

Aula 1 - Engenharia das Descargas Atmosféricas

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- **Ementa do Curso** ⇒ aprender de A a Z sobre o fenômeno das Descargas atmosféricas.

Roadmap ⇒ Estudar os fenômenos na ionosfera, estudar os fenômenos que ocorrem dentro da nuvem, estudar os fenômenos e processos que acontecem entre a nuvem e o solo, estudar os fenômenos que acontecem quando a descarga chega no solo.

Palavras-Chave ⇒ Fenômenos da Ionosfera, Processos que dão origem a relâmpagos, Circuito Elétrico Global e Local, Stepped Leader, Dart Leader, Return Stroke, Parâmetros de Relâmpago, Equipamentos de Monitoramento de Tempestades, Impactos no Sistema Elétrico, Normas Regulamentadoras, Gestão de Risco contra raios.

- **Importância do Estudo** ⇒ Descargas atmosféricas são fenômenos com impactos econômicos, ambientais e sociais. Alguns fatos rápidos apresentados durante a aula:

Mortes por Raios ⇒ Os raios podem ser extremamente perigosos e até mesmo mortais para seres humanos. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que cerca de 2.000 pessoas são mortas por raios a cada ano em todo o mundo. No entanto, este número pode ser subestimado, uma vez que muitas mortes causadas por raios são erroneamente atribuídas a outras causas. Nota: a maioria das mortes causadas por raios (Cerca de 80%) seriam evitadas com conhecimentos básicos sobre o fenômeno das descargas atmosféricas.

Incêndios Causados Por Raios ⇒ Os raios são uma das principais causas de incêndios naturais em todo o mundo. Quando um raio atinge a superfície terrestre, ele pode aquecer instantaneamente o ar e causar uma explosão, que pode incendiar a vegetação circundante.

Esses incêndios causados por raios são conhecidos como incêndios de origem elétrica. Os incêndios de origem elétrica podem se espalhar rapidamente, especialmente em áreas com clima seco e ventoso, e podem ser muito difíceis de controlar. Eles também podem ser extremamente perigosos, ameaçando vidas humanas, animais e propriedades.

Impactos Econômicos ⇒ As descargas atmosféricas podem ter impactos significativos na economia, especialmente nos setores de energia, infraestrutura e agricultura. Aqui estão alguns exemplos:

- ***Setor de energia:*** As descargas atmosféricas podem causar interrupções no fornecimento de energia elétrica, danificando linhas de transmissão, transformadores e outros equipamentos. Isso pode levar a cortes de energia prolongados e significativos prejuízos financeiros para as empresas de energia e para os consumidores.
- ***Infraestrutura:*** Descargas atmosféricas também podem danificar edifícios, pontes, torres de comunicação e outras infraestruturas críticas. Os custos de reparo e substituição dessas estruturas podem ser altos e afetar a economia local.
- ***Agricultura:*** Descargas atmosféricas podem danificar plantações e colheitas, afetando a produção agrícola e os preços dos alimentos. Além disso, os incêndios causados por raios podem destruir terras agrícolas e pastagens, causando danos econômicos significativos.

Além disso, os custos de seguro podem aumentar em áreas de alto risco de raios, como resultado do aumento dos custos de reparação e substituição de equipamentos danificados. As empresas também podem ser afetadas pelos custos de paralisação das operações e pela perda de produtividade dos funcionários durante interrupções causadas por descargas atmosféricas. Portanto, é importante tomar medidas preventivas para minimizar os impactos econômicos das descargas atmosféricas.

- ***Curiosidades e Fatos Rápidos*** ⇒ alguns fatos rápidos discutidos em sala e aula e outros retirados da internet.

Maneiras pelas quais um raio pode matar ⇒ Um raio pode ser letal de várias maneiras. Aqui estão algumas maneiras pelas quais um raio pode matar:

- ***Parada cardíaca:*** A descarga elétrica do raio pode afetar o sistema cardiovascular do corpo, levando a uma parada cardíaca. Isso ocorre quando o coração para de bater e é responsável pela maioria das mortes por raios.

- ***Queimaduras:*** O raio pode causar queimaduras na pele e nos órgãos internos, o que pode ser fatal, dependendo da gravidade da queimadura.
- ***Lesões cerebrais:*** O raio pode afetar o sistema nervoso central, incluindo o cérebro, causando lesões cerebrais graves que podem ser fatais.
- ***Danos aos órgãos internos:*** A descarga elétrica do raio pode afetar os órgãos internos, como o fígado, os rins e os pulmões, causando danos graves que podem ser fatais.
- ***Explosão do corpo:*** Em casos raros, o raio pode causar uma explosão do corpo devido à rápida expansão do ar dentro do corpo, o que pode ser fatal.

Mecanismos Decorrentes das Descargas Atmosféricas que levam à morte ⇒ Os mecanismos mais comuns que levam à morte humana e animal são:

- ***“Ground Current”:*** A corrente de solo é um fenômeno elétrico que pode ocorrer durante uma descarga atmosférica. Durante uma tempestade com raios, a descarga elétrica do raio que atinge o solo cria uma corrente elétrica que se propaga em média de forma radial com centro no ponto de impacto. Isso ocorre porque o solo é um condutor elétrico, embora com resistência elétrica significativa. A corrente de solo é uma corrente elétrica de baixa frequência e alta amplitude que se propaga pelo solo a partir do ponto de contato do raio com o solo. A corrente de solo é particularmente perigosa pois pode causar uma diferença de potencial (tensão de passo) entre dois pontos no solo, resultando em uma corrente elétrica que afeta as pessoas, animais e equipamentos próximos. A corrente de solo causa um risco de choque elétrico, especialmente em áreas onde há muita umidade ou com solo úmido, o que torna o solo um melhor condutor elétrico. A corrente de solo é responsável por cerca de 50 a 55% das mortes causadas por raios.
- ***“Side Flash”:*** Side flash é um fenômeno perigoso que pode ocorrer durante uma descarga atmosférica. Isso acontece quando um raio atinge um objeto alto, como uma árvore, poste, torre ou prédio, e a corrente elétrica do raio segue o caminho do objeto em direção ao solo. Se houver alguém próximo ao objeto, a corrente elétrica pode saltar do objeto para a pessoa, causando uma descarga elétrica perigosa. O side flash pode ser perigoso, pois a corrente elétrica pode atingir uma pessoa sem que ela esteja diretamente no caminho da descarga elétrica do raio. Por exemplo, se uma pessoa estiver embaixo de uma árvore durante uma tempestade com raios e um raio atingir a árvore, a corrente elétrica pode saltar da árvore para a pessoa, mesmo que ela não esteja tocando a árvore diretamente. O Side Flash é responsável por 30 a 35% das mortes causadas por raios.

- **“Upward Leader”:** Durante uma tempestade, a carga elétrica se acumula na nuvem e na superfície terrestre, criando um campo elétrico intenso entre elas. Esse campo elétrico pode ionizar o ar e formar uma espécie de caminho condutor para a descarga elétrica. O processo de formação da descarga elétrica começa com o aparecimento de pequenos canais condutores de ar, chamados de líderes ascendentes, que se propagam a partir de objetos pontiagudos no solo, como árvores, antenas, edifícios, folhas de capim e até mesmo as pessoas. Esses líderes ascendentes contêm cargas elétricas que se movem em direção à nuvem, criando um caminho condutor para a descarga elétrica. Os líderes ascendentes são responsáveis por 10 a 15% das mortes causadas por raios.
- **Incidência Direta:** As mortes por incidência direta de raios ocorrem quando uma pessoa é atingida diretamente por um raio. Esse tipo de acidente é raro, mas pode ser fatal. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que cerca de 3 a 5% das pessoas atingidas por raios morrem devido à incidência direta. No entanto, é importante lembrar que muitas mortes causadas por raios são atribuídas a outras causas, já que os sintomas podem ser semelhantes aos de outras condições médicas. Os efeitos da incidência direta de raios no corpo humano podem variar, mas geralmente incluem queimaduras graves, lesões musculares e danos aos órgãos internos, como coração e pulmões. O raio pode causar parada cardíaca, parada respiratória e outras condições que podem levar à morte.
- **“Contact Voltage”:** A tensão de contato é uma forma de risco elétrico que ocorre quando uma pessoa toca diretamente em um objeto eletricamente energizado. Essa forma de tensão elétrica pode ser fatal em determinadas circunstâncias, tais como eletrização por descarga atmosférica. A tensão de contato pode ser causada por uma variedade de situações, como tocar em um fio elétrico exposto, em um aparelho elétrico com defeito ou em uma superfície metálica eletricamente carregada, entre outras. A intensidade da tensão de contato depende da voltagem da fonte de energia elétrica, da resistência elétrica do corpo humano e da duração do contato. A tensão de contato é responsável por 3 a 5% das mortes causadas por raios.

Guia Rápido de Sobrevivência ⇒ Existem algumas medidas que podem ser tomadas para aumentar as chances de sobrevivência durante uma tempestade com raios:

- **Procure abrigo em um local seguro:** A melhor maneira de evitar ser atingido por um raio é encontrar um local seguro. Evite prédios sem proteção contra descargas atmosféricas e qualquer estrutura alta ou metálica, como torres de energia eólica. Também evite árvores

e arbustos.

- ***Evite áreas abertas:*** Se você estiver ao ar livre, evite áreas abertas e expostas, como campos abertos, praias e campos de golfe. Procure abrigo em uma área protegida, como um carro ou uma caverna.
- ***Agache-se e cubra a cabeça:*** Se não houver abrigo disponível, agache-se e cubra a cabeça com as mãos. Mantenha os pés juntos e não toque em superfícies metálicas.
- ***Mantenha-se afastado de objetos condutores:*** Durante uma tempestade com raios, evite contato com objetos condutores de eletricidade, como cercas, linhas de energia elétrica, encanamentos de metal e equipamentos elétricos.
- ***Espere a tempestade passar:*** Espere pelo menos 30 minutos depois de ouvir o último trovão antes de sair do abrigo. Lembre-se de que as tempestades podem se mover rapidamente e é importante esperar até que a tempestade esteja bem distante antes de sair de um local seguro.

A melhor maneira de sobreviver a uma descarga atmosférica é evitar situações de risco, como áreas abertas e objetos condutores, e procurar abrigo em um prédio seguro ou em um carro. Se você estiver preso ao ar livre, agache-se e cubra a cabeça com as mãos, mantendo os pés juntos e evitando superfícies metálicas.

2 Temas impactantes, dúvidas e questionamentos

- Uma constatação triste é a de que muitas mortes por raios seriam evitadas se conhecimentos básicos sobre o fenômeno da eletricidade atmosférica fossem difundidos. Em uma situação ideal, 80% das mortes seriam evitadas seguindo procedimentos simples de proteção. Mas o que esperar de um povo cujo Q.I médio é 86? No Brasil, por mais que se difunda, por mais procedimentos que se façam, ainda existe o poder discricionário do matuto sabe-tudo que não manja nada. Realidade infeliz.
- À primeira vista, os raios são fenômenos habituais e até simples. É tudo corrente elétrica certo? sou engenheiro e sei do que se trata.... Só que não: um raio é um processo complexo que vai desde a ionosfera até o chão e não existe nada que possa ser subentendido ou menosprezado.
- Porque (quase) tudo na natureza que é bonito também é perigoso? Um *blue jet* deve ser lindo, um raio é magnífico, porém altamente perigosos.

3 Mitos e Verdades Sobre Descargas Atmosféricas

- ***Raios nunca atingem o mesmo lugar duas vezes.*** \Rightarrow *Mito:* Na verdade, raios podem atingir o mesmo lugar várias vezes, especialmente se o local é alto e condutivo, como uma torre de transmissão ou um arranha-céu.
- ***Áreas montanhosas são mais seguras durante tempestades com raios*** \Rightarrow *Mito:* Áreas montanhosas e picos de montanhas são na verdade mais perigosos durante tempestades com raios, pois a altitude pode aumentar a possibilidade de uma pessoa ser atingida.
- ***É seguro ficar dentro de um carro durante uma tempestade com raios.*** \Rightarrow *Verdade:* Ficar dentro de um carro é uma das opções mais seguras durante uma tempestade com raios, pois o carro age como uma gaiola de Faraday, protegendo as pessoas dentro dele.
- ***É seguro se abrigar embaixo de uma árvore durante uma tempestade com raios.*** \Rightarrow *Mito:* Na verdade, é perigoso se abrigar embaixo de uma árvore durante uma tempestade com raios, pois os raios tendem a atingir as árvores mais altas, e a eletricidade pode passar para uma pessoa que esteja embaixo dela.
- ***O raio só pode atingir pessoas que estão fora durante uma tempestade*** \Rightarrow *Mito:* Infelizmente, isso não é verdade. Pessoas dentro de casa, prédios e outros locais fechados ainda podem ser atingidas por raios, especialmente se estiverem em contato com objetos condutores de eletricidade, como telefones com fio, encanamentos de metal e equipamentos eletrônicos.
- ***É seguro tomar banho ou usar água corrente durante uma tempestade com raios.*** \Rightarrow *Mito:* Não é seguro tomar banho ou usar água corrente durante uma tempestade com raios, pois a eletricidade pode passar através da água e chegar até uma pessoa.
- ***O arco-íris após uma tempestade com raios é um sinal de que a tempestade acabou e é seguro sair*** \Rightarrow *Mito:* Embora o arco-íris possa ser um belo espetáculo após uma tempestade com raios, isso não significa que a tempestade acabou e que é seguro sair. As descargas atmosféricas ainda podem ocorrer mesmo após o fim da chuva.
- ***Um para-raios é 100% eficaz em evitar que raios atinjam uma estrutura*** \Rightarrow *Mito:* Um para-raios pode reduzir significativamente a probabilidade de um raio atingir uma estrutura, mas não é uma garantia absoluta. É importante que os para-raios sejam instalados corretamente e mantenham um bom estado de conservação.

