sequência, aparecem Amazonas (15,8), Acre (15,8), Maranhão (13,3), Pará (12,4), Rondônia (11,4), Mato Grosso (11,1), Roraima (7,9), Piauí (7,7) e São Paulo (5,2). Como podemos ver

regiões predominantemente rurais estão na liderança. A figura 1.1 ilustra o aumento da incidência de raios no Brasil até o final do século.



*Figura 1.1 - Aumento da incidência de raios no Brasil até o final do século[1].*

## 1.1 Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo principal o estudo das descargas atmosféricas no meio rural e os danos que podem causar nos animais, e levantamento de meios técnicos para minimização de danos e formas de proteção.

## 1.2 Estruturação do trabalho

O estudo é desenvolvido ao longo de seis capítulos, com uma breve apresentação do tema no Capítulo 1. O Capítulo 2 trata das descargas atmosféricas com foco na formação das nuvens de tempestade, no processo de descargas elétricas, suas características e

peculiaridades. O Capítulo 3 traz a consequência dessas descargas em meio rural, onde os facilitadores da propagação e condução da energia proveniente das descargas atmosféricas são estudados. O Capítulo 4 faz um estudo das cercas elétricas, com suas características, componentes e medidas de segurança e proteção elétrica. O Capítulo 5 traz a análise da corrente máxima e tensão de passo admissível por uma pessoa e ressalta um estudo de caso envolvendo um fazendeiro e um cavalo. O Capítulo 6 traz soluções e medidas para a proteção contra descargas atmosféricas no meio rural.



## 2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

É preciso entender a origem do problema, ou seja, o processo de descarga atmosférica, como acontece, como se forma, tipos e peculiaridades. Como já falado, descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão e intensidade com picos de intensidade de corrente acima de um 1 kA, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro de tempestades [1].

É uma corrente elétrica muito intensa que ocorre na atmosfera com típica duração de meio segundo e típica trajetória com comprimento de 5 a 10 km. O fenômeno é consequência do rápido movimento de elétrons de um lugar para outro. Os elétrons se movem tão rápido que fazem o ar ao seu redor iluminar-se, resultando em um clarão, e aquecer-se, resultando em um som (o trovão). Descargas atmosféricas ocorrem frequentemente com relação de dependência das nuvens e apesar de estarem normalmente associadas a tempestades com chuvas intensas e ventos intensos, também podem ocorrer em tempestades de neve, tempestades de areia, durante erupções vulcânicas, ou mesmo em nuvens que não sejam de tempestade, embora nesses casos costumem ter extensões e intensidade bem menores [2].

### 2.1 Formação da nuvem de tempestades

Uma nuvem é um conjunto de partículas de água em estado sólido ou líquido ou mesmo sólido + líquido em suspensão na atmosfera depois de terem se liquefeito devido a fenômenos atmosféricos. As nuvens são classificadas levando em conta diversos fatores como a altitude, pressão, temperatura e outros. É mais comum a classificação de acordo com as diferenças de altitude, assim sendo classificadas em nuvens altas, médias e baixas. A tabela 2.1 mostra para cada altitude a classificação das nuvens bem como seus nomes e respectivas siglas [3].

**Tabela 2.1 - Classificação das Nuvens [3].**

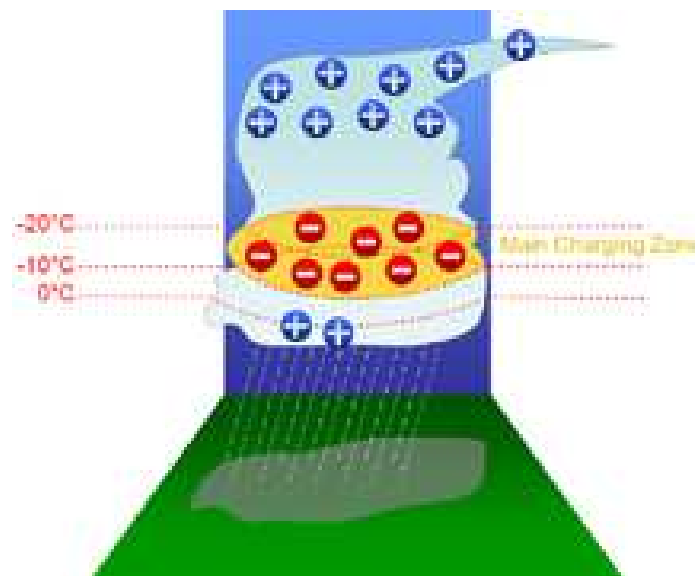
NÍVEL	NOME	SIGLA	ALTURA BASE PARA O SOLO
Baixas	Cumulonimbus	CB	Até 2km
	Cumulus	CU	
	Stratoculumus	SC	
	Stratus	ST	
Médias	Alto cumulus	AC	Entre 2 a 8km no equador, 2 e 4km nos pólos e 2 e 7km em latitudes médias
	Altostratus	AS	
Altas	Cirrocumulus	CC	Mais de 6km
	Cirrostratus	CS	
	Cirrus	CI	

A figura 2.1 Ilustra as posições relativas entre as nuvens classificadas na tabela 2.1.



**Figura 2.1 - Tipos de nuvens [4]**

As Cumulonimbus são nuvens volumosas onde ocorrem as tempestades. Sua formação é fruto do encontro de correntes de ar quente ascendentes com correntes de ar frio descendentes o que geram nuvens com até 18km de altura. Devido a essa altura existem enormes variações de pressão e temperatura no seu interior, movimentando partículas com as correntes de convecção. Essa ação provoca atrito entre as partículas desencadeando a eletrização da nuvem com o acúmulo de cargas negativas na parte inferior e positivas na superior conforme mostrado na figura 2.2.



*Figura 2.2 - Distribuição de cargas na nuvem de tempestade e surgimento da diferença de potencial [5].*

## 2.2 Processo de descarga atmosférica

O processo de descarga atmosférica ocorre basicamente devido a diferenças de potencial (ddp), como vimos na figura 2.2 a base inferior da nuvem possui cargas negativas o que faz surgir no solo cargas positivas devido a propriedade da atração de opostos o que consequentemente gera uma ddp entre o solo e a nuvem.

Quando um canal de cargas positivas encontrar com um canal de cargas negativas, canais esses formados devido a ruptura do dielétrico do ar, surge uma corrente de alta intensidade, denominada corrente de retorno, que é percebida sonoramente como o trovão e

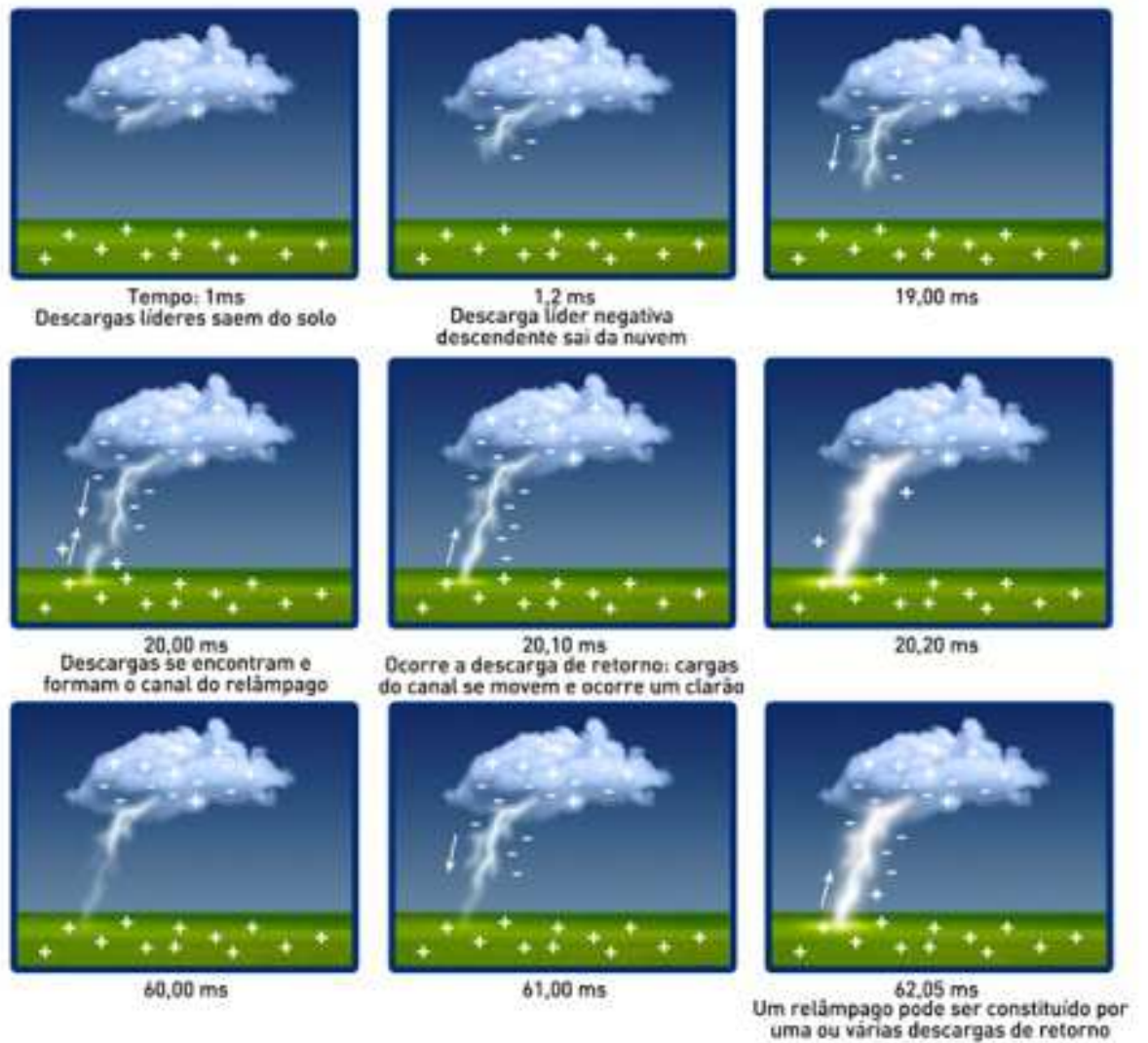
luminosamente como o relâmpago. Dependendo do local onde ocorre o encontro dos canais, as descargas atmosféricas vão ter diferentes classificações como mostrado na tabela 2.2 [6].

**Tabela 1.2 - Classificação das descargas atmosféricas [6].**

<b>TIPO DA DESCARGA</b>	<b>DIREÇÃO</b>	<b>DETALHES</b>
POSITIVA	ASCENDENTE	Topo da nuvem interage com um relevo mais alto e o encontro dos canais é próximo ao solo
	DESCENDENTE	Topo da nuvem interage com um relevo mais alto e o encontro dos canais é próximo a nuvem
NEGATIVA	ASCENDENTE	Conexão entre a terra e a base da nuvem, canais se encontram mais próximo a nuvem
	DESCENDENTE	Conexão entre a terra e a base da nuvem, canais se encontram mais próximo ao solo

Descargas atmosféricas podem ocorrer da nuvem para o solo, do solo para a nuvem, dentro da nuvem, da nuvem para um ponto qualquer na atmosfera, denominadas descargas no ar, ou ainda entre nuvens [1].

De todos os tipos de descargas, as intra-nuvens são as mais frequentes, em parte devido ao fato de a capacidade isolante do ar diminuir com a altura em função da diminuição da densidade do ar, em parte devido às regiões de cargas opostas dentro da nuvem estarem mais próximas que no caso dos outros raios. Globalmente, elas representam cerca de 70% do número total de descargas. Este percentual varia com a latitude geográfica, sendo em torno de 80-90% em regiões próximas ao equador geográfico e em torno de 50-60% em regiões de médias latitudes. [1]. O processo de conexão elétrica entre nuvem e solo é mostrado, em função do tempo, na figura 2.3



*Figura 2.3 - Esquemático da formação de uma descarga atmosférica [7]*

## 3 FACILITADORES PARA ATRAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM MEIO RURAL

Existem diversos meios e situações que podem contribuir para a atração e propagação de descargas atmosféricas, e o estudo desses meios é de fundamental importância para conseguir uma maior segurança em relação aos efeitos e prejuízos causados pelas descargas atmosféricas. No meio rural, vários desses facilitadores estão presentes, tornando-o um ambiente muito propício à descargas atmosféricas, facilitadores tais como árvores, montes, riachos e cercas serão vistos neste capítulo.