- ***A distância do trovão pode ser calculada contando o número de segundos entre o relâmpago e o trovão*** ⇒ *Verdade:* Contar o número de segundos entre o relâmpago e o trovão pode dar uma estimativa grosseira da distância do trovão, mas não é uma medida precisa. A distância real pode variar dependendo de muitos fatores, como a direção do trovão e a temperatura e umidade do ar.
- ***A posição do corpo durante uma descarga atmosférica pode afetar a gravidade da lesão*** ⇒ *Mito:* A posição do corpo não afeta a gravidade da lesão durante uma descarga atmosférica. Qualquer parte do corpo que esteja em contato com um objeto condutivo de eletricidade pode ser afetada pela eletricidade.
- ***É seguro filmar ou fotografar tempestades com raios ao ar livre*** ⇒ *Mito:* É altamente desaconselhável filmar ou fotografar tempestades com raios ao ar livre, pois isso aumenta significativamente o risco de ser atingido por um raio. É melhor observar a tempestade de dentro de casa ou de um local seguro.
- ***Se você tocar uma vítima de incidência de descarga atmosférica, será eletrocutado*** ⇒ *Mito:* o corpo humano não armazena eletricidade.
- ***Você pode sentir uma descarga atmosférica antes de ser atingido*** ⇒ *Mito:* Algumas pessoas relatam sentir uma sensação de formigamento ou choque elétrico antes de serem atingidas por um raio, mas isso não é comum e não é uma garantia de que você será atingido. É importante procurar abrigo imediatamente e evitar ficar em áreas abertas durante tempestades com raios.

4 Normas

4.1 Norma ABNT NBR 5419

A ABNT NBR 5419 é uma norma brasileira que estabelece as diretrizes e requisitos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). A norma aborda temas como a análise de risco, dimensionamento dos componentes do SPDA e procedimentos de inspeção e manutenção. O objetivo da ABNT NBR 5419 é garantir a segurança de pessoas e patrimônio em caso de descargas atmosféricas, prevenindo danos e acidentes. A norma é atualizada periodicamente para se adequar a novas tecnologias e práticas de segurança. A norma ABNT NBR 5419 é dividida em 5 partes:

- **Parte 1 - Princípios gerais** ⇒ a parte 1 da norma ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos gerais para o projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Esta parte também fornece orientações para a avaliação de riscos envolvidos e a seleção de medidas de proteção adequadas, considerando as características do local, a função da estrutura e as consequências de uma descarga atmosférica. Além disso, são abordados temas como a classificação das estruturas e o dimensionamento do sistema de proteção, considerando os parâmetros elétricos, geométricos e ambientais. Esta parte da norma é essencial para garantir a eficácia e segurança dos SPDA instalados.
- **Parte 2 - Gerenciamento de Risco** ⇒ a Parte 2 da ABNT NBR 5419 fornece informações específicas para a avaliação do risco devido aos efeitos indiretos de raios, como sobretensões transitórias e correntes de terra, em estruturas e sistemas elétricos, eletrônicos e de telecomunicações. A norma apresenta os requisitos para o projeto, instalação e manutenção de medidas de proteção contra sobretensões transitórias e correntes de terra induzidas por raios em estruturas e sistemas elétricos, eletrônicos e de telecomunicações. A Parte 2 da norma inclui também informações sobre a seleção e instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões transitórias, a medição da resistência de terra, a avaliação da compatibilidade eletromagnética, a análise de risco, a classificação dos locais em termos de risco e as especificações para o projeto e instalação de sistemas de aterramento.
- **Parte 3 - Danos físicos a estruturas e perigos à vida animal** ⇒ a parte 3 da ABNT NBR 5419, intitulada "Danos físicos a estruturas e perigos à vida animal", estabelece diretrizes para avaliar os efeitos das descargas atmosféricas em estruturas e na vida animal, incluindo edificações, linhas de transmissão, antenas e torres de telecomunicação, e animais em pastos, estábulos ou cercados. A norma descreve procedimentos para avaliar a probabilidade de danos e as consequências de uma descarga atmosférica, incluindo o risco de incêndios e explosões, e a necessidade de medidas de proteção para minimizar os riscos. A parte 3 da norma também apresenta orientações para a análise do risco de danos a equipamentos eletrônicos e de telecomunicações e para a avaliação dos efeitos da eletricidade de contato e da indução eletromagnética em pessoas e animais próximos a estruturas afetadas por descargas atmosféricas.
- **Parte 4 - Sistemas elétricos e eletrônicos internos** ⇒ a parte 4 da NBR 5419 é intitulada "Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura", e estabelece as medidas de proteção contra surtos para os sistemas elétricos e eletrônicos internos em uma estrutura, tais como equipamentos de telecomunicações, sistemas de automação, entre outros. A norma define requisitos

para o projeto, instalação e manutenção desses sistemas, incluindo a seleção e instalação de dispositivos de proteção contra surtos. Além disso, a parte 4 da NBR 5419 também aborda a necessidade de um sistema de aterramento eficiente para garantir a eficácia da proteção contra surtos. Essa parte da norma é importante para garantir a segurança e a integridade dos sistemas elétricos e eletrônicos internos de uma estrutura, evitando danos e perda de funcionamento de equipamentos sensíveis a sobretensões.

- **Parte 5 - Outros serviços e estruturas** ⇒ a parte 5 da ABNT NBR 5419 estabelece as diretrizes para o sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Essa parte especifica os requisitos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em estruturas que contenham equipamentos eletroeletrônicos sensíveis, como centrais de telecomunicações, sistemas de informática e outros similares. A parte 5 da NBR 5419 traz recomendações para a proteção de equipamentos eletroeletrônicos sensíveis contra sobretensões transitórias induzidas por descargas atmosféricas em suas linhas de alimentação de energia, de sinal e de dados. Ela aborda aspectos como a seleção e instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, a coordenação desses dispositivos, as características elétricas dos equipamentos a serem protegidos e os procedimentos de inspeção e manutenção desses sistemas de proteção.

4.2 Norma ABNT NBR 5410

A Norma Brasileira ABNT NBR 5410 é referente às instalações elétricas de baixa tensão em edificações, e tem como objetivo estabelecer as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Ela define as características dos materiais e equipamentos a serem utilizados, as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas, as disposições relativas à proteção e ao funcionamento da instalação, entre outras diretrizes importantes para a segurança e bom funcionamento das instalações elétricas.

A NBR 5410 é dividida em partes e seções, sendo elas:

- **Parte 1 - Objetivo, campo de aplicação e definições gerais** ⇒ a parte 1 da NBR 5410 estabelece o objetivo, o campo de aplicação e as definições gerais para a norma. Seu objetivo é definir as medidas necessárias para garantir a segurança das pessoas e dos animais, o funcionamento adequado dos equipamentos e a conservação dos bens em instalações elétricas de baixa tensão, abrangendo as fases de projeto, execução, inspeção, manutenção e reforma. O campo

de aplicação da norma inclui instalações elétricas de baixa tensão, com tensões de até 1.000V em corrente alternada (CA) ou 1.500V em corrente contínua (CC), em edificações residenciais, comerciais, públicas, industriais e rurais, bem como em áreas externas, como ruas, praças e estradas. As definições gerais estabelecem termos e conceitos que serão utilizados em todas as partes da norma, visando garantir uma linguagem uniforme e adequada. Alguns exemplos de definições abordadas na parte 1 incluem: aparelho de proteção contra surtos (DPS), circuito elétrico, corrente nominal, dispositivo de proteção contra sobrecorrente, entre outros.

- **Parte 2 - Condições gerais de projeto** ⇒ a parte 2 da NBR 5410 estabelece as condições gerais de projeto que devem ser consideradas para garantir a segurança das pessoas, dos animais e dos bens materiais contra os efeitos térmicos e não térmicos da eletricidade. Essa parte da norma estabelece os princípios básicos a serem seguidos em todas as instalações elétricas de baixa tensão e define os parâmetros de projeto, tais como:

- Seleção dos equipamentos elétricos de acordo com sua adequação ao uso pretendido e às condições ambientais e de instalação;
- Critérios para a seleção das características nominais dos componentes elétricos, tais como corrente nominal, tensão nominal, corrente de curto-circuito suportável, seletividade e coordenação entre dispositivos de proteção;
- Dimensionamento dos condutores elétricos e cálculo da queda de tensão;
- Proteção contra sobrecorrentes, curto-circuito, sobretensão e contato direto;
- Disposições para aterramento e equipotencialização;
- Isolação e proteção contra choques elétricos;
- Proteção contra os efeitos do calor e fogo;
- Identificação e sinalização das instalações elétricas.

Essa parte da norma também apresenta exemplos de aplicação dos critérios estabelecidos, para orientar o projetista na correta aplicação dos conceitos e parâmetros definidos.

- **Parte 3 - Proteção contra choques elétricos** ⇒ a parte 3 da NBR 5410 aborda os aspectos das instalações elétricas em relação às proteções contra choques elétricos. Ela fornece os requisitos de proteção para as pessoas, animais e bens, bem como para o próprio sistema elétrico. Alguns dos tópicos abordados nesta parte incluem:

- Proteção contra choques elétricos diretos e indiretos;

- Medidas de proteção para reduzir a probabilidade de falhas de isolamento;
- Seleção de dispositivos de proteção contra sobrecorrente;
- Proteção contra sobretensões;
- Proteção contra sobrecargas e curto-circuitos;
- Coordenação de isolamento;
- Verificação da eficácia da proteção.

Essa parte da norma é essencial para garantir a segurança das pessoas e a proteção dos equipamentos elétricos.

- ***Parte 4 - Proteção contra sobretensões e perturbações eletromagnéticas*** ⇒ a parte 4 da NBR 5410 estabelece os requisitos para a seleção e instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões transitórias, também conhecidos como DPS (Dispositivos de Proteção contra Surto).

Essa parte da norma apresenta orientações sobre as características e especificações técnicas que os DPS devem atender, bem como os critérios para sua seleção e instalação, de forma a garantir a proteção adequada dos equipamentos elétricos contra surtos de tensão decorrentes de descargas atmosféricas, manobras de rede e outras causas.

Entre os tópicos abordados na Parte 4 da NBR 5410, destacam-se:

- Definições e classificação dos DPS;
- Características elétricas e mecânicas dos DPS;
- Critérios para seleção dos DPS, com base nas
 - características do sistema elétrico e nos requisitos de proteção;
- Requisitos para a instalação dos DPS, incluindo sua localização, conexão e equipotencialização;
- Verificação da eficácia dos DPS instalados, por meio de ensaios e testes.

O cumprimento dos requisitos da Parte 4 da NBR 5410 é fundamental para garantir a proteção dos equipamentos elétricos e a segurança das pessoas que trabalham com eletricidade.

- ***Parte 5 - Instalações elétricas em locais com condições especiais*** ⇒ a parte 5 da NBR 5410 estabelece requisitos específicos para instalações elétricas em locais com condições especiais, tais como:

- ***Locais com presença de poeira:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais com presença de poeira combustível, de forma a prevenir a ocorrência de explosões ou incêndios.
 - ***Locais com presença de umidade:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais úmidos ou com possibilidade de inundação, de forma a garantir a segurança das pessoas e a integridade dos equipamentos.
 - ***Locais com presença de gases ou vapores explosivos:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais com presença de gases ou vapores inflamáveis, de forma a prevenir a ocorrência de explosões ou incêndios.
 - ***Locais com presença de líquidos inflamáveis:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais com presença de líquidos inflamáveis, de forma a prevenir a ocorrência de incêndios.
 - ***Locais com presença de animais:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais com presença de animais, de forma a prevenir a ocorrência de acidentes elétricos.
 - ***Locais com presença de pessoas com necessidades especiais:*** a norma estabelece requisitos para a instalação de equipamentos e dispositivos elétricos em locais com presença de pessoas com necessidades especiais, de forma a garantir a acessibilidade e a segurança dessas pessoas.
- ***Parte 6 - Verificação*** ⇒ a parte 6 da NBR 5410 estabelece os procedimentos de verificação das instalações elétricas de baixa tensão, incluindo as inspeções visuais e os ensaios elétricos e funcionais.

Esta parte da norma apresenta as diretrizes para a realização de inspeções visuais nas instalações elétricas, que devem ser realizadas antes da energização e após a conclusão das obras. Além disso, também são descritos os procedimentos de ensaios elétricos e funcionais que devem ser realizados em cada fase do processo de instalação elétrica.

Os ensaios elétricos incluem medições de resistência de circuito de terra, verificação da continuidade dos condutores de proteção, testes de isolamento, entre outros. Já os ensaios funcionais têm como objetivo verificar o funcionamento correto dos dispositivos de proteção, como disjuntores, fusíveis, DRs, entre outros.

A Parte 6 da NBR 5410 também apresenta os critérios para aceitação e rejeição das instalações elétricas, com base nos resultados das inspeções visuais e dos ensaios elétricos e funcionais. Por

fim, a norma estabelece as responsabilidades dos diferentes agentes envolvidos na verificação das instalações elétricas, como projetistas, instaladores e usuários.

- **Parte 7 - Disposições para segurança** ⇒ a parte 7 da NBR5410 aborda as disposições para a segurança das pessoas, animais e bens materiais envolvidos em instalações elétricas. Essas disposições incluem medidas de proteção contra choques elétricos, isolamento elétrico, proteção contra sobretensões e sobrecorrentes, proteção contra incêndios e explosões, entre outras.

A Parte 7 estabelece os critérios de segurança a serem observados em todas as etapas de projeto, construção, instalação, operação, manutenção e inspeção de instalações elétricas. Ela também fornece orientações sobre a seleção de dispositivos de proteção, equipamentos de medição e outros dispositivos de segurança, bem como sobre a identificação de riscos e a adoção de medidas preventivas.

A Parte 7 da NBR5410 é fundamental para garantir a segurança das pessoas e dos bens envolvidos em instalações elétricas e deve ser seguida rigorosamente por todos os profissionais envolvidos em atividades relacionadas à eletricidade.

- **Seções complementares** ⇒ Conjunto de normas e documentos técnicos que complementam a NBR 5410 e são referenciados ao longo do texto da norma.

A NBR 5410 cita a NBR 5419, que é a norma que estabelece os requisitos para o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) em edificações e estruturas. A NBR 5410, por sua vez, estabelece as normas técnicas para instalações elétricas de baixa tensão em edificações. É comum que ambas as normas sejam utilizadas em conjunto para garantir a segurança e o bom funcionamento das instalações elétricas em edificações.

4.3 Norma Regulamentadora NR-10

A NR-10 é uma Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego (atualmente, Secretaria Especial de Previdência e Trabalho do Ministério da Economia) que estabelece as condições mínimas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que atuam em instalações e serviços em eletricidade.

A norma tem como objetivo estabelecer medidas de controle e prevenção de acidentes elétricos, através de requisitos para a segurança em projetos, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação das instalações elétricas, além de prever a capacitação e treinamento dos trabalhadores que atuam nessas áreas.

Entre os temas abordados pela NR-10, estão a análise de risco, a utilização de equipamentos de proteção coletiva e individual, a sinalização de segurança, a documentação técnica das instalações elétricas, as medidas de proteção contra incêndios e explosões, a investigação de acidentes, entre outros. A norma também estabelece as responsabilidades dos empregadores, empregados e prestadores de serviços quanto à segurança elétrica.

A NR 10 e a NBR 5419 são duas normas que tratam de assuntos distintos, mas complementares no que se refere à segurança em instalações elétricas.

A NR 10, estabelecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), trata da segurança em serviços em eletricidade. Ela estabelece as diretrizes e requisitos mínimos para a segurança dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com instalações elétricas e serviços com eletricidade. A norma tem como objetivo garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que trabalham com eletricidade, prevenindo acidentes e minimizando os riscos associados a essas atividades.

Já a NBR 5419, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), trata da proteção contra descargas atmosféricas. Ela estabelece os requisitos mínimos para a proteção de pessoas e patrimônios contra os efeitos diretos e indiretos das descargas atmosféricas em edificações e estruturas.

Apesar de terem focos diferentes, as duas normas são complementares, pois uma instalação elétrica pode estar exposta a descargas atmosféricas e, portanto, precisa ser protegida. Por isso, a NBR 5419 é frequentemente mencionada na NR 10 como uma norma complementar que deve ser seguida em instalações elétricas expostas a riscos de descargas atmosféricas.

5 Nomes aos Bois - Nomenclatura

- ***Raio ou descarga atmosférica (“Lightning”)*** ⇒ refere-se a todos os elementos envolvidos no processo completo de descarga atmosférica, incluindo a formação do canal de descarga, a corrente de retorno, bem como as manifestações elétricas, visuais e sonoras associadas.
- ***Relâmpago (“Lightning”)*** ⇒ o efeito luminoso produzido pelo aquecimento do canal causado pelo fluxo de corrente de retorno.
- ***Trovão (“Thunder”)*** ⇒ o efeito sonoro resultante do deslocamento abrupto do ar próximo ao canal de descarga, que se expande devido ao aquecimento gerado pela corrente elétrica que passa pelo canal.
- ***Descarga Elétrica (“Electric discharge”)*** ⇒ fenômeno físico que ocorre quando há uma transferência súbita de cargas elétricas entre dois corpos com potenciais elétricos diferentes. Esse

processo é acompanhado por uma liberação intensa de energia em forma de luz, calor e ondas eletromagnéticas.

- **Descarga atmosférica plena (“Flash”)** \Rightarrow Corresponde ao conjunto de descargas de retorno (“Return Stroke”) envolvidas após o fechamento do canal. Um *flash* pode ser constituído de uma ou mais descargas (“Strokes”) pelo canal.
- **Canal precursor de descarga (Líder Escalonado ou “Stepped Leader”)** \Rightarrow É o canal ionizado que evolui por passos, da ordem de 50 m, decorrente de sucessivos saltos no ar, com intervalos de 50 μs .
- **Canal descendente (“Downward Leader”)** \Rightarrow é o canal ionizado que se forma a partir da quebra do ar e se propaga em direção ao solo, partindo da nuvem em direção ao solo. Esse canal apresenta uma direção vertical, com ramificações e oscilações.
- **Canal Ascendente (“Upward Leader”)** \Rightarrow é o canal ionizado que se propaga no sentido ascendente a partir do solo, evoluindo em direção à nuvem. Também tem direção vertical, com tortuosidades e ramificações.
- **Canal de descarga (“Lightning Channel”)** \Rightarrow é um caminho ionizado através do qual a eletricidade flui durante uma descarga elétrica, como um raio. É criado quando um campo elétrico intenso ioniza o ar e cria um canal condutivo para que a carga elétrica possa se mover. O canal de descarga geralmente se estende do solo até a nuvem de tempestade, embora também possa se formar entre diferentes partes da mesma nuvem. O canal de descarga é rodeado por uma aura brilhante de luz chamada de corona, que é causada pela ionização do ar ao redor do canal. O núcleo do canal mede alguns centímetros e a aura do efeito corona mede alguns metros.
- **Corrente de retorno (“Return Current”)** \Rightarrow A corrente que flui pelo percurso ionizado após o fechamento do canal de descarga corresponde à corrente de retorno. É a corrente elétrica que retorna da nuvem para o solo, fechando o circuito elétrico da descarga atmosférica. A intensidade dessa corrente pode atingir valores muito elevados, da ordem de dezenas ou até centenas de milhares de amperes. O descarregamento dessa corrente pode gerar diversos efeitos, como luminosos, sonoros, térmicos e magnéticos.
- **Descarga de Retorno (“Stroke” ou “Return Stroke”)** \Rightarrow A descarga de retorno é um evento elétrico que ocorre durante uma descarga atmosférica. Ela está associada ao fluxo de corrente de retorno pelo canal de descarga após o fechamento. Um único flash de descarga atmosférica pode incluir várias descargas de retorno (strokes).

- ***Descarga de Retorno Subsequente (“Subsequent Stroke”)*** ⇒ descargas subsequentes à descarga de retorno.
- ***Corrente de Recarregamento do Canal de Descarga (“Dart Leader Current”)*** ⇒ A corrente de recarregamento do canal de descarga é uma corrente de baixo valor que corresponde ao deslocamento de cargas negativas da nuvem para o canal restante após uma descarga de retorno negativa anterior. Logo após o fluxo da corrente de retorno, o canal tende a se dissipar. No entanto, em alguns casos (entre 70 e 80% das vezes), ocorrem processos disruptivos na parte superior do canal, conectando-o a outro centro de cargas negativas na nuvem.
- ***Processo de Descarregamento do Canal de Descarga (“Dart Leader”)*** ⇒ é um evento que ocorre durante a dissipação da corrente de retorno de uma descarga anterior. Nesse momento, a corrente de recarga flui pelo canal de descarga, criando um fenômeno semelhante a um "dardo" percorrendo o canal.
- ***Processo de Conexão ou Fechamento do Canal de Descarga (“Attachment Process”)*** ⇒ após a evolução dos canais ascendente e descendente, ocorre a conexão entre eles, dando origem ao canal de descarga. Nesse canal, ocorrerá o fluxo da corrente de retorno. Esse processo é considerado o estágio final da evolução do fenômeno da descarga elétrica atmosférica.
- ***Canal Piloto de Descarga (“Streamer”)*** ⇒ canal precursor estabelecido junto a um eletrodo ou na extremidade de um canal ionizado, o qual antecede a formação do salto da descarga elétrica plena.
- ***Descarga Direta (“Direct Flash”)*** ⇒ O evento associado à incidência direta de uma descarga sobre uma vítima, estrutura ou objeto.
- ***Descarga indireta, lateral ou próxima (“Indirect Flash” ou “Close Strike”)*** ⇒ Descarga indireta é um evento no qual a descarga elétrica não atinge diretamente uma pessoa, objeto ou estrutura, mas causa um efeito indireto. Por exemplo, a descarga pode atingir um objeto próximo, como uma árvore ou poste, e o efeito da corrente elétrica pode se propagar para um objeto ou pessoa próxima através de condução ou radiação. Esse tipo de descarga também é conhecido como descarga lateral ou próxima.

6 Crenças sobre os Raios

6.1 Mitologia Nórdica

A mitologia nórdica inclui várias histórias e crenças relacionadas a tempestades e descargas atmosféricas. Thor, o deus do trovão e da guerra, é uma das figuras mais conhecidas da mitologia nórdica associada a raios e tempestades.

De acordo com as lendas, Thor empunhava um martelo mágico chamado Mjolnir, que era capaz de criar trovões e raios quando era jogado. Os antigos nórdicos acreditavam que a presença de trovões e relâmpagos era uma manifestação da ira de Thor contra os inimigos dos deuses.

Em algumas histórias, os raios eram vistos como uma forma de comunicação entre os deuses e os mortais. Acredita-se que os raios também possam ser uma forma de purificação, com Thor usando seus poderes para limpar a terra dos males e influências negativas.

Os antigos nórdicos também tinham rituais e práticas para se proteger de tempestades e raios. Por exemplo, eles acreditavam que a queima de fogueiras durante as tempestades poderia ajudar a afastar os raios e evitar danos.

A mitologia nórdica ainda tem um lugar na cultura popular, especialmente em relação a Thor e seu papel como o deus do trovão e dos raios.

6.2 Mitologia Suméria

A mitologia suméria é uma das mais antigas do mundo, datando de cerca de 4000 a.C. Embora a mitologia suméria não tenha um deus específico do trovão ou dos raios, há várias referências a tempestades e descargas atmosféricas em suas histórias e lendas.

Uma das figuras mais conhecidas da mitologia suméria é Enlil, o deus da tempestade, que controlava o vento, a chuva e os trovões. Ele era frequentemente retratado segurando uma arma com a qual ele poderia criar trovões e relâmpagos.

Os antigos sumérios também acreditavam que as tempestades eram um sinal de descontentamento dos deuses. Eles acreditavam que, quando os deuses estavam descontentes com a humanidade, eles enviariam tempestades e outras manifestações climáticas para demonstrar sua ira.

Além disso, havia práticas e rituais para se proteger de tempestades e raios na mitologia suméria. Por exemplo, acredita-se que a queima de incenso e oferendas aos deuses poderia ajudar a afastar tempestades e evitar danos causados por descargas atmosféricas.

6.3 Mitologia Babilônica

A mitologia babilônica, que se desenvolveu a partir da cultura suméria, também faz referência a tempestades e descargas atmosféricas em suas histórias e lendas.

O deus babilônico Adad, também conhecido como Ishkur, era o deus da tempestade, da chuva e dos trovões. Ele era frequentemente retratado com um raio na mão e acreditava-se que tinha o poder de controlar as tempestades.

Na mitologia babilônica, assim como na suméria, as tempestades eram frequentemente vistas como uma manifestação da ira divina. Acredita-se que, quando os deuses estavam insatisfeitos com a humanidade, eles poderiam enviar tempestades, chuvas torrenciais e raios para demonstrar sua ira.

Os babilônios também desenvolveram rituais para se protegerem contra tempestades e raios. Eles acreditavam que oferecer sacrifícios aos deuses poderia ajudar a afastar as tempestades e evitar danos causados por descargas atmosféricas.