### 3.1 Árvores

As descargas atmosféricas tendem a incidir, primeiramente, nos pontos mais elevados. Por isso, diariamente, as árvores são atingidas por raios. Isso acontece também porque a seiva presente no interior do tronco é um melhor condutor que o ar. Quando uma descarga atinge uma árvore, três efeitos podem ser registrados: Ela permanece intacta, pode ter a casca do tronco parcialmente removida ou pode ser totalmente destruída. Se a casca da árvore está bastante molhada, não vão ocorrer grandes danos, pois a descarga poderá ficar restrita à parte externa da casca; se a descarga penetrar, a seiva será aquecida instantaneamente, evaporando, assim causando uma explosão que removerá a casca da árvore; se a umidade da árvore está armazenada mais no interior do tronco, o efeito da descarga sobre a árvore costuma causar sua destruição [9].

Um fenômeno muito comum que acontece no caso das árvores são as descargas indiretas laterais, conhecidas como **Side Flash**. Nesse tipo de descarga o raio vai atingir a árvore e vai buscar outro caminho para atingir o solo. Passando um animal ou uma pessoa mesmo por perto, o raio irá bifurcar e buscar o corpo dessa pessoa ou animal que estava próximo, assim fechando um curto-circuito. A figura 3.1 mostra raios atingindo árvore com grande intensidade, consideradas descargas severas.



*Figura 3.1 - Descarga atmosférica em uma árvore [9].*

Quando ocorre uma tempestade, os animais rurais tendem a procurar abrigo por instinto, muitas vezes indo para debaixo de uma árvore. Pela altura e pela presença de seiva, a árvore e, conseqüentemente, suas proximidades vão ser mais suscetíveis à uma descarga elétrica, o que poderá causar a morte dos animais, como mostra a figura 3.2 [10]



*Figura 3.2 - Gado morto embaixo da árvore [10].*

### 3.2. Montes e regiões de relevo elevado

A probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um local de elevada altitude como um morro ou uma montanha é bem maior pois a nuvem busca o ponto mais próximo de contato com o solo, assim sendo, pastos localizados em regiões mais elevadas são mais suscetíveis a receber uma descarga elétrica.

No Brasil é muito comum vermos pastos e locais de criação de gado em regiões montanhosas. Ocorrendo uma tempestade nas redondezas, a descarga atmosférica vai buscar o caminho mais curto até chegar ao solo, priorizando assim essa região que se encontra em um lugar mais alto comparando com outras ao seu redor.

Os animais e até mesmo as pessoas que circulam nessas fazendas e pastos em regiões de maior altitude estão correndo, portanto, um risco muito grande de serem atingidos por uma descarga atmosférica. A figura 3.3 ilustra descargas atmosféricas atingindo as partes mais elevadas de uma região no momento de uma tempestade.

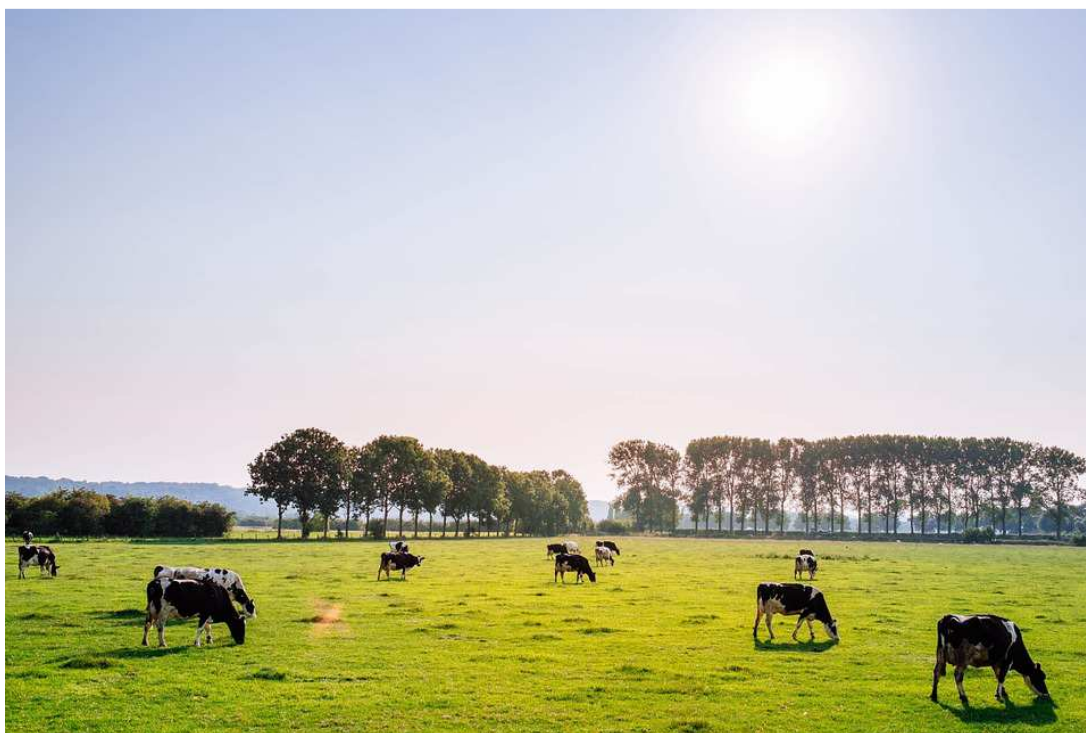


*Figura 3.3 - Descarga em locais de alto relevo [11].*



### 3.3 Pastos e áreas planas

É muito comum, principalmente em grandes criações de animais rurais, uma área de pasto muito grande totalmente ao ar livre e numa planície, sem árvores, casas, construções, ou relevos que destoam por altura, mantendo sempre uma uniformidade. Nessas circunstâncias, esse ambiente torna-se totalmente perigoso para os animais, pois eles serão os obstáculos mais próximos da nuvem de tempestade, assim as descargas atmosféricas podem atingir diretamente o animal. Na figura 3.4 pode-se ver uma região que embora possua árvores mais isoladas apresenta predominantemente uma planície com uma grande área ao ar livre, deixando assim os animais numa situação de grande risco no momento de uma tempestade.



*Figura 3.4 – Gados em uma região plana. [12]*

### 3.4 Riachos

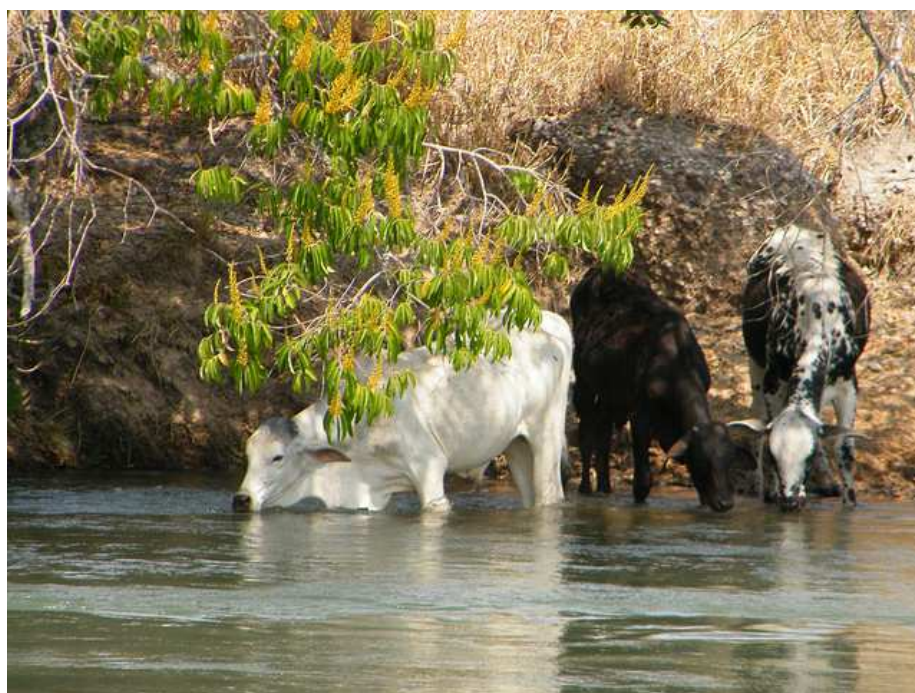
Uma pessoa que se encontra no mar ou no rio a bordo de um barco não correrá tanto risco de sofrer uma descarga atmosférica, pois não se encontra em contato com a água, por onde passará a corrente elétrica do raio [13].

Ao atingir o chão, por exemplo, um raio tem sua corrente elétrica dissipada, propagada pelo solo. Quanto maior for a condutividade deste, maior será o alcance da energia propagada, o mesmo acontece em um riacho ou lago. [13]

No mar, pela alta condutividade da água devido aos sais da água salgada, os efeitos de uma descarga elétrica serão sentidos a uma distância muito maior do que no solo. Já nos rios, lagos ou outros corpos de água doce, onde a condutividade não é tão alta, mas ainda é maior do que no solo, um alcance intermediário é esperado. [13]

Em termos de efeito do raio, a letalidade ou não da descarga elétrica dependerá de quão distante está o ponto onde houve a descarga. Para uma mesma distância, no mar seria mais perigoso. [13]

No nosso meio de estudo, que é um ambiente rural, a presença de córregos e pequenos riachos é bem comum, e animais estão constantemente próximos a essas áreas seja para se refrescar seja para beber água, logo estando mais sujeitos a uma descarga atmosférica. A figura 3.5 mostra o gado tomando água em rio, ficando mais suscetível de ser atingido pelos efeitos de descargas atmosféricas. As árvores e o curso d'água contribuem para atração e propagação das correntes elétricas dos raios.



*Figura 3.5 - Riacho nos fundos de uma fazenda [14]*

### 3.5 Cercas rurais

Muitos animais são vítimas de descargas atmosféricas no meio rural por estarem perto das cercas, essas sendo utilizadas com o intuito de delimitar uma região para os animais com o objetivo de garantir mais proteção e controle, pode ser um fator prejudicial. As cercas rurais tradicionais que são de arame farpado ou liso, têm o empecilho de conduzir, propagar corrente. No momento em que uma corrente é injetada no solo por descargas atmosféricas, por indução tensões surgirão na cerca, fazendo com que parte da sua corrente comece a percorrer os fios até encontrar um caminho para a terra. Assim, animais que estejam nas proximidades do local no momento da descarga podem ser atingidos para fechar o curto-circuito e com isso podendo morrer. Aí vê-se a importância do correto seccionamento da cerca e uma forma eficiente de aterramento com o intuito de levar essa corrente para o solo o mais rápido possível e não atingir animais ou até mesmo pessoas.

As cercas rurais são construídas basicamente por madeira e arame. Podendo também ser feita com concreto ou pedra, a cerca de madeira é a mais utilizada. As mais comuns vistas hoje no Brasil no meio rural são as de arame farpado, arame liso, e as de tela. Dentre os tipos de cercas encontradas nas propriedades rurais no Brasil pode-se citar:

#### **. Cercas de arame farpado ou liso**

As mais comuns, são construídas com mourões de madeira, cimento, etc. Fincados à determinada distância uns dos outros. Neles são fixados, com grampos-de-cercas, os arames paralelos e cujo número varia, normalmente, de 3 a 12, conforme o objetivo e o local da cerca. São, em geral, mais baratas do que as cercas de madeira e sua construção é mais rápida e fácil. Exigem menos conservação e são de grande durabilidade quando construídas com mourões de madeira de lei ou "tratada", cimento, aço e arame de boa qualidade. No caso de sua remoção, todo o seu material pode ser reaproveitado, podendo a cerca ser levada e instalada em outro local. Por esses motivos, é considerada a mais prática sendo a mais utilizada em todo o mundo [15].

### **. Cercas de tábuas ou de réguas**

Usadas principalmente para currais, baias e mesmo piquetes. São muito caras, se comparado ao custo das cercas de arame, devido ao elevado preço da madeira. Sua durabilidade varia de acordo com a qualidade do material empregado e de sua conservação. [15]

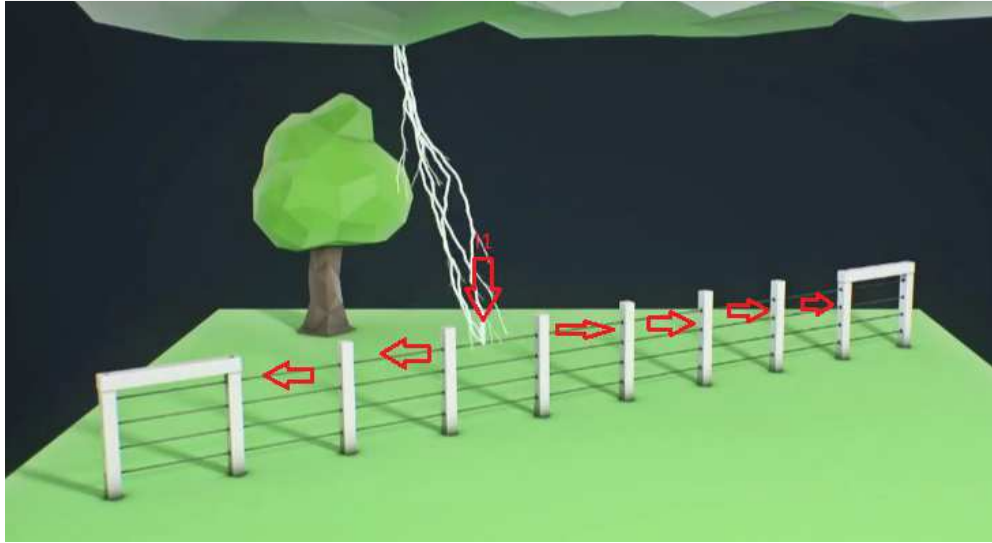
### **. Cercas de bambu**

São muito empregadas para fechar quintais, pequenos cercados para hortas ou animais, divisão de pequenos pastos, etc. Os bambus podem ser usados roliços (inteiros) ou rachados. São de fácil construção e sua durabilidade é relativa. Segundo crença popular, o bambu cortado na lua minguante não "bicha". Essas cercas podem ser de "bambu deitado" ou de "bambu em pé" [15].