6.4 Mitologia Egípcia

A mitologia egípcia também tem várias referências a tempestades e descargas atmosféricas em suas histórias e crenças religiosas.

Um dos deuses mais associados com as tempestades e raios na mitologia egípcia é Seth. Ele era frequentemente retratado segurando uma lança ou um raio, e acredita-se que ele tinha o poder de controlar o vento e as tempestades. Hórus, o deus falcão, também era às vezes associado com tempestades e raios, especialmente quando ele assumia sua forma como o deus da guerra.

Assim como em outras culturas antigas, as tempestades e raios eram frequentemente vistos como um sinal da ira divina na mitologia egípcia. Por exemplo, a história do deus Rá, que era o deus sol, mostra que ele se tornou irado com a humanidade e enviou tempestades para punir aqueles que o haviam ofendido.

Os antigos egípcios também desenvolveram amuletos e outras práticas para se protegerem contra tempestades e raios. Por exemplo, eles acreditavam que usar amuletos em forma de escaravelho podia ajudar a afastar as tempestades e evitar danos causados por descargas atmosféricas.

6.5 Mitologia Grega

A mitologia grega também tem várias referências a tempestades e descargas atmosféricas em suas histórias e crenças religiosas.

Um dos deuses mais associados com as tempestades e raios na mitologia grega é Zeus, o deus

do trovão e do raio. Ele é frequentemente retratado segurando um raio e é considerado o governante do céu e do clima. As tempestades e descargas atmosféricas eram frequentemente vistas como uma expressão do poder e da ira de Zeus.

Acredita-se que o mito de Prometeu seja uma das histórias mais antigas na mitologia grega sobre como os humanos descobriram o fogo. Na história, Prometeu rouba o fogo dos deuses e o dá aos humanos, mas como punição, Zeus o acorrenta a uma rocha e ordena que uma águia coma seu fígado todos os dias. A imagem de um raio atingindo uma rocha e incendiando-a é frequentemente usada como símbolo desta história.

Os antigos gregos acreditavam que Zeus podia controlar as tempestades e descargas atmosféricas, mas também acreditavam que as tempestades eram um resultado da luta entre os deuses e os titãs, ou uma resposta a comportamentos humanos ofensivos. Além disso, muitas práticas religiosas gregas envolviam oferecer sacrifícios aos deuses para acalmar a ira de Zeus e evitar as tempestades.

6.6 Mitologia Maia

A mitologia maia, assim como outras mitologias mesoamericanas, tem uma forte ligação com fenômenos atmosféricos, incluindo as descargas atmosféricas. Os maias acreditavam que os deuses controlavam o clima e o tempo, e as tempestades e descargas atmosféricas eram consideradas uma forma de comunicação divina.

Um dos principais deuses maias associados às tempestades e aos raios era Chaac, o deus da chuva. Ele era frequentemente representado com uma faca de pedra e era responsável por trazer as chuvas necessárias para o cultivo das plantações. Os maias acreditavam que Chaac controlava os raios e as tempestades com sua faca, e que podia enviá-los como uma forma de punição ou bênção.

Outra figura importante na mitologia maia relacionada às descargas atmosféricas é o deus K'awiil, que era frequentemente representado como um homem com um raio na mão. K'awiil era associado ao comércio, à prosperidade e à guerra, e os maias acreditavam que ele podia usar o raio para proteger ou destruir os humanos, dependendo de suas ações.

Os maias também acreditavam que as tempestades e descargas atmosféricas eram uma forma de comunicação divina, e que os deuses podiam enviar mensagens ou avisos através desses eventos. Por exemplo, uma tempestade ou raio durante um ritual religioso era visto como um sinal de aprovação dos deuses.

6.7 Mitologia Asteca

Na mitologia asteca, os raios eram associados ao deus Tláloc, que era responsável pela chuva, relâmpagos e trovões. Tláloc era um dos principais deuses da mitologia asteca e era adorado como um deus da fertilidade e da agricultura.

De acordo com a lenda, Tláloc usava seus raios para fertilizar a terra e trazer a chuva necessária para as colheitas. No entanto, os astecas também acreditavam que Tláloc poderia lançar raios como uma forma de punição para aqueles que o desrespeitavam ou desobedeciam suas ordens.

Além disso, os astecas também acreditavam que as pessoas poderiam ser transformadas em raios depois de morrerem. Esses raios se juntavam ao poder de Tláloc e eram capazes de controlar a chuva e os trovões, ajudando a trazer a fertilidade para a terra e proteger as colheitas.

6.8 Mitologia Inca

Na mitologia inca, o deus dos raios era conhecido como Illapa, ou às vezes chamado de Catequil. Ele era um dos deuses mais importantes do panteão inca e era considerado responsável por trazer a chuva necessária para a agricultura. Illapa também era associado aos raios e trovões e considerado um deus temido e poderoso.

Os incas acreditavam que Illapa usava seus raios para castigar aqueles que desobedeciam suas ordens ou eram desrespeitosos. Diz-se que, quando os incas foram conquistados pelos espanhóis, Illapa se retirou para as montanhas e ainda é venerado por alguns povos andinos como um espírito protetor.

6.9 Mitologia Aborígine

As culturas aborígenes da Austrália têm uma forte conexão com a natureza e acredita-se que os fenômenos atmosféricos, incluindo as descargas atmosféricas, são influenciados por forças espirituais. Embora haja muitas culturas aborígenes na Austrália, cada uma com suas próprias crenças e histórias, há algumas crenças comuns sobre os raios e tempestades.

Para muitas culturas aborígenes, as descargas atmosféricas são consideradas uma manifestação da força espiritual conhecida como o "Caminho do Raio" ou o "Caminho do Trovão". Acredita-se que essa força espiritual seja capaz de se mover através da terra e do céu, e que possa ser convocada por aqueles que possuem um conhecimento especial.

Os aborígenes também acreditam que os raios são uma manifestação da força vital da Terra, e que sua energia pode ser canalizada para propósitos específicos, como cura ou proteção. Os raios são

frequentemente vistos como uma forma de comunicação entre os seres humanos e o mundo espiritual.

Além disso, muitas culturas aborígenes acreditam que os raios são uma manifestação da ira dos espíritos ou ancestrais descontentes. Eles acreditam que os raios podem ser evocados como uma forma de punição ou para alertar as pessoas sobre comportamentos inadequados.

Os aborígenes australianos também têm histórias e lendas sobre criaturas mitológicas que estão associadas aos raios e tempestades. Por exemplo, o povo Yolngu do norte da Austrália acredita na existência do Guirrimbirra, um espírito do raio que é conhecido por suas habilidades de cura e que é muitas vezes convocado durante cerimônias religiosas.

A lenda aborígene dos "irmãos raios" é uma história que fala sobre a origem dos raios. Segundo essa lenda, havia dois irmãos que eram muito próximos e sempre estavam juntos. Um dia, eles se apaixonaram pela mesma mulher e começaram a brigar por ela.

A luta entre os irmãos foi tão intensa que suas armas de pedra começaram a faiscar e a produzir sons estrondosos. Quando um dos irmãos atingiu o outro com sua arma, uma enorme descarga elétrica surgiu no céu, seguida de um trovão ensurdecedor.

Os aborígenes acreditavam que essa luta entre os irmãos gerou os primeiros raios e trovões. Desde então, os irmãos raios continuaram a lutar, gerando novas descargas elétricas a cada golpe de suas armas.

Para os aborígenes, os raios eram vistos como um sinal de poder e força, e a história dos irmãos raios simbolizava a luta pela vida e pelo amor. Essa lenda é um exemplo de como diferentes culturas e povos criaram mitos e histórias para explicar a origem dos fenômenos naturais que os rodeavam.

6.10 Mitologia Chinesa

Na mitologia chinesa, os raios são associados ao deus do trovão, Lei Gong. Ele é frequentemente retratado com um martelo ou um machado de batalha, que ele usa para criar trovões e raios.

Lei Gong é considerado um deus protetor que mantém o equilíbrio entre o céu e a terra, e acredita-se que ele é responsável por trazer chuvas para fertilizar as colheitas. Ele também é um deus guerreiro que é chamado em tempos de guerra para proteger os soldados chineses.

Na cultura chinesa, acredita-se que os raios têm poderes curativos e protetores. Os chineses costumam pendurar imagens do deus do trovão em suas casas e negócios para se protegerem de raios e trovões. Além disso, também é comum fazer ofertas e orações a Lei Gong em templos dedicados a ele.

6.11 Mitologia Eslava

Na mitologia eslava, o deus do trovão é Perun. Ele é retratado como um homem forte com cabelos longos e barba. Perun é considerado o deus mais poderoso do panteão eslavo e seu símbolo é um machado de batalha ou martelo.

Perun é frequentemente retratado lançando raios e trovões do céu com seu martelo, e é creditado por trazer chuva e fertilidade à terra. Ele é também considerado um deus guerreiro, e acredita-se que tenha ajudado os eslavos a vencerem várias batalhas contra seus inimigos.

Na mitologia eslava, acreditava-se que as tempestades com raios eram causadas por Perun lutando contra os espíritos malignos e demônios que habitavam o céu. As pessoas frequentemente faziam oferendas a Perun para apaziguar sua ira e garantir sua proteção contra os perigos das tempestades.

6.12 Mitologia Gaulesa

A mitologia dos gauleses, um povo celta que habitava a região que é hoje a França, é pouco conhecida devido à falta de registros escritos. No entanto, alguns historiadores acreditam que a deusa Taranis era a divindade associada aos raios e trovões pelos gauleses.

De acordo com a crença, Taranis era uma deusa guerreira com um martelo ou machado na mão, que controlava o tempo, a chuva e as tempestades. Ela era frequentemente retratada com um raio, simbolizando seu poder sobre as descargas atmosféricas. Taranis também era vista como uma deusa protetora dos guerreiros gauleses e era frequentemente invocado em batalhas.

Embora não haja muitas informações sobre a mitologia dos gauleses, acredita-se que sua crença em Taranis e sua associação com raios e trovões tenham sido significativas para a cultura e a religião do povo celta.

6.13 Mitologias Africanas

A África é um continente com grande diversidade cultural e, consequentemente, com uma rica variedade de mitologias a respeito dos trovões e raios. Em muitas culturas africanas, esses fenômenos naturais são considerados sagrados e associados a divindades ou espíritos.

Na mitologia iorubá, por exemplo, Shango é o deus do trovão e do fogo, e é frequentemente representado segurando um machado de duas lâminas e vestindo roupas vermelhas e brancas. Ele é considerado um dos orixás mais importantes e é associado a várias virtudes, como a justiça, a honestidade e a coragem.

Já na mitologia bantu, que engloba várias culturas de países como Angola, Moçambique e África

do Sul, o trovão é frequentemente associado ao espírito do ancestral. Diz-se que, quando um ancestral está irritado ou precisa enviar uma mensagem, ele faz isso através dos trovões e raios.

Outras culturas africanas também possuem suas próprias mitologias a respeito dos trovões e raios, como os ashanti de Gana, os himba da Namíbia e os zulu da África do Sul. Em geral, essas mitologias destacam a importância desses fenômenos naturais na vida das pessoas e como eles podem ser interpretados de diferentes maneiras, dependendo da cultura e da crença de cada um.

6.14 Mitologia Indígena do Brasil

Diferentes povos indígenas brasileiros possuem mitos e lendas que explicam a origem dos raios. Na mitologia Tupi-Guarani, por exemplo, o deus trovão Tupã é o responsável pelos raios e trovões, que são seus instrumentos de poder. Acredita-se que Tupã lançava raios para punir aqueles que quebravam suas leis ou desrespeitavam a natureza.

Já para os índios Xavante, os raios são resultado da disputa entre dois irmãos: Omo e Iri. Omo, que representa o raio, é o irmão mais novo e sempre tenta superar o irmão mais velho, Iri, que representa o trovão. Durante a luta entre os dois, Omo lança raios para atingir o irmão, que responde com trovões.

Os índios Karajá acreditam que os raios são causados por uma cobra gigante, chamada de Bojigi, que vive no fundo dos rios. Quando a cobra sai da água, ela cospe raios que atingem as pessoas e as árvores. Para se proteger, os Karajá costumam fazer oferendas à cobra e evitar entrar nos rios durante tempestades.

Essas são apenas algumas das muitas histórias e mitos indígenas que explicam a origem dos raios e trovões. Essas narrativas refletem a forte relação que os povos indígenas têm com a natureza e como eles buscam entender e respeitar os fenômenos naturais que os cercam.

6.15 Mitologia dos povos indígenas norte-americanos

Diferentes povos nativos da América do Norte têm mitologias que explicam a origem e o significado dos raios. Abaixo estão algumas dessas mitologias:

- Para os Navajos, os raios são os arcos das divindades do trovão, que disparam flechas para afastar os espíritos malignos e purificar o ar. O trovão é o som das flechas quebrando o ar, e a chuva que cai após a tempestade é a água que as flechas arrastam consigo.
- Para os índios da Tribo dos Pés Pretos, os raios são causados por uma serpente gigante que vive nas nuvens e protege as pessoas da fome e da doença. Quando a serpente se move, seus raios iluminam a terra e trazem a chuva.