### **. Cercas de Guarantã**

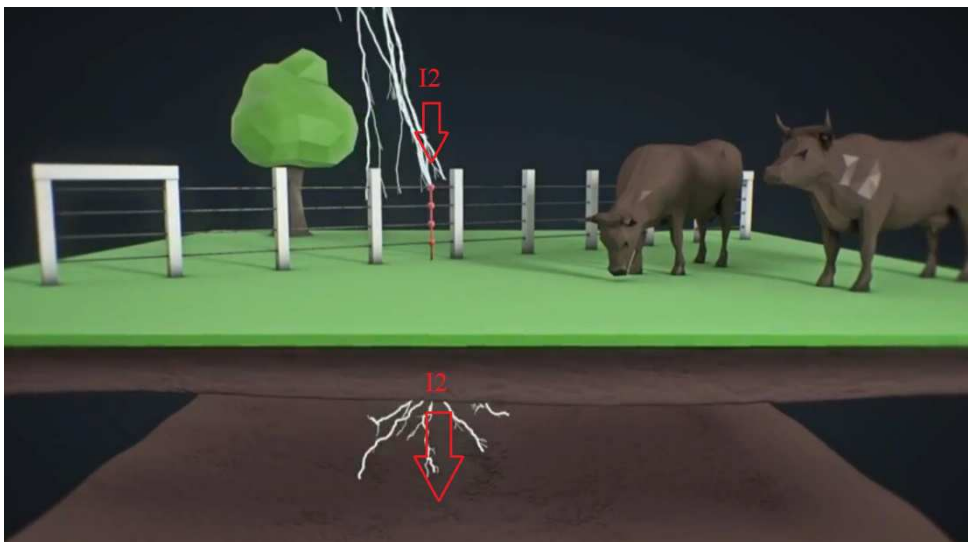
De uso quase proibitivo, exceto nas regiões de muita madeira ou de difícil escoamento para elas, devido aos elevados preços da madeira, são construídas com as achas fincadas bem juntas, verticalmente e amarradas umas às outras, com arames, cipós ou travessas de madeira. São usadas, em geral, para fechar currais, mangueirões (para porcos) e piquetes. [15]

Como já dito, quando uma descarga atmosférica induz tensões em uma cerca elétrica parte da corrente vai circular pelos fios da cerca. A figura 3.5 ilustra um esquemático de uma cerca em que **I** é a corrente induzida pela descarga atmosférica que circula pelos fios da cerca.



**Figura 3.6 – Corrente percorrendo cerca rural [16]**

A figura 3.7 ilustra a situação em que a corrente gerada pela descarga atmosférica agora definida como  $I_2$  se dissipa pelo solo devido a instalação de um sistema de aterramento, assim não se distribuindo pelo solo e logo não gerando tensão de passo nos gados, e fazendo também com que a corrente não atinja os animais e contribuindo assim para a preservação da integridade deles.



**Figura 3.7 – Corrente da cerca direcionada ao solo por sistema de aterramento [16]**

## 4 CERCAS ELÉTRICAS

Como citado na seção 3.5, as cercas rurais trazem riscos como atrair descargas atmosféricas devido a sua estrutura metálica e composição. Esse capítulo tratará agora de um tipo particular de cercas rurais, as cercas elétricas, e será feito o levantamento de suas características, partes e perigos também.

Ainda não existem no Brasil leis federais e normas específicas que determinem os requisitos essenciais de segurança para a instalação de cercas elétricas. [17]

As normas existentes para regularizar e normatizar esse tipo de proteção na área rural ou urbana ainda são as normas internacionais do IEC (*International Electrotechnical Commission*) e adotadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Essas normas são a ABNT NBR IEC 60335-2-76, publicada em 03 de dezembro de 2007, tornada obrigatória a partir de 1º de julho de 2011 e a ABNT NBR NM IEC 335-1. [16]. A figura 4.1 traz uma comparação entre uma cerca rural convencional de arame e uma cerca rural elétrica.



*Figura 4.1 – Cerca rural elétrica e cerca rural convencional de arame [18]*

### 4.1 Cercas elétricas no meio rural

O uso de cerca elétrica em propriedades rurais está aumentando cada vez mais no Brasil, sendo uma prática fortemente recomendada pela sua eficiência e economia quando comparada a utilização de cercas convencionais no piqueteamento das pastagens.

Dentre suas inúmeras vantagens em relação às cercas tradicionais podemos citar o custo, tanto na manutenção quanto na fase de instalação e construção, que é rápida e simples, onde muitas vezes o próprio produtor rural pode fazer, e também ela é menos nociva ao animal, porque diferentemente de uma cerca tradicional, a cerca elétrica só vai causar um pequeno choque no animal, durante o contato, e a cerca convencional de arame farpado pode machucar bem mais.

Como desvantagens podem se citar os fatores relacionados ao local de instalação, que deve ser longe de locais de trânsito público. Se houver um vizinho de propriedade, o uso nas divisas só pode ser feito com o consentimento dos envolvidos.

Dentre os materiais, a madeira tem a função de segurar os fios eletrificados na altura adequada, que vai variar dependendo do tipo de animal que se deseja conter e do relevo predominante na propriedade rural.

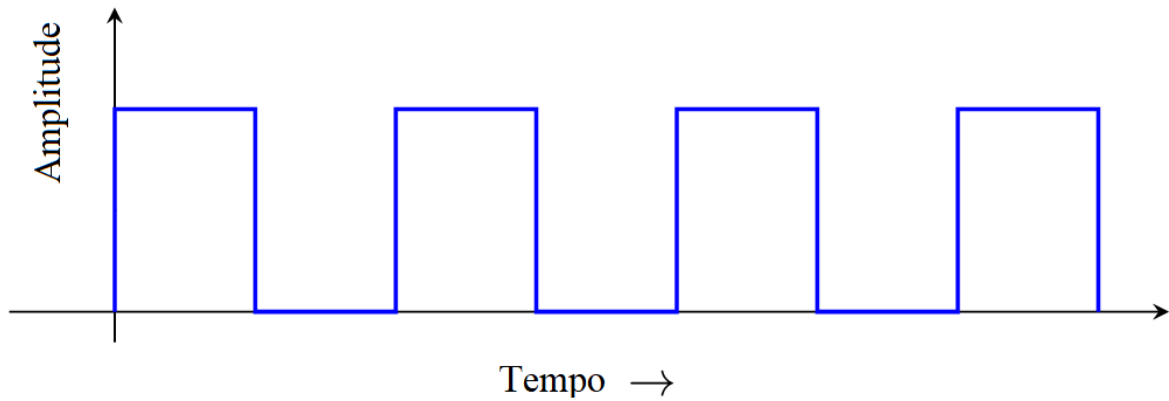
Dependendo da categoria do animal a ser contido a quantidade de fios da cerca varia. No caso de a propriedade conter animais jovens ou adultos, na cerca serão utilizados 2 fios, onde a altura máxima do fio gira em torno de 80cm, 90cm do solo. No caso em que a fazenda se localiza em regiões secas, vai ser necessário um terceiro fio, esse conectado no aterramento da cerca fazendo o papel do solo, já que como a região em que se encontra a propriedade rural é seca, a falta de umidade ou o fato do solo ser muito arenoso vai prejudicar a condutividade do mesmo. O arame utilizado na confecção de cercas elétricas deve ser somente o liso. A figura 4.2 ilustra um tipo de arame aplicado em cercas rurais eletrificadas.



***Figura 4.2 - Fio de arame liso para cercas elétricas rurais [19]***

Outro importante componente de uma cerca elétrica é o eletrificador, esse responsável por energizar a cerca e gerar pulsos de alta tensão que podem chegar até 10000V e de baixa

duração. A figura 4.3 mostra as curvas típicas da forma de onda dos pulsos de tensão geradas por um eletrificador.



*Figura 4.3 – Forma de onda das tensões geradas por um eletrificador*

Para manter a voltagem em um bom estado mesmo em situações em que tenha algum problema, isolamento defeituoso, o ideal e recomendável é a utilização de eletrificadores de alta potência com uma capacidade para atender grandes distâncias de fios. A figura 4.4 mostra um exemplo de eletrificador rural.





***Figura 4.4 - Exemplo de eletrificador de cerca elétrica rural [20].***

O bom funcionamento do eletrificador e da cerca depende da perfeita ligação “terra”. Para “terra”, utiliza-se uma haste de ferro galvanizado enterrada a um metro de profundidade em solo úmido. Na fixação do fio “terra” usa-se parafusos e arruelas galvanizadas. Quando o solo se torna ocasionalmente seco, utilizam-se duas ou três hastes espaçadas entre si, no mínimo, dois metros. [21]

Outros dois importantes componentes de uma cerca elétrica são os isoladores e as porteiras. Os primeiros são indispensáveis para um funcionamento adequado da cerca elétrica pois são responsáveis pelo isolamento dos seus fios. Já as porteiras são importantíssimas pois são os locais onde pessoas, animais e veículos vão passar sem que sejam atingidas pela cerca eletrificada. A figura 4.5 ilustra um exemplo de isolador de cerca elétrica.



**Figura 4.5 - Isolador de cerca elétrica rural [20]**

O uso de Para-raios é indispensável também em uma cerca elétrica rural, pois em dias de trovoada, a cerca eletrificada poderá ser atingida por raios, mesmo quando estes apenas passarem nas suas proximidades, aumentando seriamente o perigo. Esta sobrecarga no circuito danifica o eletrificador que, por isso deve estar permanentemente protegido. [21]

O local onde estiver fixado o aparelho, em decorrência de raios, poderá também ser afetado, colocando em risco as benfeitorias da propriedade. A melhor proteção é desligar os setores, colocando as chaves, na posição “terra”, antes da trovoada. Também é recomendável desligar o eletrificador da rede. [21]. A figura 4.6 ilustra um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para cercas elétricas.



**Figura 4.6 - Kit de para-raio para uma cerca elétrica [22]**

## 4.2 Fotos de cercas elétricas

Com o intuito de facilitar o entendimento de cercas elétricas, fotos do meio rural serão apresentadas, como resultado de visitas do pesquisador. Para isso o autor do trabalho obteve acesso à uma propriedade localizada em Jataí-GO distante mais ou menos 500km de Brasília. A figura 4.6 traz uma cerca rural localizada perto de algumas árvores.



*Figura 4.7 - Cerca rural em uma região com bastante árvores*

A situação apresentada na figura 4.6 é bastante perigosa, pois a árvore atrai a descarga atmosférica, como já visto, e a cerca vai contribuir para a condução dessa corrente, assim aumentando consideravelmente o perigo para os animais que porventura estiverem nesse local no momento da descarga atmosférica. A figura 4.8 mostra um eletrificador de cerca elétrica, que como já citado é o responsável pela geração dos pulsos de tensão da cerca.



***Figura 4.8 - Caixa contendo o eletrificador***

A figura 4.9 mostra isoladores de cerca elétrica, estes geralmente colocados nos cantos da cerca de forma que realizem a sustentação isolada dos fios da cerca.



***Figura 4.9 - Isoladores da cerca***

# 5 EFEITOS FISIOLÓGICOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NOS SERES HUMANOS E NO GADO

O Brasil como já citado é o país campeão em incidências de raios. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 50 milhões de raios atingem o Brasil por ano, e a cada 50 mortes devido aos efeitos de descargas atmosféricas no mundo, uma ocorre no Brasil. A figura 5.1, mostra detalhadamente essa situação, onde apresenta um infográfico com inúmeros detalhes como distribuição das descargas por estados, perfil das vítimas, circunstâncias da fatalidade dentre outras, valendo destacar que atividades rurais lidera as circunstâncias das fatalidades.