- Na mitologia dos Índios Hopi, os raios são os braços do Deus da Chuva, que usa sua arma mágica para combater as forças do mal. A eletricidade dos raios é a manifestação do poder divino que protege a terra e seus habitantes.
- Para os índios da Tribo dos Sioux, os raios são causados por um pássaro gigante que vive no céu e bate suas asas para produzir trovões. O pássaro é visto como um mensageiro divino que traz bênçãos para o povo.

Essas são apenas algumas das muitas mitologias indígenas que existem sobre os raios na América do Norte. Cada tribo tem sua própria interpretação e suas próprias histórias para explicar esses fenômenos naturais.

6.16 Mitologia esquimó

Na mitologia da Groenlândia, os raios são associados a uma figura chamada Qasavaraq, uma entidade sobrenatural responsável pela criação de tempestades e pelo lançamento de raios. Acredita-se que ele habite as montanhas e os fiordes da Groenlândia e que seja capaz de lançar raios em pessoas e animais que o desrespeitem ou o irrite. Alguns contos populares descrevem Qasavaraq como um ser perigoso e vingativo que pode causar a morte de quem o enfrentar. Por essa razão, muitos groenlandeses acreditam que é preciso ter muito respeito e reverência por essa entidade e que é necessário realizar oferendas e rituais para acalmá-lo e evitar a sua ira.

6.17 Mitologia árabe

Na mitologia árabe, os raios eram considerados uma manifestação da vontade divina. Eles eram associados a várias divindades, como Shango, deus da tempestade e do trovão, que era adorado pelos iorubás da Nigéria e do Benin. Alguns árabes acreditavam que os raios eram disparados por um arco celestial, que era uma espécie de arco-íris feito de fogo e que se estendia do céu à terra. Outros acreditavam que os raios eram disparados por um pássaro mítico chamado Anqa, que era o símbolo da divindade suprema do Islã, Alá. Ainda há outras histórias e lendas sobre raios na mitologia árabe, variando de acordo com as regiões e as crenças locais.

6.18 Mitologia Indo-européia

A mitologia indo-europeia, que se originou em uma área que se estendia da Índia ao leste até a Europa Ocidental, tinha várias divindades relacionadas aos raios. Na religião hindu, por exemplo, o deus Indra era considerado o senhor dos raios e trovões, e era frequentemente retratado segurando um

raio em sua mão. Na mitologia grega, o deus do trovão era Zeus, que usava raios como arma. Na mitologia romana, o equivalente a Zeus era Júpiter, também relacionado aos raios e trovões.

A mitologia indo-europeia também tinha uma figura conhecida como Perkūnas, que era o deus do trovão nas religiões bálticas, incluindo a lituana e a letã. Ele era geralmente retratado como um guerreiro com um martelo, e era frequentemente associado à proteção contra doenças e desastres naturais.

Em outras culturas indo-europeias, como a celta, os raios eram frequentemente associados a divindades femininas, como a deusa irlandesa Brigid, que era a deusa da poesia, da cura e do fogo, entre outras coisas. O deus nórdico Thor também era relacionado com os raios, sendo frequentemente representado segurando um martelo e viajando em uma carruagem puxada por cabras.

6.19 Mitologia anglo-saxã

A mitologia saxã, também conhecida como mitologia anglo-saxã, é a coleção de crenças, lendas e tradições dos antigos povos germânicos que habitavam a Inglaterra na Idade Média. Embora não haja muitas referências específicas sobre raios na mitologia saxã, sabe-se que os povos germânicos em geral atribuíam grande importância a Thor, deus do trovão e dos raios.

Na mitologia saxã, Thor era conhecido como Thunor ou Thunraz, e era visto como um deus poderoso e protetor, capaz de controlar os elementos e combater inimigos com seu martelo mágico, o Mjólnir. De acordo com algumas lendas, Thor era capaz de invocar raios e trovões com seu martelo, e era frequentemente associado a tempestades violentas e poderosas.

Além de Thor, outros deuses e deusas da mitologia saxã também tinham poderes relacionados aos elementos e fenômenos naturais, incluindo a chuva, o vento e o mar. No entanto, não há muitas histórias ou lendas específicas sobre raios na mitologia saxã, e as referências a Thor e aos trovões e raios geralmente aparecem de forma mais genérica e simbólica.

6.20 Mitologia Ugarítica

A mitologia ugarítica é uma religião antiga que foi praticada no que é hoje a Síria e o Líbano durante o segundo milênio antes de Cristo. Embora a mitologia ugarítica não seja especificamente sobre raios, havia uma deusa chamada Shapash, que era a deusa do sol, justiça e verdade. Ela era frequentemente retratada com um raio em sua mão e era considerada uma deusa poderosa que podia proteger e iluminar a humanidade. Além disso, Baal, o deus da tempestade, também era frequentemente associado a raios e trovões, já que ele controlava o clima e era considerado responsável pelas tempestades.

6.21 Tradição Judaica

Na tradição judaica, há diversas referências a trovões e raios, que geralmente são vistos como manifestações da presença divina. Por exemplo, na Bíblia hebraica, no livro de Êxodo, há o relato da descida de Deus no Monte Sinai em meio a trovões, relâmpagos e uma espessa nuvem. Em outro trecho da Bíblia, no livro de Jó, o personagem central é descrito como ouvindo a voz de Deus nos trovões.

De maneira geral, os trovões e raios são vistos na tradição judaica como um sinal da força e poder de Deus, mas também podem ser vistos como um castigo divino ou como um alerta para a necessidade de se arrepender dos pecados. Além disso, a crença em amuletos protetores contra raios é comum em algumas comunidades judaicas tradicionais.

Na tradição judaica, raios são frequentemente associados à ira divina e ao poder de Deus. Em Êxodo 9:23-24, Deus envia um raio e granizo como um sinal de Sua ira contra o faraó do Egito, enquanto que em Jó 28:26, trovões e relâmpagos são descritos como parte da obra de Deus e um reflexo da Sua sabedoria. Na literatura rabínica, também há menção de raios como parte da punição divina para aqueles que desobedecem a Deus. Por exemplo, é dito que a cidade de Sodoma foi destruída por um raio como punição por sua maldade.

O Talmud é uma compilação de escritos judaicos que inclui ensinamentos rabínicos e comentários sobre a Torá e outras tradições judaicas. Embora o Talmud faça menção a raios e trovões em alguns trechos, ele não aborda especificamente mitologia ou crenças religiosas relacionadas a esses fenômenos naturais. Em geral, o Talmud enfatiza a importância de temer a Deus e seguir seus mandamentos, mas não fornece informações detalhadas sobre interpretações mitológicas ou simbólicas de fenômenos naturais.

6.22 Raios na Bíblia

A Bíblia menciona raios em várias passagens, principalmente como um sinal da ira divina. Um exemplo é o livro de Êxodo, capítulo 19, onde descreve a aproximação de Deus no Monte Sinai com trovões e raios. Outra passagem conhecida é a de Jó 28:26, que diz: "Quando deu à chuva um peso e estabeleceu um caminho para o relâmpago dos trovões, então viu a sabedoria e a declarou; firmou-a e a esquadrinhou". Também há menções a raios em outras passagens, como no livro de Ezequiel e no Salmo 77. Em geral, a Bíblia usa a imagem de raios para demonstrar o poder divino e a manifestação da sua presença de maneira majestosa e impressionante.

No Novo Testamento, o livro de Apocalipse descreve trovões e raios como parte do juízo final de Deus sobre o mundo (Apocalipse 8:5, 11:19, 16:18). O Evangelho de Mateus também menciona

trovões e raios em conexão com a segunda vinda de Cristo (Mateus 24:27). Em geral, trovões e raios são usados na Bíblia como símbolos da presença, poder e julgamento de Deus.

Os trovões são mencionados em vários salmos da Bíblia, geralmente como um sinal da presença poderosa e majestosa de Deus. Aqui estão algumas referências:

- Salmo 18:13: "O Senhor trovejou dos céus; o Altíssimo levantou a sua voz com granizo e carvões ardentes."
- Salmo 29:3: "A voz do Senhor ouve-se sobre as águas; o Deus da glória troveja; o Senhor está sobre as muitas águas."
- Salmo 77:18: "A voz do teu trovão estava no céu; os relâmpagos iluminaram o mundo; a terra tremeu e abalou-se."
- Salmo 81:7: "Na angústia me invocaste, e te livre; respondi-te no lugar oculto dos trovões; provei-te nas águas de Meribá."

Em todos esses casos, os trovões são usados para enfatizar a grandeza, a soberania e a autoridade de Deus.

No livro de Ezequiel, na Bíblia, há diversas menções a trovões, principalmente no capítulo 1, que descreve a visão da glória de Deus. No versículo 13, por exemplo, é dito que "no meio do fogo havia uma semelhança de quatro seres viventes, e esta era a sua aparência: tinham a semelhança de homem". No versículo 24, é descrito que "ouvindo eu o ruído das suas asas, como o ruído de muitas águas, como a voz do Onipotente, quando fala, como o ruído de um arraial; ouvi também o ruído das rodas junto a eles, como o ruído de grandes águas". Em outras partes do livro, como no capítulo 10, os trovões também são mencionados como sinais da presença divina e do julgamento divino sobre os pecados do povo.

No Evangelho de Mateus, há uma referência a trovões e raios no momento da crucificação de Jesus. Segundo o relato, no momento em que Jesus morreu, houve um grande terremoto e o véu do templo rasgou-se em dois, do alto até em baixo. Além disso, o texto afirma que "o centurião e os que com ele guardavam Jesus, vendo o terremoto e as coisas que haviam sucedido, tiveram grande temor e disseram: Verdadeiramente este era Filho de Deus"(Mateus 27:54). Embora o texto não mencione diretamente trovões e raios, a descrição do terremoto e da rasgação do véu do templo sugere um evento de grande magnitude e poder, que pode ser interpretado como um sinal divino. É possível que a imagem de trovões e raios esteja implícita nessa descrição, como uma metáfora para o impacto da morte de Jesus sobre seus seguidores e a sociedade em geral.

No Apocalipse, livro bíblico que relata a visão profética de João sobre o fim dos tempos, os trovões são mencionados como uma das sete pragas que caem sobre a Terra. No capítulo 16, versículo 18, é dito: "E houve vozes, e trovões, e relâmpagos, e um grande terremoto, como nunca houve desde que há homens sobre a Terra, um terremoto tão grande, tão forte". Nesse contexto, os trovões representam a ira divina e a destruição que acompanham o fim dos tempos.

Aula 2 - Atividade Remota (Video 01)

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

Atividade remota sobre o *Vídeo 1 - Mistérios da Ciência: O Poder dos Raios (Dublado) - Documentário*.

Sinopse: Os raios são mais rápidos que uma bala e seis vezes mais quentes que a superfície do sol. Eles duram menos de uma fração de segundo e podem transformar areia em vidro. Diariamente cerca de oito milhões de raios atingem a Terra. Embora este fenômeno natural seja um dos mais observados, ele ainda está envolto em mistérios. Neste episódio, os telespectadores irão acompanhar a incrível jornada de um raio desde o espaço até o interior do corpo humano. Para isso, iremos à Darwin, na Austrália, cidade onde acontecem algumas das tempestades com relâmpagos mais violentas da Terra. No centro de uma monstruosa nuvem de tempestade observaremos as forças misteriosas que provocam um raio. Novas descobertas dramáticas e experiências chocantes revelam que os raios são um dos fenômenos mais estranhos, destrutivos e importantes do planeta.

Sugestão do Professor: levar ao menos uma dúvida para discussão em sala de aula.

2 Dúvidas e Questionamentos

- Sabe-se que os relâmpagos e outros tipos de raios são fenômenos de origem elétrica. Sabe-se que o plasma é (a grosso modo) um gás ionizado superaquecido pela corrente elétrica. Questionamento: além da corrente elétrica convencional, quantos tipos de corrente elétrica existem? É pertinente pois *sprites*, *blue jets* e *elves*, segundo o vídeo, são formados por plasma que, por ser um gás ionizado, se caracteriza como uma corrente elétrica não convencional se posto em movimento.

- Segundo o vídeo, os raios bola ou esféricos são bolas de plasma, contudo estas bolas de plasma desaparecem em questão de meio segundo, Porém, os raios bola costumam durar minutos e ainda se movimentam de forma errática. No vídeo, há uma tentativa de explicar com a adição de esferas de poeira junto ao plasma, fazendo-o durar mais. Porém, esta teoria é incompleta. Questionamento: segundo o estado da arte, qual o real motivo dos raios bola durarem mais que o previsto pelo vídeo?
- Existe explicação para esta bola de plasma aparecer do nada?
- Existe algum mecanismo que permita que o raio bola atravesse superfícies rígidas, ou é meio fantasioso o relato do documentário?
- No início do vídeo, há a apresentação de um caso de vítima de descarga atmosférica. Também há uma referência estatística ao número de sobreviventes (cerca de 90%). Não seria um caso de uma releitura dos casos antes de fazer a estatística? Necessitaria de mais informação antes de dizer tal coisa, pois assim parece a um leigo que o raio nem é tão grave assim (e de fato, é mais grave do que imaginamos).
- Ao explicar como uma nuvem adquire carga elétrica, o script do documentário utiliza de forma simplificada o modelo de carregamento por fricção e, logo em seguida, diz que o ar não é um bom condutor de eletricidade. O que acontece com a rigidez dielétrica do ar em condições de tempestade? para E_{max} sair de $3MV/m$ e parar em $300kV/m$, algo tem de acontecer, certo? Ou será que existe algo na dinâmica do raio que permita ao mesmo driblar a rigidez dielétrica do ar e escoar corrente por um caminho mais fácil?