**Figura 5.1 - Infográfico mortes por raios [23].**

Quando uma descarga elétrica atinge um ser humano, a corrente é dividida em dois caminhos, um interno e outro externo:

- I) **Corrente interna ou volumétrica:** A corrente que vai fluir no interior do corpo humano, a responsável por danos em órgãos internos devido à elevação da temperatura; prolapsos, que é o deslocamento de músculos e órgãos da sua posição de origem; pode mudar a qualidade do sangue; pode também ocorrer a superposição da corrente da descarga elétrica com as correntes nervosas do sistema nervoso humano provocando assim uma desordem generalizada; e talvez o mais perigoso que pode acontecer é o comprometimento do coração e a ocorrência de paradas cardíacas e respiratórias.
- II) **Corrente superficial ou externa:** menos perigosa que a interna, é uma corrente que vai agir na parte externa do corpo, na pele, sendo essa parcela de corrente responsável por queimaduras e não apresentando um grande risco de morte. Vale ressaltar que alguns efeitos não são sentidos imediatamente, alguns órgãos demoram um tempo para apresentar sequelas oriundas de uma descarga elétrica.

Então, em resumo, o risco de morte estará diretamente ligado à corrente que vai atravessar o corpo, seja de um animal seja de um ser humano e esse risco pode ser melhor compreendido ao levar-se em consideração alguns parâmetros como o caminho que a corrente vai percorrer no interior do corpo, a duração dessa corrente, as resistências encontradas no caminho dentre outros fatores. A figura a seguir traz uma tabela mostrando os efeitos fisiológicos de uma descarga elétrica no corpo humano conforme a sua intensidade.

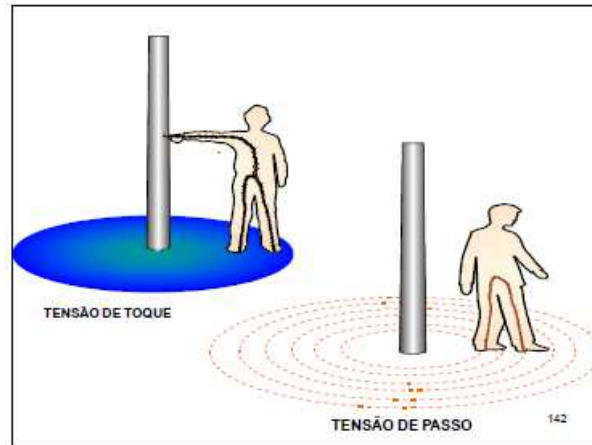
<b>QUADRO SINÓTICO DOS EFEITOS DO CHOQUE ELÉTRICO EM PESSOAS ADULTAS, JOVENS E SADIAS</b>				
<b>Intensidade da corrente alternada (50/60 Hz) que percorre o corpo</b>	<b>Perturbações possíveis durante o choque</b>	<b>Estado possível, logo após do choque</b>	<b>Salvamento</b>	<b>Resultado final mais provável</b>
<b>1 Milliampère (limiar de sensação)</b>	<b>Nenhuma</b>	<b>Normal</b>	<b>—</b>	<b>Normal</b>
<b>1 a 9 Milliampères</b>	<b>Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contrações musculares</b>	<b>Normal</b>	<b>Desnecessário</b>	<b>Normal</b>
<b>9 a 20 Milliampères</b>	<b>Sensação dolorosa, contrações violentas. Asfúxia (1) Anoxia (2) Anoxemia (3). Perturbações circulatórias</b>	<b>Morte aparente</b>	<b>Respiração artificial e massagem cardíaca (quando houver fibrilação)</b>	<b>Restabelecimento</b>
<b>20 a 100 Milliampères</b>	<b>Sensação insuportável. Contrações violentas. Anoxia. Anoxemia. Asfúxia. Perturbações circulatórias graves, inclusive, às vezes, fibrilação ventricular</b>	<b>Morte aparente</b>	<b>Respiração artificial e massagem cardíaca (quando houver fibrilação)</b>	<b>Restabelecimento ou morte. Muitas vezes não há tempo de salvar em decorrência da gravidade das lesões e a morte ocorre em poucos minutos.</b>
<b>Acima de 100 Milliampères</b>	<b>Asfúxia imediata. Fibrilação ventricular. Alterações musculares. Queimaduras.</b>	<b>Morte aparente ou imediata.</b>	<b>Idêntico ao anterior</b>	<b>Idêntico ao anterior</b>
<b>Vários ampères</b>	<b>Asfúxia imediata. Queimaduras graves</b>	<b>Morte aparente ou imediata.</b>	<b>Idêntico ao anterior</b>	<b>Idêntico ao anterior</b>

*Figura 5.2 - Efeitos fisiológicos de um choque elétrico no ser humano [24].*

## 5.1 Linhas equipotenciais e tensão de passo

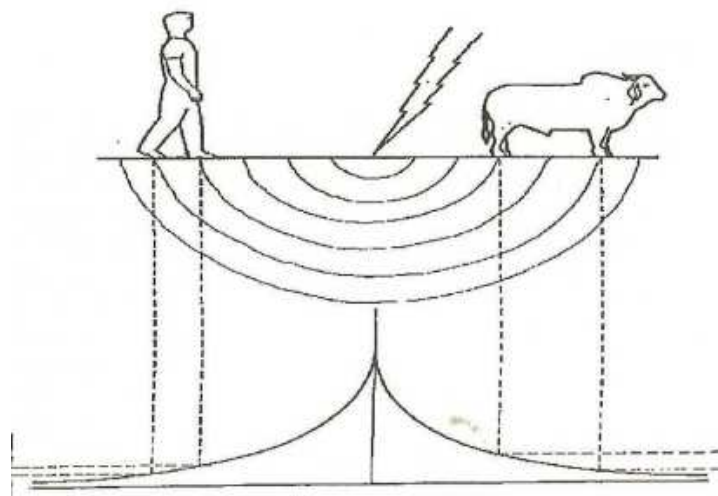
Primeiramente será diferenciado dois tipos de tensão, que são a tensão de contato e a tensão de passo:

- 1) **Tensão de contato:** é a diferença de potencial entre uma estrutura metálica ligada à terra e um ponto na superfície do solo a uma distância igual à distância horizontal máxima normal a que esta se pode tocar, aproximadamente 1 metro. [25]
- 2) **Tensão de passo:** É a tensão entre os pés do ser vivo, ou seja, um passo (com os pés separados), com isto ele ficara com os pés em linhas equipotenciais diferentes provocando passagem de corrente pelo seu tronco, num ser vivo bípede isto raramente provoca a morte, pois a parcela de corrente é pequena (linhas equipotenciais próximas), já nos quadrúpedes geralmente é fatal (linhas equipotenciais distantes) maior diferença de potencial, logo maior corrente passando pelo tronco do ser vivo. [25]



**Figura 5.3 - Tensão de toque e tensão de passo em uma pessoa [25]**

A tensão de passo no nosso caso de estudo surge devido à elevação de potencial do solo que ocorre pela ação da corrente proveniente da descarga atmosférica. Como as descargas atmosféricas originam correntes de curta duração e alta intensidade, em seres humanos devido a essa curta duração, não é muito comum a morte quando comparado a animais quadrúpedes, sendo mais comum desmaios e perda da consciência. A passagem da corrente da descarga atmosférica em quadrúpedes, no nosso caso o gado, geralmente é fatal, pois devido a distância entre as patas traseiras e dianteiras do animal, a diferença de potencial gerada vai ser bem maior, linhas equipotenciais mais distantes, logo uma maior corrente vai passar pelo animal, pelo coração, o que aumenta demais o risco de morte.



**Figura 5.4 - Representação das equipotenciais e da tensão de passo de um ser humano e de um gado [25]**



## 5.2 Efeito na carne do gado

O Brasil é um grande exportador de carne, sendo que cada vez mais a exportação de carnes está pesando na balança comercial brasileira. Para se ter uma idéia a exportação de carnes ocupa o terceiro lugar no ranking de produtos exportados pelo Brasil, ficando atrás somente das exportações de minérios e de grãos.

Segundo dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (Mdic) em 2016 frigoríficos brasileiros exportaram cerca de 12,6 bilhões de dólares em carnes e derivados, valor esse que bate de frente com a da exportação de minério que foi de cerca de 15,8 bilhões de dólares.

Desses 12,6 bilhões de dólares, 4,33 bilhões de dólares correspondem a exportação de carne bovina, o restante está dividido entre carne suína, de frango entre outros. Com esse valor de 4,33 bilhões de dólares, já podemos colocar a exportação de carne bovina na frente da exportação de aviões na pauta exportadora, visto que em 2016 este rendeu 4,3 bilhões de dólares para a economia brasileira.

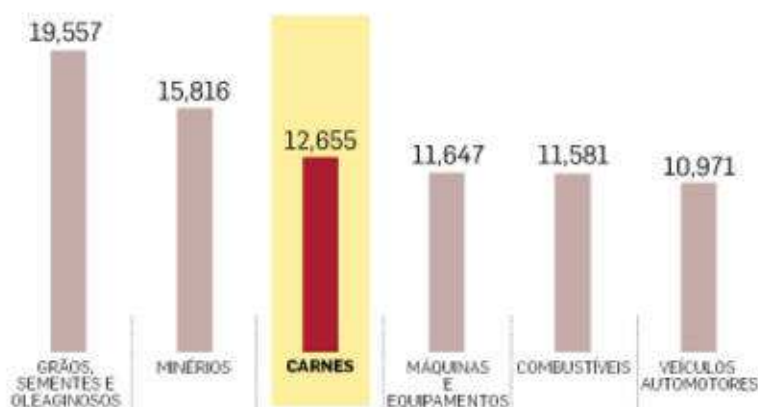
Na figura 5.5 há um infográfico do Ministério da Indústria e Comércio exterior onde tem-se dados dos principais produtos de exportação no Brasil, bem como as maiores empresas exportadoras e o ranking global de 2015 de exportação de carne suína e de frango.

## EXPORTADORAS MUNDIAIS

● Duas das empresas citadas na Operação Carne Fraca, BRF e JBS, lideram o ranking mundial de exportações de carne de frango e porco

### Principais categorias das exportações do Brasil

EXPORTAÇÕES TOTAIS, EM BILHÕES DE DÓLARES, EM 2016



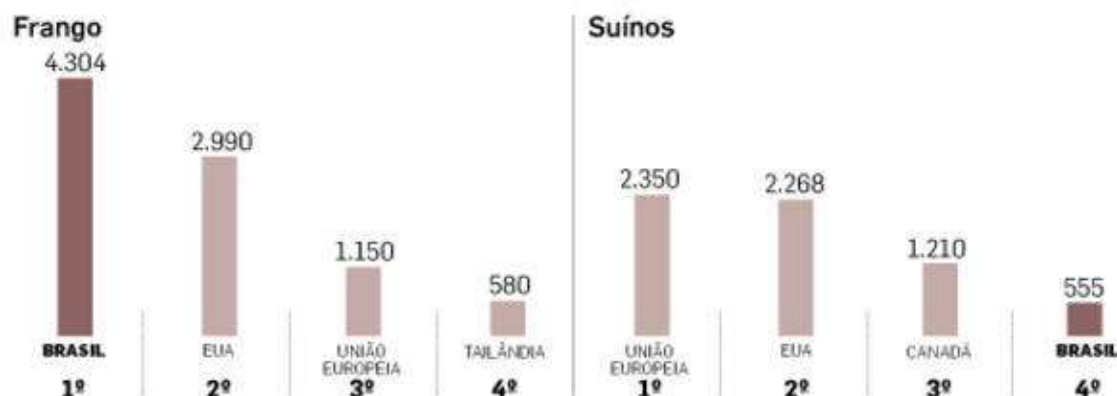
### Maiores exportadores brasileiros em 2016

POSIÇÃO NO RANKING DO MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR

	EMPRESA	LOCALIDADE
1º	Vale	Paraúpebas (PA)
2º	Embraer	São José dos Campos (SP)
3º	Petrobrás	Angra dos Reis (RJ)
4º	GE Celma	Petrópolis (RJ)
5º	<b>BRF</b>	<b>Itajaí (SC)</b>
21º	<b>BRF</b>	<b>Paranaguá (PR)</b>
101º	<b>JBS</b>	<b>Lins (SP)</b>
119º	<b>JBS</b>	<b>Andradina (SP)</b>

### Ranking global 2015

EM TONELADAS



FONTE: MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL E DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS EUA. INFOGRÁFICO/ESTADÃO

*Figura 5.5 - Infográfico cenário da exportação brasileira [26]*

Em nosso estudo é importante ressaltar os efeitos que uma descarga atmosférica gera na carne de um gado e se isso irá comprometer o consumo e qualidade dessa carne. Segundo dados de veterinários e especialistas quando um gado morre em decorrência de uma descarga atmosférica, a carne se torna imprópria para o consumo, e a orientação é enterrar ou queimar o animal. A carne se torna imprópria para o consumo devido a coagulação do sangue que torna inviável a realização do processo de sangria, que é o processo de retirada do sangue para contribuir com a qualidade da carne.