Aula 3 - Formação de Nuvens de Tempestade

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- **Formação de nuvens de tempestade** \Rightarrow As nuvens de tempestade se formam quando uma parcela de ar quente e úmido sobe na atmosfera e se resfria, causando a condensação do vapor de água presente no ar. Existem vários fatores que podem causar essa elevação do ar, como os efeitos orográficos (quando o ar úmido é forçado a subir ao encontrar uma montanha, por exemplo), as correntes de advecção (quando o ar quente é transportado horizontalmente e se encontra com uma massa de ar frio), a convergência de ventos e a convecção (quando o Sol aquece a superfície terrestre e gera correntes ascendentes de ar quente). Quando essas parcelas de ar quente e úmido se elevam, formam as nuvens de tempestade, que podem resultar em raios, trovões, chuvas fortes e outros fenômenos meteorológicos intensos.
- **Conceitos base \Rightarrow Processo de Formação das Nuvens**
 - **Processo:** Formação da Nuvem
 - **Combustível:** parcela de ar quente e umido
 - **Catalizador:** advecção, efeitos orográficos, convergência de ventos, convecção.
- **Tipos de Nuvem:**
 - **Cirrus:** são nuvens finas, brancas e com aparência fibrosa. Geralmente são encontradas em altitudes elevadas e indicam tempo bom, mas podem indicar mudanças no clima em algumas situações.
 - **Cumulus:** são nuvens brancas e fofas, com uma aparência de "algodão". Elas podem se formar em altitudes diferentes, mas geralmente indicam tempo bom.

- **Stratus:** são nuvens cinzentas e uniformes, com uma aparência plana e baixa. Elas geralmente se formam em altitudes baixas e indicam tempo nublado ou chuvoso.
 - **Nimbostratus:** são nuvens densas e escuras que geralmente se formam em altitudes baixas e médias. Elas indicam chuva ou neve.
 - **Cumulonimbus:** são nuvens grandes e volumosas, com uma aparência em forma de bigorna. Elas se formam em altitudes elevadas e são frequentemente associadas a tempestades, raios e ventos fortes.
 - **Stratocumulus:** são nuvens baixas e espessas, com uma aparência de "rolos" ou "bolas". Elas geralmente indicam tempo nublado, mas podem se dissipar rapidamente.
 - **Altostratus:** são nuvens brancas ou cinzentas que aparecem em camadas. Elas geralmente indicam tempo bom, mas também podem indicar mudanças no clima.
 - **Cirrostratus:** são nuvens finas e transparentes que parecem um véu branco. Elas geralmente indicam tempo bom, mas também podem indicar a chegada de uma frente fria.
 - **Cirrocumulus:** são nuvens pequenas e redondas que parecem bolinhas brancas. Elas geralmente indicam tempo bom, mas também podem indicar a chegada de uma frente fria.
- **Estágios de Evolução de uma Nuvem de Tempestade** ⇒ A nuvem Cumulonimbus (Cb) é uma nuvem de tempestade que pode se formar a partir de um Cumulus quando há calor e umidade suficientes na atmosfera para alimentar sua formação. A evolução de uma nuvem Cb pode ser dividida em quatro estágios principais:
 - **Estágio de Desenvolvimento:** Neste estágio, a nuvem Cb é caracterizada por um grande volume de ar ascendente, que pode ser visto como uma torre em forma de cogumelo. A base da nuvem está a uma altitude relativamente baixa, e o topo da nuvem pode se estender a grandes altitudes. Neste estágio, a nuvem está ganhando energia e crescendo rapidamente.
 - **Estágio de Maturidade:** Neste estágio, a nuvem Cb atinge seu tamanho máximo e é caracterizada por uma grande área de precipitação. O ar ascendente continua a alimentar a nuvem, mas a área de precipitação começa a se espalhar para fora da nuvem. Neste estágio, a nuvem pode produzir trovões, relâmpagos e ventos fortes.
 - **Estágio de Dissipação:** Neste estágio, a nuvem Cb começa a perder sua energia e a se dissipar. A precipitação se torna menos intensa e a base da nuvem começa a se elevar.

Neste estágio, ainda podem ocorrer trovões e ventos fortes, mas a intensidade geral da tempestade está diminuindo.

- ***Estágio de Dissipação Completa:*** Neste estágio, a nuvem Cb se dissipou completamente e não há mais energia disponível para sustentá-la. A tempestade está completamente acabada, e a área afetada começa a se recuperar.

2 Temas impactantes, dúvidas e questionamentos

Até aqui tudo bem, o processo de desenvolvimento de uma nuvem de tempestade está claro e compreensível, mas tenho uma dúvida cruel: em um programa antigo do *Discovery Channel*, chamado de *Mortes Estranhas*, há um episódio que narra a morte de um vendedor de bíblias que morreu tostado por um raio em um dia de sol, na porta de um provável cliente (Agradou a Deus, Ele levou pra casa). Além dos raios laterais (que saem de uma nuvem de tempestade e caem em qualquer lugar), existe a possibilidade de o raio ter se formado em condições de tempo bom? Se sim, gostaria de conhecer o mecanismo.

Aula 4 - Campo magnético terrestre na alta atmosfera, camadas ionosféricas

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***Como Se formam os Raios*** \Rightarrow Os raios são formados por cargas elétricas que se acumulam em nuvens de tempestade. Quando essas cargas atingem um nível crítico, a resistência do ar é rompida e ocorre uma descarga elétrica em direção ao solo ou entre nuvens. Essa descarga é vista como um flash brilhante de luz, e é acompanhada por um som alto conhecido como trovão. Nesta aula, estuda-se o que acontece nas camadas superiores da atmosfera.
- ***Magnetosfera*** \Rightarrow A magnetosfera é a camada mais externa da Terra, que se estende até a magnetopausa, situada a uma distância variável entre 10 e 15 vezes o raio da Terra. Ela é delimitada na parte inferior pela ionosfera, que se estende em torno de 1000 km acima da superfície terrestre. A magnetosfera é uma região dominada pelo campo magnético da Terra, que influencia a dinâmica do plasma presente na região, composto principalmente de prótons e elétrons. Na parte voltada para o Sol, as linhas de fluxo magnético são achatadas devido à ação do vento solar, enquanto na extremidade oposta, a magnetosfera se alonga.
- ***Plasmasfera*** \Rightarrow A Plasmasfera é a região da alta atmosfera terrestre onde ocorrem os primeiros fenômenos associados às tempestades na Terra e está acoplada à região F da ionosfera. Descargas atmosféricas podem causar a propagação de ondas eletromagnéticas naturais de baixa frequência que se dirigem para as camadas mais altas da atmosfera e entram na Plasmasfera, propagando-se em formato espiralado entre os polos Norte e Sul. Essas ondas, geralmente na ordem de 5-10 kHz no espectro de frequência, são detectadas como assobios atmosféricos

Whistlers. O estudo dos Whistlers está relacionado ao processo de compreensão da dinâmica da magnetosfera e das propriedades magnetoionicas dos elétrons e íons, que podem afetar a propagação de sinais eletromagnéticos neste meio.

- ***Ionosfera*** \Rightarrow A ionosfera é uma região da atmosfera terrestre que se estende entre cerca de 60 km e 1000 km de altitude, e é composta por íons e elétrons livres. É uma região altamente eletricamente condutiva e é influenciada pela radiação solar e pelas correntes elétricas que fluem na magnetosfera da Terra.

A ionização da atmosfera superior é produzida pela radiação ultravioleta e pelos raios cósmicos que bombardeiam a atmosfera terrestre, o que resulta na ionização dos átomos e moléculas presentes. Os íons e elétrons livres na ionosfera interagem com as ondas eletromagnéticas, permitindo a propagação de sinais de rádio e televisão por longas distâncias, além de influenciar a transmissão de dados de sistemas de navegação por satélite.

A ionosfera é dividida em várias camadas que são determinadas pela sua altura e densidade. As camadas da ionosfera são:

- ***Camada D:*** A camada D é a mais próxima da superfície da Terra e está localizada entre 60 e 90 km de altitude. Esta camada é a mais densa de todas as camadas da ionosfera e é composta principalmente por íons N^+ e O_2^+ . A camada D é responsável pela reflexão das ondas de rádio de alta frequência (HF) e é por isso que é usada para comunicações de longa distância.
- ***Camada E:*** A camada E está localizada acima da camada D, entre 90 e 120 km de altitude. Esta camada é menos densa do que a camada D e é composta principalmente de íons O^+ e NO^+ . A camada E é importante para comunicações de rádio devido à sua capacidade de refletir ondas de rádio de frequência muito alta (VHF).
- ***Camada F1:*** A camada F1 está localizada acima da camada E, entre 150 e 200 km de altitude. Esta camada é menos densa do que as camadas D e E e é composta principalmente por íons O^+ e H^+ . A camada F1 é importante para comunicações de rádio devido à sua capacidade de refletir ondas de rádio de frequência ultra-alta (UHF).
- ***Camada F2:*** A camada F2 é a camada mais alta da ionosfera e está localizada entre 200 e 500 km de altitude. Esta camada é composta principalmente de íons O^+ e H^+ e é menos densa do que as camadas D, E e F1. A camada F2 é importante para comunicações de rádio devido à sua capacidade de refletir ondas de rádio de frequência muito alta (VHF) e é a camada mais utilizada para comunicações de longa distância.

Distúrbios na ionosfera polar podem ocasionar interrupções na comunicação por ondas curtas, conhecidos como “apagões de rádio”. Além disso, correntes elétricas induzidas na ionosfera podem influenciar o fornecimento de energia e causar corrosão em oleodutos, entre outros problemas. Os raios cósmicos são divididos em partículas primárias, que permeiam o espaço interplanetário, e partículas secundárias, que surgem a partir de interações com outras partículas presentes na atmosfera. Quando hádrons incidem na alta atmosfera, geralmente sofrem interações de natureza forte ao colidir com núcleos atmosféricos como nitrogênio e oxigênio. Quando a energia das partículas de hádrons atinge cerca de 10^9 eV, ocorre uma cascata de partículas, conhecida como Chuveiro de Partículas ou Avalanche de Partículas Cósmicas. Essas interações sucessivas geram uma série de partículas secundárias, incluindo mésons.

A avalanche de partículas cósmicas, por sua vez, é utilizada como base para a teoria de eletrização da nuvem denominada ***Runaway Breakdown***.

Aula 5 - Eventos Luminosos Transientes

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***O que são Eventos Luminosos Transientes*** \Rightarrow Eventos Luminosos Transientes (ELTs) são fenômenos luminosos de curta duração que ocorrem na atmosfera superior da Terra, como flashes de raios, explosões solares, auroras, entre outros. Esses eventos geram perturbações na ionosfera e na magnetosfera, afetando a propagação de sinais de rádio e sistemas de navegação, além de poderem causar danos em satélites e redes elétricas. Os ELTs são estudados por cientistas para melhor compreender a dinâmica da atmosfera superior da Terra e seus efeitos no ambiente espacial e terrestre.

Tipos de ELTs \Rightarrow Existem vários tipos de Eventos Luminosos Transientes (ELTs), alguns dos quais incluem:

- ***Raios***: Descargas elétricas atmosféricas que ocorrem durante tempestades e produzem flashes de luz brilhantes.
- ***Explosões solares***: Liberação repentina de energia na atmosfera do Sol, que pode produzir flashes de luz visíveis na Terra.
- ***Meteoro***: Quando um objeto de tamanho variável entra na atmosfera da Terra e começa a queimar devido à fricção com a atmosfera, pode produzir um flash de luz conhecido como meteoro.
- ***Relâmpagos globulares***: Descargas elétricas que ocorrem na atmosfera superior e são mais difíceis de observar do que os raios, mas ainda assim produzem flashes de luz.