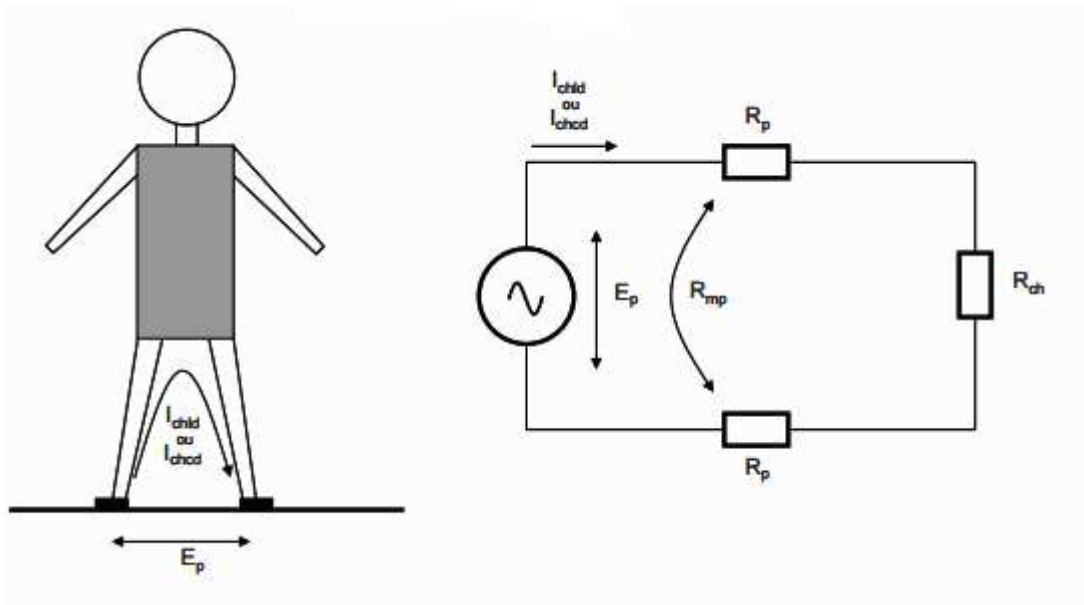
O sangue serve como meio de proliferação de bactérias, ao não se realizar o processo de sangria, a carne irá ficar escura, dura e também vai ficar estragada. Além disso, também não se pode ter um parecer da situação física e clínica do animal, não se saberá se ele era um animal saudável ou se tinha alguma doença, pois ele poderia ser portador de uma doença que não apresenta sintomas clínicos, e essas doenças poderão ser transmitidas ao homem. A figura 5.5 mostra carcaças de gados em um frigorífico logo após o processo normal de sangria.



*Figura 5.6 - Carcaça de gado em um frigorífico [27]*

### 5.3 Cálculo da máxima tensão de passo para o ser humano

Ao se dissipar pelo solo, uma corrente vai percorrer o corpo de uma pessoa ou animal que encontre pelo caminho pelo fato da corrente elétrica ter encontrado nessa pessoa ou animal um meio com maior condutividade. Para encontrar a tensão de passo máxima admissível por um ser humano, vamos utilizar o modelo de circuito equivalente descrito na NBR 15751 – Sistemas de aterramento de subestações, bem como suas equações e parâmetros. A figura 5.6 ilustra esse modelo de circuito equivalente, onde foram adotadas resistências para os pés da pessoa e corpo.



**Figura 5.7 - Circuito equivalente para representar a tensão de passo [28]**

A máxima tensão de passo admissível pelo corpo humano é dada pela equação (1):

$$E_p = [R_{ch} + 2(R_p - R_{mp})] \times I_{chd} \text{ (V)} \quad (1)$$

**Onde:**

**R<sub>ch</sub>** é a resistência do corpo humano, adotada como sendo 1000 Ω, expressa em ohms (Ω);

**R<sub>p</sub>** é a resistência própria de cada pé com relação à terra, expressa em ohms (Ω);

**R<sub>mp</sub>** é a resistência mútua entre dois pés, expressa em ohms (Ω);

**Ichcd** é a máxima corrente de curta duração admissível pelo corpo humano, expressa em ampères (A) e dada por  $\frac{0,116}{\sqrt{t}}$ , onde “t” é o tempo de duração do choque.

As resistências própria e mútua dos pés são dadas pelas equações 2 e 3:

$$R_p = (\rho_s / 4b) \times C \quad (\Omega) \quad (2)$$

$$R_{mp} = \left[ \frac{(\rho_s)}{(2 \times \pi \times dp)} \right] \quad (\Omega) \quad (3)$$

**Onde:**

**Rmp** é a resistência mútua entre dois pés, expressa em ohms ( $\Omega$ );

**b** é igual a 0,083 m (raio do disco metálico – modelo estabelecido para o pé humano);

**dp** é a distância entre os dois pés (1 m);

**ps** é a resistividade do revestimento da superfície do solo ( $\Omega \times m$ ), conforme Tabela 5.1; (Caso não haja revestimento, utilizar resistividade da camada superficial do solo)

**C** é o fator de redução que depende da espessura da camada de revestimento

Considerando **Rmp** desprezível quando comparada a **Rp**, tem-se a equação 4:

$$E = (Rch + 6 \times \rho_s \times C) \quad (V) \quad (4)$$

**Tabela 5.1 - Resistividade do Material de revestimento [28]**

Material	Resistividade ( $\Omega \times m$ )	
	Molhado	Seco
Brita número 1, 2 ou 3	3000	N/A
Concreto	21 a 100	1200 a 280000
Asfalto	$10 \times 10^3$ a $6 \times 10^6$	$2 \times 10^6$ a $30 \times 10^6$

O fator de redução C é calculado pela equação 5:

$$C = \frac{1}{0.96} \left[ 1 + 2 \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + \left( \frac{2 \times n \times h_s}{0.08} \right)^2}} \right] \quad (5)$$

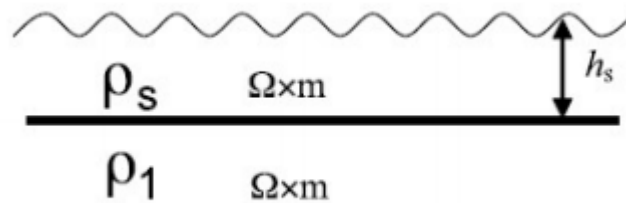
Ou simplificada

$$C \cong 1 - a \times \left[ \frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_s}}{2 \times h_s + a} \right] \quad (6)$$

Onde: **a** é igual a 0,106 m

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_s}{\rho_1 + \rho_s} \quad (7)$$

O ( $\rho_s$ ) é determinado pela tabela 5.1, ( $\rho_1$ ) é a resistividade da 1ª camada e  $h_s$  é a espessura da camada de revestimento superficial, assim pode-se ilustrar de acordo com a seguinte figura:



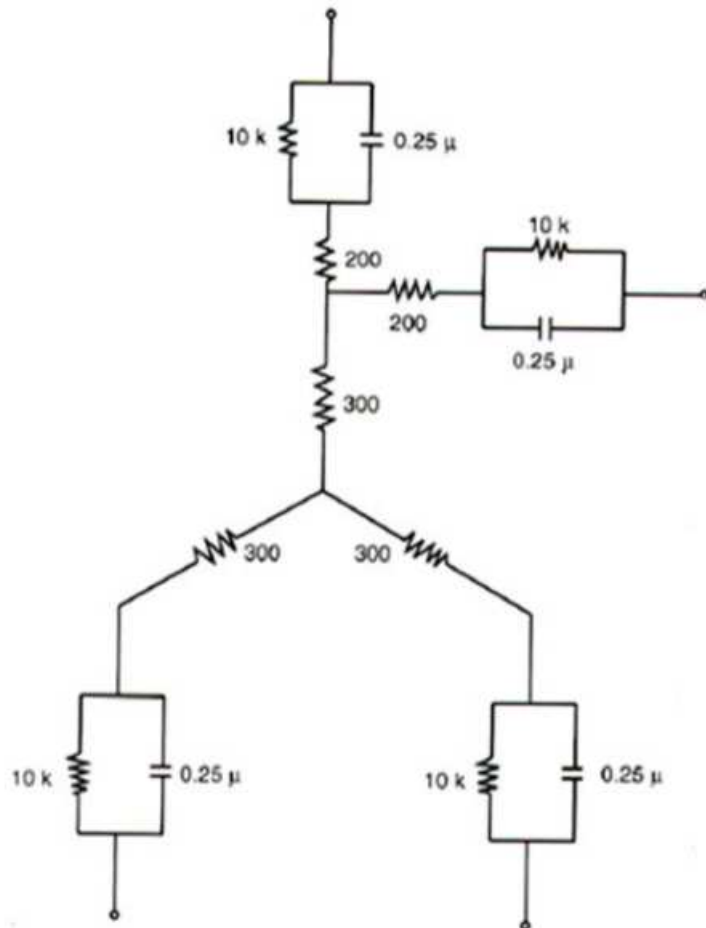
**Figura 5.8 - Representação do solo eletricamente [28]**

## 5.4 Estudo de caso, simulação de diferença de potencial e correntes em um fazendeiro e seu cavalo

Esta seção trata de um estudo de caso desenvolvido em [29] envolvendo um fazendeiro e seu cavalo, atingidos pelo efeito de uma descarga atmosférica ocorrido nas proximidades.

Para quantificar os efeitos da descarga atmosférica no cavalo e no fazendeiro foram usados modelos de circuitos resistivos equivalentes simplificados.

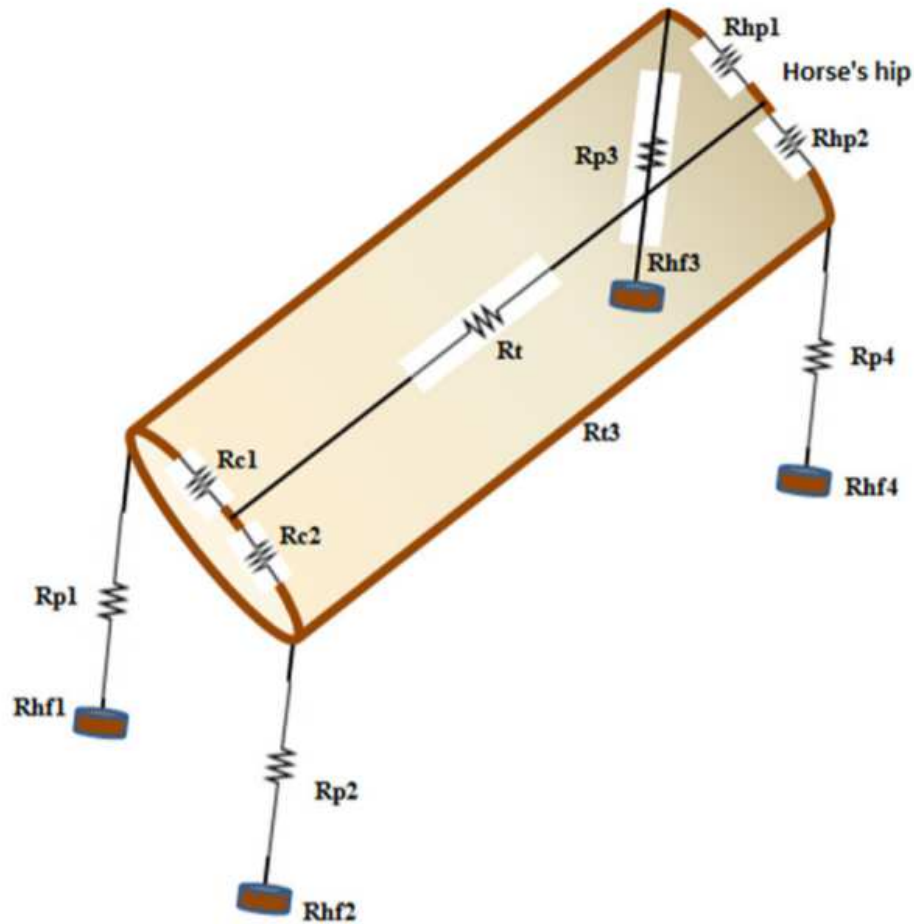
Para simular o fazendeiro essa representação de circuito equivalente é mostrada na figura 5.8:



*Figura 5.9 - Modelo de circuito resistivo para o corpo humano [30]*

Para os cálculos apenas os valores das resistências foram considerados conforme detalhado em [29]

O circuito do cavalo usado para calcular os potenciais, tensão de passo e corrente no corpo do animal é ilustrado na figura 5.9, em que **Rhf** é a resistência do casco do cavalo, **Rp** é a resistência da pata, **Rc** do peito, **Rt** do restante do tronco e **Rhp** do quadril do animal:



*Figura 5.10 - Circuito resistivo equivalente do cavalo [29]*

Onde as resistências nas patas, peito, tronco e quadril foram diferenciadas nos cálculos de acordo com seus respectivos volumes e posição de fibras musculares, seja longitudinal ou transversal [29]

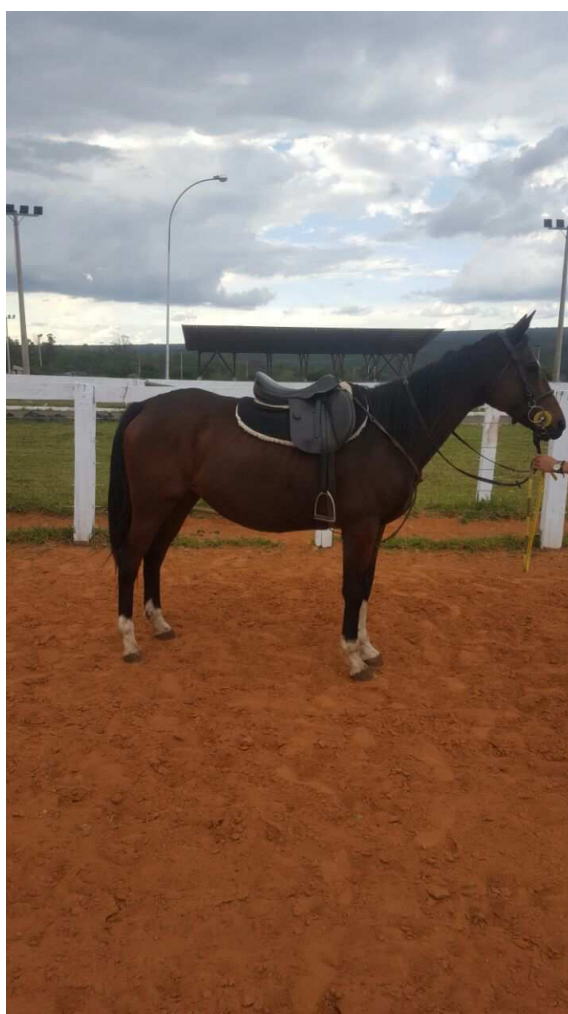
Para os cálculos das resistências e diferenças de potencial dados de medidas reais de cavalos [28] foram devidamente aplicados na equação (8):

$$R = \rho L/A \quad (8)$$



Onde  $R$  é a resistência calculada em ohms ( $\Omega$ );  $\rho$  é a resistividade ( $\Omega.m$ );  $L$  é o comprimento em metro (m) e  $A$  é a área da seção transversal ( $m^2$ ) do membro ou parte do cavalo.

As medidas importantes para a efetivação dos cálculos são as distâncias entre os pés do fazendeiro, a distância das vítimas para o local onde houve a descarga, e as distâncias entre as patas do cavalo (entre patas da frente ou trás e entre as da frente e de trás) que com o uso de uma fita métrica, o autor do trabalho realizou essas medidas entre as patas do animal. As figuras 5.10 e 5.11 mostram um dos cavalos utilizados para obtenção dos parâmetros de distância e volumes dos membros.



*Figura 5.11 - Cavalo utilizado para fazer as medições (foto própria).*



**Figura 5.12 - Autor do trabalho realizando as medidas junto com um ajudante (foto própria)**

As medidas importantes estão listadas na tabela 5.2:

Distância entre patas frontais ou traseiras: 0,56m

Distância entre patas frontais e traseiras: 1,4m

**Tabela 5.2- Medidas importantes para efetivação dos cálculos**

<b>Distância</b>	<b>Valor (m)</b>
Entre os pés do fazendeiro	0,5
Entre vítimas e local da descarga	20
Entre patas frontais ou traseiras do cavalo	0,56
Entre patas frontais e traseiras	1,4

Com posse dessas medidas e usando (1) foram calculadas as resistências de cada parte do cavalo e para as do fazendeiro foi usado o modelo da figura 5.8.

**Tabela 5.3 - Resistências do fazendeiro.**

Parte do corpo	Resistências
Pele+ pé	10kΩ
Perna	10kΩ
Quadril	600Ω

**Tabela 5.4 – Resistências do animal.**

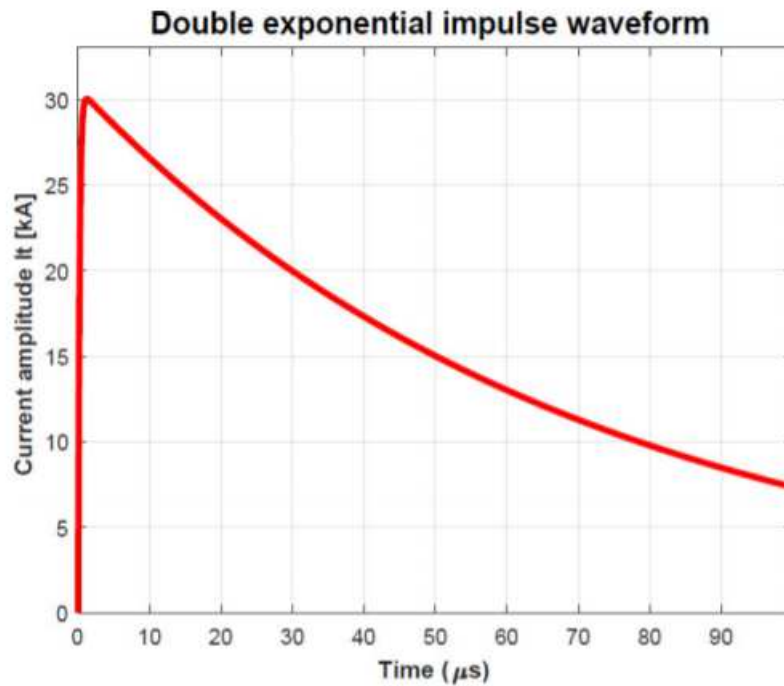
Parte do corpo	Resistências
Casco (Rhf)	161,1569 Ω
Pata (Rp)	8.0527kΩ
Peito (Rc)	90.8771Ω
Tronco (Rt)	83.8844 Ω
Quadril (Rhp)	90.8771Ω

Dos valores tabelados (Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4) as diferenças de potencial entre o pontos de contato das vítimas com o solo foram calculadas utilizando-se a equação (9) [31]

$$Vt = \frac{I(t)}{2\rho_g\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r+s} \right) \quad (9)$$

Onde  $Vt$  é a tensão, variável no tempo, calculada nos pontos de contato com o solo,  $\rho_g$  é a condutividade do solo,  $r$  é a distância do ponto da descarga,  $s$  é a distância entre as pernas do fazendeiro e  $I(t)$  é a corrente utilizada para a simulação a qual foi a equação da exponencial dupla  $1.2/50$  onde 1.2 é o tempo em microsegundos que a corrente atinge seu pico e 50 é o tempo em microsegundos também que a amplitude atinge 50% do pico [29].

Uma certa similaridade pode ser notada entre as equações (1) e (9), em ambas a tensão vai depender de uma corrente dada, no caso da (1)  $I_{chd}$  e no caso da (9)  $I(t)$ , multiplicada por uma variável dependente de resistências.



**Figura 5.13 - Forma de onda da corrente aplicada [29]**

$\rho g$  é a condutividade do solo (valor usado foi igual a 0,001 S / m) ,  $r$  é a distância do ponto de descarga e  $s$  é a distância entre as pernas.

Com a equação (2) e os valores das tabelas 5.3 e 5.4 obtém-se os gráficos mostrados nas figuras 5.15 e 5.16, onde a figura 5.15 ilustra um gráfico da diferença de potencial entre os pés do fazendeiro variando no tempo e a figura 5.16 as correntes que passam pelo corpo do cavalo.

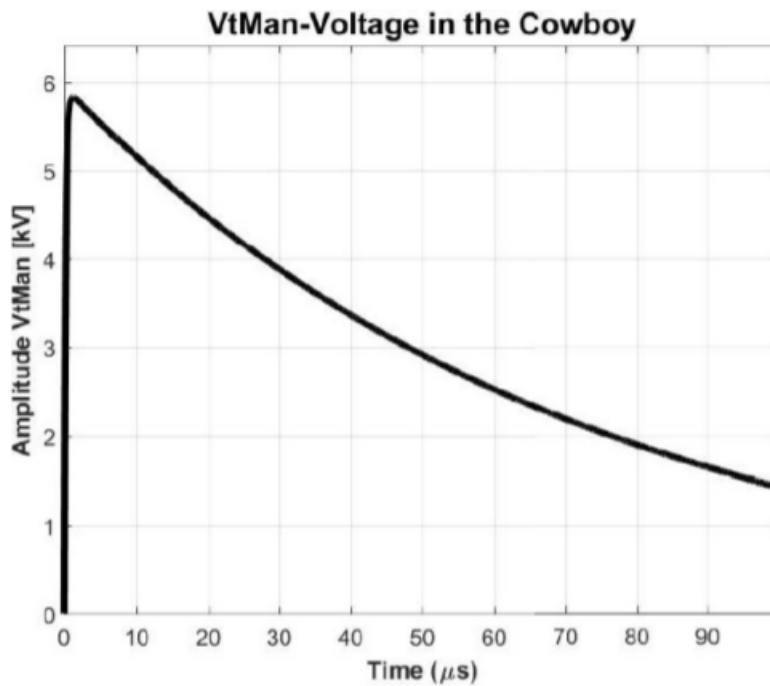


Figura 5.14 - Diferença de potencial entre os pés do fazendeiro [29]

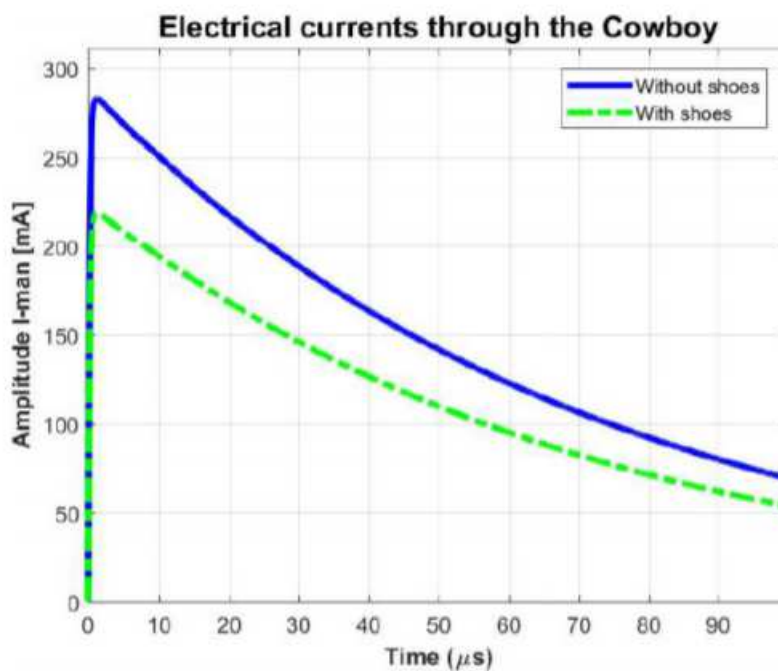
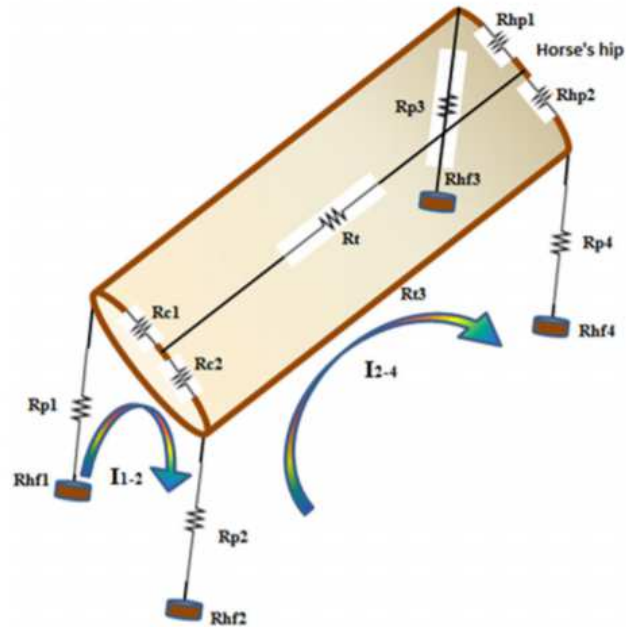