- **Outros fenômenos elétricos:** Há vários outros tipos de ELTs que ocorrem em diferentes partes da atmosfera e são causados por diferentes processos elétricos, como *sprites*, *elves* e *blue jets*.
- **ELTs exógenos** ⇒ Os ELTs que ocorrem na alta atmosfera são:
 - **Sprites:** *Sprites* são um tipo de Evento Luminoso Transiente (ELT) que ocorre acima de tempestades elétricas intensas. Eles são caracterizados por uma rápida e brilhante emissão de luz na atmosfera superior da Terra, a cerca de 50 a 90 km de altitude. Essa emissão de luz tem uma aparência semelhante a um raio em forma de cenoura e pode se estender por dezenas de quilômetros acima da tempestade. Os *sprites* geralmente são observados durante a noite, pois sua luz é ofuscada pela luz do sol durante o dia. Eles foram descobertos em 1989 e são uma das muitas descobertas recentes de fenômenos elétricos na atmosfera superior da Terra.
 - **Blue Jets:** *Blue jets* são outro tipo de evento luminoso transitório (ELT) que ocorrem na alta atmosfera. Eles são descargas elétricas que se propagam para cima a partir do topo das nuvens de tempestade, atingindo altitudes de até 50 km acima da superfície da Terra. Os *blue jets* geralmente apresentam uma cor azulada devido à emissão de linhas espectrais de nitrogênio ionizado e ocorrem em uma escala de tempo de algumas dezenas de milissegundos a alguns segundos. Eles foram descobertos em 1994, e desde então foram estudados em detalhes para entender melhor a física dos processos atmosféricos que ocorrem durante tempestades.

Blue Starters: *Blue starters* são um tipo de descarga elétrica atmosférica de alta altitude, semelhante aos *sprites* e *blue jets*. Eles são caracterizados por uma rápida descarga elétrica ascendente que ocorre acima das tempestades eletromagnéticas e se estende até a borda da ionosfera, cerca de 50 a 90 km acima da superfície da Terra. Eles geralmente aparecem como uma bola azul brilhante, com duração de alguns milissegundos a poucos segundos. Ainda há muitos mistérios sobre esses eventos luminosos transientes, e pesquisas em andamento buscam entender melhor suas características e mecanismos de formação.
 - **Gigantic Jets:** *Gigantic Jets*, também conhecidos como jatos gigantes em português, são eventos luminosos transientes que ocorrem na alta atmosfera da Terra, acima das tempestades elétricas. Eles são caracterizados por serem descargas elétricas em forma de jatos de plasma altamente energéticos que se propagam para cima a partir do topo das nuvens

de tempestade, atingindo altitudes de até 90 km acima da superfície da Terra. Os *Gigantic Jets* são muito mais raros do que outros tipos de ELTs, como os *sprites* e *blue jets*, e foram descobertos apenas na última década, com o avanço da tecnologia de monitoramento atmosférico.

- ***Elves***: “*Elves*” (Emissões de Luz e Vibrações Atmosféricas) são fenômenos ópticos de curta duração e altamente luminosos que ocorrem na alta atmosfera terrestre, a cerca de 90 km de altitude. São produzidos por descargas elétricas na atmosfera inferior, especialmente por raios que atingem as nuvens de tempestade. Os “*Elves*” têm uma forma circular ou elíptica e podem se expandir rapidamente, com uma duração que varia de alguns milissegundos a alguns segundos. O nome “*Elves*” é um acrônimo para “*Emissions of Light and Very low frequency perturbations due to Electromagnetic Pulse Sources*”
- ***Raios Globulares ou Raios Bola***: Os raios globulares, também conhecidos como bola de fogo, são fenômenos elétricos naturais que ocorrem na atmosfera durante as tempestades elétricas. Eles são caracterizados por uma esfera luminosa de plasma que se move rapidamente através do ar, com duração de apenas alguns segundos. Os raios globulares são muito raros e pouco compreendidos pela ciência, mas acredita-se que eles sejam uma forma de descarga elétrica que se forma dentro da nuvem de tempestade, em vez de se originar do solo como os raios convencionais. Alguns estudos sugerem que os raios globulares podem ser relacionados a outras formas de descargas atmosféricas, como *sprites* e *blue jets*.

2 Curiosidades Mitológicas

Na mitologia, raios globulares são frequentemente associados a eventos sobrenaturais ou divinos. Por exemplo, na cultura africana, os raios globulares eram considerados manifestações da ira dos deuses ou espíritos ancestrais. Em algumas lendas nórdicas, os raios globulares eram vistos como o trabalho de elfos ou espíritos malignos. Já na cultura hindu, os raios globulares eram interpretados como a presença do deus *Shiva*, e em algumas lendas, eles são descritos como um círculo de fogo que cerca a deidade.

Embora a ciência moderna tenha fornecido explicações para a natureza dos raios globulares, eles ainda são considerados misteriosos e incompreendidos em muitas culturas. Como resultado, eles ainda são associados a eventos sobrenaturais e divinos em algumas tradições.

No Brasil, os raios bola são conhecidos popularmente como “*fogo-fátuo*” ou “*fogo-corredor*”.

Na cultura popular brasileira, esses fenômenos estão associados a superstições e lendas regionais, geralmente relacionadas a assombrações e espíritos.

Por exemplo, em algumas regiões do interior do país, acredita-se que os fogo-fátuos são espíritos de pessoas que morreram de forma trágica e que ficaram presos na Terra. Já em outras regiões, esses fenômenos são considerados um mau presságio, indicando que uma tragédia está por acontecer.

Os fogo-fátuos também são frequentemente mencionados na literatura brasileira, em obras que retratam a cultura e a vida no interior do país. Alguns exemplos são os contos de Guimarães Rosa, como “*A Hora e a Vez de Augusto Matraga*” e “*A Terceira Margem do Rio*”, que exploram a relação entre a natureza e o sobrenatural na vida dos personagens.

O Boitatá é uma lenda do folclore brasileiro, presente em diversas regiões do país, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Ele é descrito como uma serpente de fogo que tem como principal característica a capacidade de cuspir fogo pelos olhos, semelhante a um raio bola.

De acordo com a lenda, o Boitatá é o guardião das matas e das florestas e protege os animais dos caçadores que ameaçam a natureza. Por isso, ele é muito respeitado pelos índios e pelos povos da região.

A figura do Boitatá também é usada para explicar fenômenos naturais, como a formação de raios bola, que muitas vezes são associados à presença do Boitatá na região. Essa crença é comum em comunidades rurais, onde os relatos de avistamentos de Boitatá e raios bola são mais frequentes.’

Aula 6 - Teoria do Carregamento de Tempestades

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- **Modelos de Carregamento de Uma Nuvem** \Rightarrow Recentes pesquisas sugerem que o modelo atual de tempestades consiste em uma configuração tripolo. Durante um flash nuvem-solo com grande momento de carga, os flashes negativos têm uma duração notavelmente mais curta em comparação aos flashes positivos, indicando que os *flashes* de polaridade negativa que se conectam com o solo são cerca de dez vezes mais comuns do que os flashes de polaridade positiva. Isso se deve à proximidade do solo com as cargas negativas localizadas na região inferior das tempestades.

O crescimento das gotas de chuva começa na parte inferior da nuvem, quando as gotas de diferentes tamanhos e velocidades de queda se fundem por coalescência. Enquanto a gotícula captura mais umidade, pedaços de granizo (*graupel*) são criados, geralmente em níveis mais elevados da nuvem. O desenvolvimento e crescimento do granizo continuam até que a gravidade vença a força de convecção, responsável pelo processo de crescimento do granizo. O crescimento das partículas de precipitação continua até que seu tamanho e concentração se tornem tão grandes que não possam mais ser suportados pelo arrasto ascendente e, portanto, começam a cair em direção à superfície. Quando a nuvem ultrapassa a isoterma de 0 °C, ela é definida como nuvem fria e os processos de formação de gelo tornam-se dominantes. O princípio da eletrização por atrito e contato é mais evidente e os processos de eletrização da nuvem são mais eficientes na presença de gelo (granizo).

Nuvens frias são formadas acima da isoterma, apresentam grande desenvolvimento vertical e condições favoráveis para precipitação, podendo ter ação da força cisalhante que forma uma

“Bigorna”. Nuvens quentes, por outro lado, são formadas abaixo da isoterma de 0 °C e apresentam pouca ou nenhuma condição de precipitação.

Hipótese de carregamento por convecção ⇒ A hipótese de carregamento por convecção é uma das formas de carregamento elétrico das nuvens. Esse processo ocorre devido à movimentação vertical do ar, que é causada pela diferença de temperatura entre a superfície terrestre e a atmosfera. Durante esse processo, o ar quente e úmido sobe, enquanto o ar frio e seco desce.

À medida que o ar quente sobe, ele encontra uma região mais fria e entra em processo de resfriamento. Com isso, o vapor de água presente no ar condensa, formando gotículas de água que se agrupam e formam as nuvens. Durante esse processo de condensação, a liberação de energia pode gerar uma diferença de potencial elétrico entre as diferentes regiões da nuvem.

Essa diferença de potencial elétrico pode gerar um campo elétrico intenso na atmosfera, que pode resultar em descargas elétricas, como raios. A hipótese de carregamento por convecção é uma das teorias que tentam explicar a origem dos raios nas nuvens.

Hipótese de Carregamento por Precipitação ⇒ A hipótese de carregamento por precipitação é uma das teorias que explicam a formação de cargas elétricas nas nuvens. Essa teoria sugere que a colisão e a fragmentação de gotículas de água e cristais de gelo dentro de nuvens de tempestade podem gerar cargas elétricas separadas.

Nas nuvens, existem regiões com grande concentração de gotículas de água e cristais de gelo em suspensão. Essas partículas são transportadas pelas correntes de ar dentro da nuvem e colidem entre si, gerando eletricidade estática. À medida que a nuvem cresce e se desenvolve, a força de convecção pode separar as cargas elétricas e gerar uma diferença de potencial elétrico entre as partes superior e inferior da nuvem.

A hipótese de carregamento por precipitação é uma das hipóteses que explicam a formação de cargas elétricas em nuvens de tempestade, juntamente com a hipótese de carregamento por convecção e a hipótese de carregamento por atrito. Acredita-se que esses três processos podem trabalhar em conjunto para produzir as cargas elétricas observadas nas nuvens de tempestade.

Hipótese de carregamento por runaway breakdown ⇒ *Runaway breakdown* é um fenômeno atmosférico que pode ocorrer em nuvens de tempestade e que pode contribuir para a geração de descargas elétricas, incluindo raios. Esse processo envolve a ionização do ar em altas altitudes, o que pode ocorrer devido à interação entre partículas carregadas, como elétrons, e moléculas de ar.

Quando uma nuvem de tempestade é carregada eletricamente, pode ocorrer a formação de um

campo elétrico muito forte no seu interior. Esse campo elétrico pode acelerar elétrons a altas velocidades, que colidem com moléculas de ar e ionizam o gás. Quando isso acontece, é possível que ocorra um processo de cascata, em que as partículas carregadas geradas pelas colisões aceleram ainda mais elétrons, gerando mais ionização e assim por diante. Esse processo de cascata é chamado de *runaway breakdown*.

O resultado do *runaway breakdown* é a formação de uma região altamente ionizada na nuvem de tempestade, que pode contribuir para a geração de descargas elétricas, incluindo raios. O processo de avalanche de elétrons gerado pelo *runaway breakdown* é capaz de produzir elétrons de alta energia, que podem colidir com moléculas de ar e gerar novas ionizações, aumentando ainda mais a corrente elétrica na nuvem e a probabilidade de descargas elétricas.

2 Temas impactantes, dúvidas e questionamentos

- Embora sejam hipóteses elaboradas e até sofisticadas, sempre há algum ponto onde a hipótese falha. Uma hipótese não explica um aspecto, porém a que explica o aspecto faltante gera lacunas a serem preenchidas. De fato, me parece ser uma coleção de processos ou hipóteses um modelo mais adequado para o problema do carregamento da nuvem de tempestade. Nota: seria complicado, se não impossível, fazer a comprovação ou prova de qualquer hipótese a respeito, mesmo porque só temos acesso a informações fragmentadas. Por exemplo: consigo gerar eletricidade estática friccionando meus pés no carpete, se utilizar meias - consigo demonstrar como funciona a eletrização por fricção. Porém, quando se trata de ampliar este conhecimento para que englobe o carregamento das nuvens, a história é outra. Surgem perguntas: como se define realmente a eletricidade em questão? é estática, convencional ou não convencional? São íons perambulando pela nuvem, partículas eletrizadas se movendo, ou existe uma nuvem eletrônica altamente energética em algum canto da nuvem que seja responsável pelo acúmulo de cargas na nuvem? Isoladamente, conseguimos medir e classificar tais fenômenos, porém, em conjunto em um ambiente como uma nuvem, não se consegue mais do que elaborar modelos que dê talvez um horizonte próximo de previsão. Neste ponto, entra em questão o paradoxo do pato: se meu modelo é de uma ordem a mais ou a menos que o de outra pessoa, qual o problema? A princípio nenhum!!!

Aula 7 - Campos Elétricos em Tempestades

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***Campos Elétricos em Tempestades*** \Rightarrow Para medir o campo elétrico atmosférico, é comum utilizar técnicas que consideram a diferença de potencial em uma coluna vertical de ar, com altura Δz em relação ao solo. A partir dessa relação, é possível determinar o campo elétrico através da fórmula $E = \frac{\Delta V}{\Delta z}$, em que o sinal do campo elétrico é o mesmo da diferença de potencial. Em condições de tempo bom, o campo eletrostático atmosférico é verticalmente orientado para baixo, ou seja, é negativo, pois a atmosfera é carregada positivamente, enquanto o solo possui uma polaridade oposta, com cargas negativas.