Figura 5.15 - Correntes elétricas no fazendeiro [29]

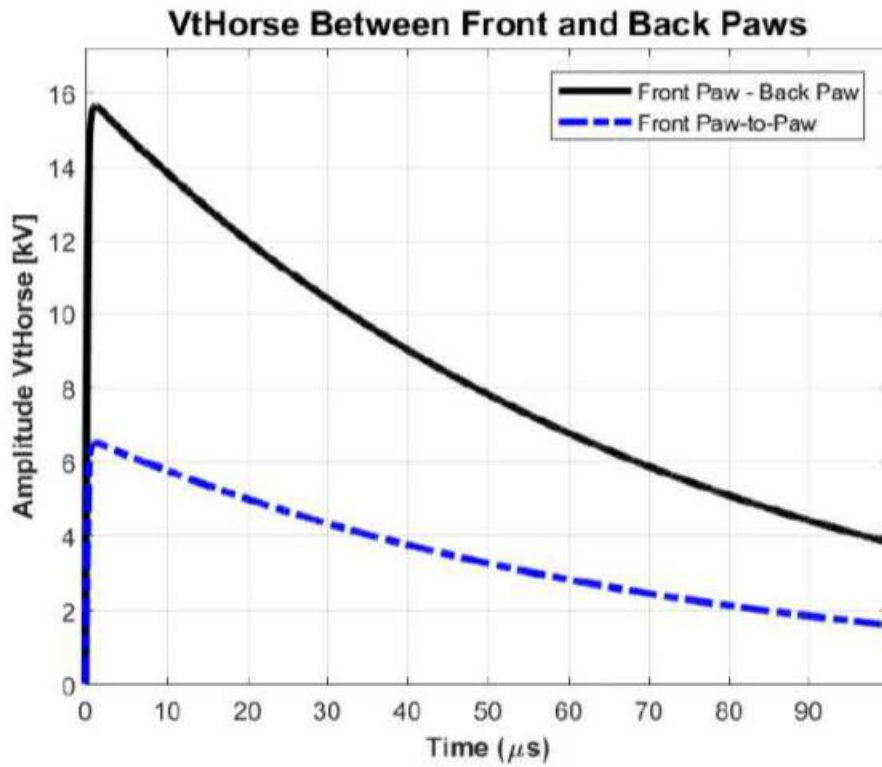
Na figura 5.15 são considerados dois casos, um com o fazendeiro sem sapatos e outro com sapatos. Neste último consideramos a resistência de  $3\text{k}\Omega$  para cada sapato [32] o que resultou numa corrente de pico de  $219\text{mA}$ .

Agora para o caso do cavalo temos duas possibilidades, a primeira é com a corrente da descarga passando pelas patas frontais ou traseiras e a segunda é com a corrente passando entre uma pata frontal e uma traseira, a figura 5.17 ilustra melhor essas possibilidades:



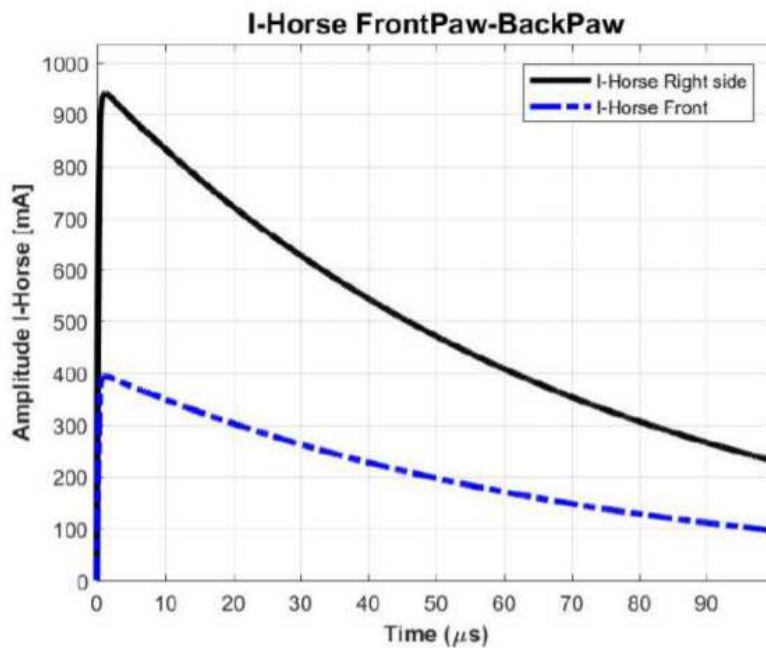
**Figura 5.16 - Circuitos simplificados das correntes que passam no corpo do cavalo [29]**

As diferenças de potencial encontradas entre duas patas frontais ou duas traseiras e um traseira e uma frontal estão demonstradas na imagem a seguir:



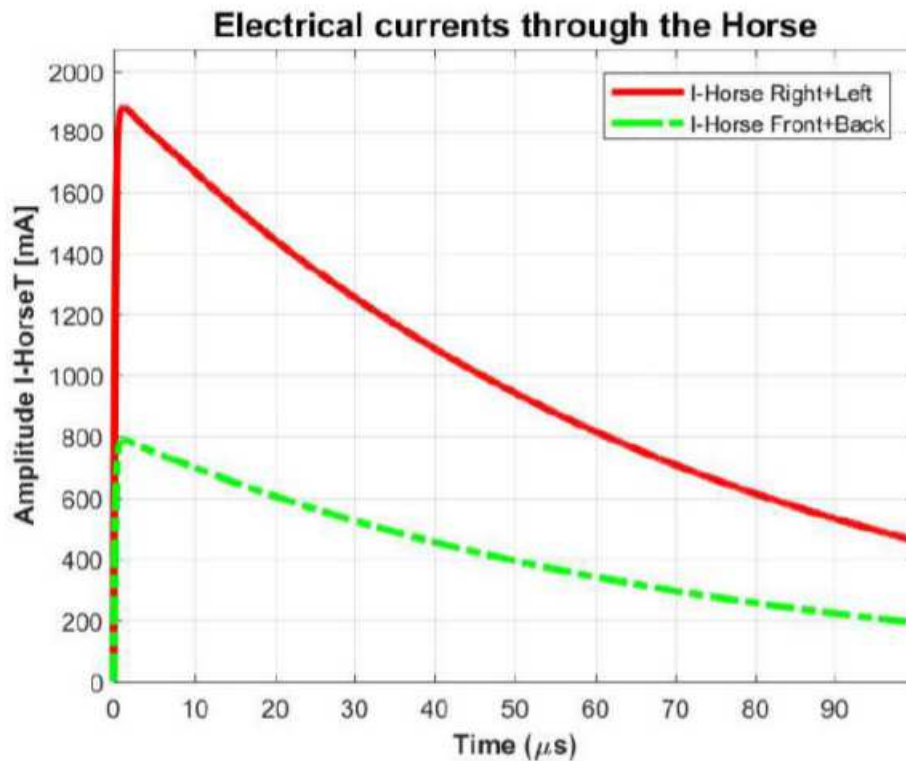
*Figura 5.17 - Tensão entre as patas dianteiras, pico 6.5 kV (azul), tensão entre patas dianteiras e as patas traseiras, pico 15,6 kV (preto) [29]*

E as correntes I 1-2 e I 2-4 mostradas na figura 5.15 foram simuladas e mostradas a seguir:



*Figura 5.18 - Forma das correntes I 1-2 e I 2-4 [29]*

E as correntes totais que correspondem aos dois lados do cavalo e a corrente passando nas patas frontais e traseiras ao mesmo tempo pode ser representada abaixo, que praticamente é o dobro das correntes vistas na imagem anterior:



*Figura 5.19 - Correntes totais no corpo do cavalo [29]*

A corrente na direção 1-2 atingiu o pico de 788 mA e a na direção 2-4 atingiu 1888 mA.

### 5.4.1 Comentários sobre o estudo de caso

Nesse acidente, o fazendeiro sofreu apenas pequenas lesões enquanto o cavalo morreu. As correntes vistas nesse trabalho oferecem risco de morte para ambos, correntes acima de 200mA podem ser fatais para qualquer ser vivo. No fazendeiro a corrente circulou pelas pernas e quadril não atingindo e afetando nenhum órgão vital. Diferente do que ocorreu no cavalo, onde a corrente atingiu o coração.



## 6 MEDIDAS PREVENTIVAS E PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO MEIO RURAL

No Capítulo 3 facilitadores da propagação de descargas atmosféricas no meio rural foram detalhados. Medidas preventivas e de proteção serão exploradas neste capítulo com base nesses facilitadores.

Cercas rurais são responsáveis por acidentes muito comuns em meio rural devido ao seu papel de conduzir a corrente da descarga. Uma medida que se pode usar nesse caso é o correto seccionamento da cerca e aterramento adequado, assim vamos conseguir dissipar a corrente para o solo de forma correta e eficaz.

No caso de rios ou regiões próximas de bacias de água doce, devemos evitar ficar nas proximidades no momento de tempestades, pois devido a condutividade da água os efeitos de uma descarga atmosférica podem se propagar até longas distâncias. O recomendado é manter distância, porém se no momento da tempestade isso não for possível uma boa forma de se proteger dos efeitos ou minimizar é se fechar em uma posição de “bola” como ilustrado na figura 6.1, com os dois pés juntos (para evitar uma diferença de potencial), usando calçado (a resistência do calçado irá diminuir a intensidade de uma possível corrente) e as mãos nos ouvidos para evitar uma possível surdez.



**Figura 6.1 – Posição para se proteger dos efeitos de uma descarga atmosférica**

Evitar o local do rebanho em locais em campo aberto e/ou muito altos também vai contribuir para a proteção contra descargas atmosféricas porque como já visto a descarga atmosférica tende a procurar o local mais alto, o que é o problema das árvores também.

Para árvores pode-se adotar equipamentos de proteção para descargas atmosféricas, com sistema similar ao usado em prédios. Com um cabo de cobre colocado no ponto mais alto, fixadores para o cabo até o solo onde há uma barra cravada para escoamento da energia dos raios [33]

Árvores que estiverem a até 3m de uma estrutura, ou com ramificações que se estendam acima dela, devem possuir proteção contra descargas atmosféricas em função dos riscos relacionados a descargas laterais, incêndios ou outros danos relacionados a estilhaços, no caso de superaquecimento dos fluidos internos e consequente fragmentação por explosão. Também pode ser desejável equipar outras árvores em função de seu valor para proprietário. A figura 6.2 ilustra essa proteção, onde são enumerados os equipamentos necessários para a instalação do sistema bem como os locais da instalação

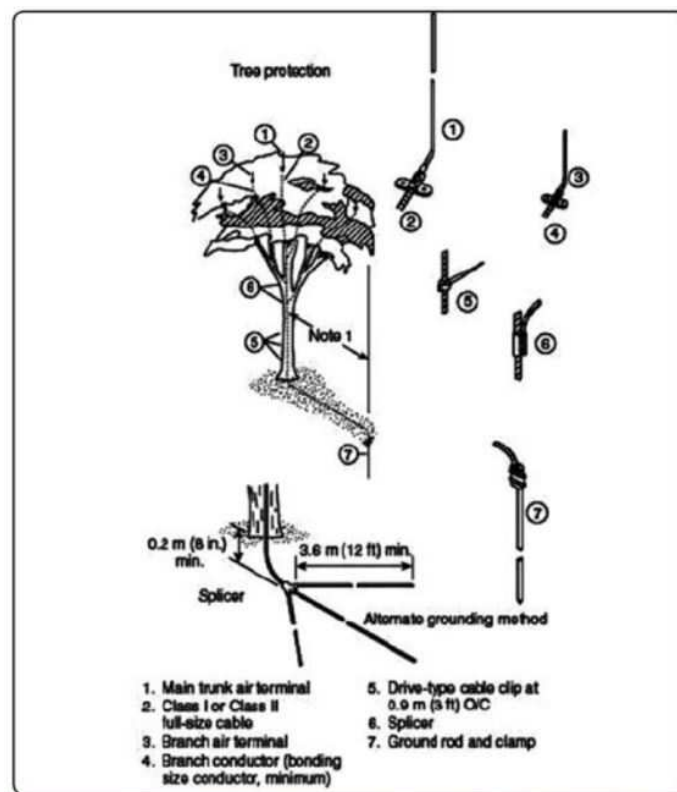


Figura 6.2 - SPDA pra árvores com mais de 3 metros [34].

# 7 CONCLUSÃO

## 7.1 Conclusões

As descargas atmosféricas são um fenômeno da natureza muito peculiar presentes tanto no meio urbano como no meio rural, e que embora despertem o fascínio por sua beleza e grandiosidade também despertam o temor e o medo pela destruição e impactos que podem causar.

Elas surgem basicamente por diferenças de potencial entre partículas carregadas, diferenças essas que podem ocorrer dentro da nuvem, entre uma nuvem e outra, e entre o solo e uma nuvem. Quando um canal de cargas positivas se encontrar com um canal de cargas negativas, canais esses formados devido a ruptura do dielétrico do ar, uma corrente de alta intensidade conhecida como corrente de retorno irá se formar, e essa corrente é percebida sonoramente como o trovão e luminosamente como o relâmpago.

O meio rural é um ambiente muito propício para a ocorrência de descargas atmosféricas, e os criadores de gado devem estar atentos as melhores formas de planejar o seu pasto ou lugar de alojamento dos animais com o intuito de evitar ao máximo danos a sua criação devido a ação de descargas atmosféricas nessa área.

Montadas e especificadas normalmente conforme as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR IEC 60335-2-76 e NBR NM IEC 335-1, as cercas rurais tradicionais ou elétricas são de suma importância numa propriedade rural para a segurança e alojamento dos animais, porém devido a sua estrutura metálica e propriedades de condução se tornam um grande perigo, pois se comportam como um atrator e propagador de uma possível descarga atmosférica.

Maneiras como evitar árvores no meio da área de criação, pastos em regiões muito elevadas, pastorear com o gado em regiões elevadas em tempos de tempestades, cercas bem seccionadas e aterradas podem contribuir muito para evitar descargas e conseqüentemente a morte de animais, e isso para o Brasil é muito importante devido ao grande papel e importância que a carne bovina tem na balança comercial exportadora.

A distribuição de folders por parte de cooperativas rurais com informações e orientações adequadas seria um grande passo para levar a informação aos vaqueiros e trabalhadores rurais para que consigam trabalhar e criar seus animais da forma mais segura possível em relação a proteção contra descargas atmosféricas e seus efeitos, porém infelizmente ainda não existe no Brasil cooperativas rurais que tiveram essa iniciativa.

No estudo de caso em que um fazendeiro e seu cavalo são atingidos por uma mesma descarga atmosférica e tiveram fins distintos, foi visto o papel da tensão de passo e as diferentes reações que ela causa para uma mesma corrente. O fazendeiro saiu com pequenos ferimentos uma vez que nenhum órgão vital foi atingido, e o cavalo por ter uma maior tensão de passo e também pelo caminho das correntes teve seu tronco atingido e conseqüentemente o coração, levando-o assim à morte.

## **7.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros focando o ambiente rural, pode-se desenvolver um estudo mais específico e aprofundado sobre cercas rurais, focando nas suas especificações e formas de montagem e uso, o qual foi abordado resumidamente nesse trabalho por não ser o tema principal, mas que é sim um tema muito amplo e importante e que com certeza seria um bom tema de trabalho de graduação também ou até mesmo um artigo. O estudo dos efeitos de descargas atmosféricas em outros tipos de animais, como por exemplo, animais aquáticos, ou até mesmo em outras circunstâncias para o cavalo, como o cavalo ser atingido pelo raio enquanto estava correndo, enquanto estava nadando, o que mudaria totalmente o rumo do trabalho e que com certeza traria a possibilidade de desenvolver um estudo muito interessante e produtivo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INPE. **Descargas Atmosféricas.**

Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>> Acesso em: abril de 2017

[2] INPE. **Definição.**

Disponível em

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/definicao.php>>

Acesso em abril de 2017

[3] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Conheça todos os tipos de nuvens.**

Disponível em <<http://www.ebc.com.br/infantil/voce-sabia/2015/04/conheca-todos-os-tipos-de-nuvens>> Acesso em: abril de 2017

[4] BLOG CHEMTRAILBRASIL. **Nuvens, um universo fascinante.** Disponível em

<<http://chemtrailbrasil.blogspot.com.br/2015/02/os-10-principais-tipos-de-nuvens.html>>

Acesso em: março de 2017

[5] WIKIPEDIA. **O raio.** Disponível em <<http://expandiramente.blogspot.com.br/2013/03/o-raio.html>> Acesso em: março de 2017

[1] INPE. **Perguntas e Respostas.** Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>> Acesso em: março de 2017

[6] **Tipos de raio.** Disponível em <<https://tempojaopessoa.jimdo.com/raios/tipos-de-raios/>> Acesso em: abril de 2017

[7] INPE. **Corrente Elétrica do raio.** Disponível em

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php>> Acesso em: março de 2017

[8] INPE. **Árvores.** Disponível em

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/arvores.php>> Acesso em: abril de 2017

- [9] VEJA. **Raio atinge quatro haitianos durante trabalho em fazenda de Camapuã.** Disponível em <<http://www.vejafolha.com.br/cidades/raio-atinge-quatro-haitianos-durante-trabalho-em-fazenda-de-camapua/>> Acesso em: abril de 2017
- [10] PINHEIRO. **Raio mata trinta bois que se protegiam da chuva debaixo da árvore.** Disponível em <<http://www.jfagora.com/raio-mata-trinta-bois-que-se-protegiam-da-chuva-debaixo-de-arvore.html>> Acesso em: abril de 2017
- [11] SOARES. **Raio.** Disponível em <<http://www.qsl.net/py4sm/raios.html>> Acesso em: abril 2017
- [12] PIXABAY. **Pastagem.** Disponível em < <https://pixabay.com/pt/gado-pastagens-vaca-fazenda-animal-918644/>> Acesso em Novembro de 2017
- [13] SABA, Marcelo. **O perigo dos raios em rios e mares.** Disponível em <[http://www.cienciahoje.org.br/revista/materia/id/588/n/o\\_perigo\\_dos\\_raios\\_em\\_rios\\_e\\_mares/](http://www.cienciahoje.org.br/revista/materia/id/588/n/o_perigo_dos_raios_em_rios_e_mares/)> Acesso em: abril de 2017
- [14] BLOG APOIO GENÉTICA. **Importância da água na nutrição.** Disponível em <<http://www.apoiogenetica.com.br/blog/artigos/mundo-bovino-importancia-da-agua-na-nutricao/>> Acesso em: abril de 2017
- [15] **Tipos de cercas e suas utilizações.**  
Disponível em < <http://ruralnews.com.br/visualiza.php?id=195>> Acesso em: abril de 2017
- [16] Prof. Dr. José Osvaldo, UFMG. **Proteção de cercas e currais contra raios**  
Disponível em < [https://www.youtube.com/channel/UCEKadX\\_jNF0TuFb22Zbp5yQ/videos/](https://www.youtube.com/channel/UCEKadX_jNF0TuFb22Zbp5yQ/videos/)>  
Acesso em: abril de 2017
- [17] PIRES, Cosme. **Instalação de cerca elétrica: como fazer?** Disponível em <<http://cobec.com.br/instalacao-de-cerca-eletrica-como-fazer/>> Acesso em: abril de 2017
- [18] **Curso Cerca Elétrica para Pastejo Rotativo: vantagens e desvantagens.** Cursos CPT, 2 minutos. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=BzDjJAibgZ0/>> Acesso em: abril de 2017
- [19] Disponível em  
<[http://rioalta.com.br/loja/index.php?route=product/product&product\\_id=94/](http://rioalta.com.br/loja/index.php?route=product/product&product_id=94/)>  
Acesso em: abril de 2017
- [20] Disponível em: <<http://www.kaury.com.br/seguranca/eletrificador-de-cerca/>> Acesso em: abril de 2017
- [21] Disponível em <[http://www.intermaq.com/area\\_tecnica\\_ver.php?id=15/](http://www.intermaq.com/area_tecnica_ver.php?id=15/)> Acesso em: abril de 2017

- [22] Disponível em <<http://www.ruralban.com/cercas-eletricas/acessorios-diversos/para-raio-completo-embalagem-com-6/>> Acesso em: abril de 2017
- [23] INPE. **Infográfico: morte por raios.** Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/infografico.-.mortes.por.raios.php/>> Acesso em: maio de 2017
- [24] **Riscos em Instalações e Serviços com Eletricidade / Norma Regulamentadora NR-10.** Disponível em <<http://www.pantojaindustrial.com/exibir.php?id=87>> Acesso em: abril de 2017
- [25] **Raio, Especialistas em Proteção Contra o. EVITAR RISCOS POR TENSÃO DE PASSO E CONTACTO.** *Aplicaciones Tecnológicas*. 01 de Dezembro de 2010. Disponível em <<http://tecnicosauambiental.blogspot.com.br/2014/04/tensao-de-contacto-e-tensao-de-passo.html/>> Acesso em: maio de 2017
- [26] NAKAGAWA, Fernando. **Exportação de carne tem peso grande na balança comercial brasileira.** Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,exportacao-de-carne-tem-peso-grande-na-balanca-comercial-brasileira,70001704684/>> Acesso em: maio de 2017
- [27] Disponível em <<http://www.beefpoint.com.br/cadeia-produtiva/giro-do-boi/uruguai-agora-vai-divulgar-rendimento-de-carcaca-de-cada-frigorifico-semanalmente/>> Acesso em: maio de 2017
- [28] ABNT. NBR 15751, **Sistema de Aterramento de Subestações – Requisitos.** Disponível em <<https://docslide.com.br/documents/nbr-15751-sistema-de-aterramento-de-subestacoes.html>> Acesso em: outubro de 2017
- [29] SILVA, Leandro. **The Horse, the Cowboy and the Lightning Modeling: A Case Study on a Farm in the State of Minas Gerais, Brazil.** 2017 International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA), Natal, Brazil, 2nd – 6th October 2017.
- [30] COOPER, Mary Ann, et. Al. **Lightning Injuries.** Wilderness Medicine, Ed. Paul S. Auerbach, 4th Edition, 2001 publication by Mosby, Inc
- [31] COORAY, Vernon. **An Introduction to Lightning.** Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2015
- [32] GODLEWSKI, J.R, et. Al. **Electrical Resistance of Work Shoes.** Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE. New Orleans, LA, USA
- [33] DEROSA, Ernest W. Lightning and trees. *Journal of arboriculture* 9(2): February 1983.
- [34] MONTAL. **Pararaio em árvore?** Disponível em <<http://montal.com.br/ultimas-noticias/item/61-pararaio-em-arvore-spda-descargas-atmosfericas.html>> Acesso em: outubro de 2017

- [35] MAIA, Grasielle. **Desvendando os fascínios do raio.** Disponível em <<http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2011/01/06/desvendando-os-fascinios-do-raio/>>  
Acesso em: 5 março de 2017
- [36] RUFFINO, Rogerio. **Cercas elétricas e o pastejo.** Disponível em <<http://rogerio-ruffino.blogspot.com.br/2013/01/cercas-eletricas-e-o-pastejo.html/>> Acesso em: abril de 2017
- [37] METIN, Akay. **Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering.** John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [38] LIMA, Leandro Pereira. et. Al. **Medidas lineares de equinos da raça Mangalarga criados na região de Itapetinga-Ba.** VII CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas TO, 2012.
- [39] METIN, Akay. **The Encyclopedia of Biomedical Engineering,** John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [40] FISH, R.M. **Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body: A Review.** Open Access Journal of Plastic Surgery, 2009.
- [41] **Lightning and the Space Program.** FS- 2005-10-031-KSC (Rev. 2006); NASA. Facts. Disponível em <[www.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/167417main\\_Lightning08.pdf](http://www.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/167417main_Lightning08.pdf)>. Acesso em: maio de 2017.
- [42] JIA, Wang. XIAOQING, Z. **Double-Exponential Expression of Lightning Current Waveforms.** CEEM'2006/Dalian.
- [43] CHINEN, K. et. Al. **New equivalent-electrical circuit model and a practical measurement method for human body impedance.** Bio-Medical Materials and Engineering 26 (2015) S779–S786.
- [44] SILVA, Leandro. ENJIU, Rodrigo. **Lightning on tree: Modeling a case study in Brasília, Brazil.** International Symposium on Lightning Protection (XIII SIPDA), Balneário Camboriú, Brazil, 28th Sept – 2nd Oct. 2015.
- [45] COOPER, Mary Ann. HOLLE, Ronald L. **Mechanisms of lightning injury should affect lightning safety messages.** 3rd International Lightning Meteorology Conference, Orlando, Fla, April 2010.
- [46] RAKOV, Vladimir A. UMAN, Martin A. **Lightning: Physics and Effects.** Cambridge, United Kingdom, 2003.
- [47] PLONUS, Martin A. **Applied electromagnetics.** McGraw-Hill: New York, 1978.
- [48] INPE. Disponível em <<http://www.inpe.br/weblat/rindat/menu/desc.atm/>> Acesso em: outubro de 2017