Durante as tempestades, os flashes negativos de descargas CG e IC são predominantes próximos e abaixo delas. Estudos recentes mostram que os fortes campos elétricos dentro das tempestades geram fluxos de elétrons de alta energia, cujas variações são estudadas por meio do Thunderstorm Ground Enhancement (TGE), um novo campo de estudo. O processo de avalanche de elétrons na atmosfera, também chamado de Relativistic Runaway Electron Avalanche ou Runaway Breakdown, é utilizado para correlacionar matematicamente o fluxo de partículas mensuradas com as perturbações do campo elétrico atmosférico local (entre -10 e -30 kV/m) por meio de sensores de campo elétrico.

- ***Desenvolvimento de Campo Elétrico Na Nuvem de Tempestade*** \Rightarrow Os fenômenos atmosféricos conhecidos como descargas elétricas são gerados a partir de campos elétricos que podem atingir valores entre 100 e 300 kV/m. Entretanto, para que esses campos elétricos surjam na atmosfera, são necessários outros processos. Atualmente, existem dois tipos de mecanismos

aceitos para o carregamento dos hidrometeoros e a separação de cargas elétricas: os mecanismos indutivos e os mecanismos não-indutivos. Esses processos são responsáveis por gerar a eletricidade necessária para as descargas elétricas na atmosfera.

Mecanismos não indutivos \Rightarrow Os mecanismos não indutivos de carregamento de hidrometeoros são aqueles que não envolvem diretamente a indução eletromagnética, mas sim a transferência de elétrons por colisões entre partículas. Dentre os principais mecanismos não indutivos, destacam-se:

- **Camada elétrica dupla:** De acordo com essa hipótese, é assumido que ocorre a formação de uma camada elétrica dupla nas interfaces entre a água e o ar, o gelo e o ar ou o gelo e a água, devido à orientação das moléculas de água. Em relação à separação de cargas, geralmente há mais cargas removidas da região externa da camada dupla do que das internas, resultando em um excesso de cargas internas deixadas para trás após a colisão das partículas.
- **Efeito triboelétrico:** É o processo de geração de eletricidade estática por atrito entre dois materiais diferentes. Quando as gotas de água ou cristais de gelo colidem uns com os outros, ou com outros objetos na nuvem, pode ocorrer a transferência de elétrons, gerando a separação de cargas.
- **Efeito termoelétrico:** É o processo de geração de eletricidade estática por variações de temperatura. Quando há variações de temperatura dentro da nuvem, como na região de crescimento do granizo, podem ocorrer gradientes de potencial elétrico, gerando a separação de cargas.
- **Efeito fotoelétrico:** É o processo de geração de eletricidade estática por radiação eletromagnética. Quando a luz solar ou outras formas de radiação atingem a nuvem, pode ocorrer a ionização de átomos e moléculas, gerando elétrons livres que podem se depositar na superfície dos hidrometeoros e gerar a separação de cargas.

Esses mecanismos podem atuar em conjunto com os mecanismos indutivos na geração de campos elétricos na atmosfera e na formação de descargas atmosféricas.

Mecanismos Indutivos \Rightarrow O mecanismo indutivo de transporte de carga em nuvens é baseado na separação de cargas elétricas por meio do movimento relativo entre as partículas eletricamente carregadas. Esse movimento relativo pode ser causado pelo processo de colisão entre as partículas, pela sedimentação de partículas com diferentes tamanhos ou pela interação de partículas com o campo elétrico da nuvem.

Uma vez que as partículas estão eletricamente carregadas, elas são sujeitas à força elétrica que age sobre elas no campo elétrico da nuvem. As partículas menores são geralmente carregadas positivamente, enquanto as maiores são carregadas negativamente. Isso ocorre porque as partículas menores têm uma maior relação superfície-volume do que as maiores, o que as torna mais propensas a perder elétrons durante a colisão ou interação com o campo elétrico.

Conforme as partículas carregadas se movem na nuvem, elas criam um campo elétrico local que pode induzir a carga em outras partículas próximas. Esse processo de indução e transporte de carga pode continuar até que as partículas atinjam uma camada onde o arrasto ascendente não é mais capaz de mantê-las suspensas, e então começam a cair em direção à superfície como precipitação.

Esse mecanismo de transporte de carga pode ocorrer em todas as camadas da nuvem, desde a região inferior onde a coalescência das gotas é predominante até a região superior onde a formação de gelo e granizo ocorre. O resultado final desse processo é uma separação de cargas elétricas, com a região superior da nuvem carregada negativamente e a região inferior carregada positivamente, o que pode levar ao surgimento de uma descarga elétrica.

Mecanismo de Captura de Íons \Rightarrow O mecanismo de captura de íons é um dos mecanismos indutivos de transporte de carga que ocorre na nuvem durante a formação de descargas elétricas. Esse mecanismo envolve a captura de íons presentes na atmosfera pela superfície das gotas de água e cristais de gelo na nuvem.

Os íons presentes na atmosfera são formados por processos como a radiação cósmica, raios-X solares e raios cósmicos. Quando esses íons são capturados pela superfície das gotas de água e cristais de gelo, eles transferem sua carga elétrica para essas partículas. Como resultado, as partículas ficam eletricamente carregadas.

Esse processo é importante para o carregamento da nuvem, pois as partículas carregadas eletricamente podem interagir com outras partículas na nuvem e transferir sua carga elétrica. Isso pode levar à formação de regiões carregadas positiva e negativamente na nuvem, o que é um pré-requisito para a ocorrência de descargas elétricas.

2 Temas Impactantes, dúvidas e questionamentos

Comprovação de teoria: O carregamento de uma nuvem de tempestade e consequente formação de campo elétrico são resultados de vários processos que ocorrem simultaneamente. Problema complexo de se resolver. Existe teoria do tudo para os raios?

Aula 8 - Revisão do Conteúdo

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Roadmap

1.1 Aula 1 - Engenharia das Descargas Atmosféricas

Aula expositiva sobre o tema engenharia dos raios. O objetivo da disciplina é versar sobre raios de A a Z, capacitando o aluno a compreender, modelar e explicar os diversos fenômenos da Eletricidade atmosférica. Descargas atmosféricas são fenômenos comuns, já observados desde a antiguidade. Porém, pouco ou nada se sabe sobre sua origem. As descargas atmosféricas são fenômenos com grande impacto em nossa rotina, tanto econômicos, ambientais quanto sociais. As mortes por raios, embora sejam numericamente pouco significativas, são um tema sério e relevante, embora os impactos ambientais e econômicos sejam de maior monta e também importantes. Há muitos mitos e verdades acerca dos raios, entre os quais vale citar que pequenos objetos de metal que comumente temos junto ou no corpo não são suficientes para que o raio entenda que há um caminho de menor resistência para o solo e que para-raios não são certeza de que a estrutura ou pessoa não sejam atingidas por raios. Do ponto de vista normativo, já existem no Brasil normas ABNT e NRs, inclusive leis municipais regulamentando projetos e instalações de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e segurança de instalações elétricas, de modo a mitigar os efeitos dos raios. A mitologia mundial é repleta de contos e histórias sobre os raios, se referindo a um deus/deusa particular, ou à comunicação divina, ou mesmo seres folclóricos que dão origem a raios.

1.2 Aula 2 - Atividade Remota

Atividade remota sobre o *Vídeo 1 - Mistérios da Ciência: O Poder dos Raios (Dublado) - Documentário*.

Sinopse: Os raios são mais rápidos que uma bala e seis vezes mais quentes que a superfície do sol. Eles duram menos de uma fração de segundo e podem transformar areia em vidro. Diariamente cerca de oito milhões de raios atingem a Terra. Embora este fenômeno natural seja um dos mais observados, ele ainda está envolto em mistérios. Neste episódio, os telespectadores irão acompanhar a incrível jornada de um raio desde o espaço até o interior do corpo humano. Para isso, iremos à Darwin, na Austrália, cidade onde acontecem algumas das tempestades com relâmpagos mais violentas da Terra. No centro de uma monstruosa nuvem de tempestade observaremos as forças misteriosas que provocam um raio. Novas descobertas dramáticas e experiências chocantes revelam que os raios são um dos fenômenos mais estranhos, destrutivos e importantes do planeta.

Sugestão do Professor: levar ao menos uma dúvida para discussão em sala de aula.

1.3 Aula 3 - Formação de Nuvens de Tempestade

As nuvens de tempestade se formam quando uma parcela de ar quente e úmido sobe na atmosfera e se resfria, causando a condensação do vapor de água presente no ar. Existem vários fatores que podem causar essa elevação do ar, como os efeitos orográficos (quando o ar úmido é forçado a subir ao encontrar uma montanha, por exemplo), as correntes de advecção (quando o ar quente é transportado horizontalmente e se encontra com uma massa de ar frio), a convergência de ventos e a convecção (quando o Sol aquece a superfície terrestre e gera correntes ascendentes de ar quente). Quando essas parcelas de ar quente e úmido se elevam, formam as nuvens de tempestade, que podem resultar em raios, trovões, chuvas fortes e outros fenômenos meteorológicos intensos. A receita de produção de nuvens envolve 2 elementos: parcela de ar úmido (Combustível) e um processo de resfriamento e condensação (Catalisador). Dentre os diversos tipos de nuvem, a que é comumente associada às tempestades e tempo ruim é a *Cumulonimbus*, cujo desenvolvimento envolve 3 fases (Para algumas bibliografias, 4): Estágio de Desenvolvimento, Estágio de Maturidade, Estágio de Dissipação e (para algumas bibliografias) Estágio de Dissipação Completa.

1.4 Aula 4 - Campo magnético terrestre na alta atmosfera, camadas ionosféricas

A magnetosfera é a região do espaço em torno da Terra que é influenciada pelo campo magnético terrestre, formando uma espécie de escudo protetor contra as partículas carregadas que vêm do Sol. A plasmasfera é uma parte da magnetosfera que contém plasma denso, com densidade de elétrons mais elevada que a média. Já a ionosfera é uma camada da atmosfera terrestre que contém íons e elétrons, e que se estende desde cerca de 50 km a mais de 1.000 km de altitude. A ionosfera é importante para as

comunicações de rádio de longa distância, refletindo as ondas de rádio de volta à Terra. Todas essas regiões têm importância significativa para as comunicações e para a proteção contra as partículas carregadas do Sol.

1.5 Aula 5 - Eventos Luminosos Transientes

Eventos Luminosos Transientes (ELTs) são fenômenos luminosos de curta duração que ocorrem na atmosfera superior da Terra, como flashes de raios, explosões solares, auroras, entre outros. Esses eventos geram perturbações na ionosfera e na magnetosfera, afetando a propagação de sinais de rádio e sistemas de navegação, além de poderem causar danos em satélites e redes elétricas. Os ELTs são estudados por cientistas para melhor compreender a dinâmica da atmosfera superior da Terra e seus efeitos no ambiente espacial e terrestre.

1.6 Aula 6 - Teoria do Carregamento de Tempestades

Recentes pesquisas sugerem que o modelo atual de tempestades consiste em uma configuração tripolo. Durante um flash nuvem-solo com grande momento de carga, os flashes negativos têm uma duração notavelmente mais curta em comparação aos flashes positivos, indicando que os *flashes* de polaridade negativa que se conectam com o solo são cerca de dez vezes mais comuns do que os flashes de polaridade positiva. Isso se deve à proximidade do solo com as cargas negativas localizadas na região inferior das tempestades.

Existem várias hipóteses para explicar como as nuvens se carregam eletricamente, sendo as principais:

- **Carregamento por convecção:** Nessa hipótese, as correntes de convecção dentro da nuvem separariam as cargas, produzindo um excesso de cargas na parte superior e uma deficiência de cargas na parte inferior da nuvem.
- **Carregamento por precipitação:** Nessa hipótese, as gotículas de água ou cristais de gelo que se formam dentro da nuvem colidem e se separam eletricamente, gerando uma separação de cargas.
- **Runaway breakdown:** Nessa hipótese, elétrons livres na atmosfera colidem com átomos e moléculas da nuvem, ionizando-os e criando um processo em cadeia que resulta em uma separação de cargas dentro da nuvem.

Essas hipóteses podem ocorrer simultaneamente ou isoladamente, pois nenhuma explica totalmente o efeito do carregamento das diversas camadas da nuvem de tempestades.

1.7 Aula 7 - Campos Elétricos em Tempestades

Para medir o campo elétrico atmosférico, é utilizada a diferença de potencial em uma coluna vertical de ar com altura Δz em relação ao solo. O campo eletrostático é verticalmente orientado para baixo em condições de tempo bom, pois a atmosfera é carregada positivamente, enquanto o solo é negativo. Durante tempestades, flashes negativos de descargas CG e IC são predominantes. Os fortes campos elétricos dentro das tempestades geram fluxos de elétrons de alta energia, estudados por meio de Thunderstorm Ground Enhancement (TGE), e o processo de avalanche de elétrons na atmosfera, também chamado de Runaway Breakdown, é utilizado para correlacionar o fluxo de partículas com as perturbações do campo elétrico atmosférico local.

Aula 9 - Iniciação de um raio e tipos de raios

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- **Processo de um Relâmpago** \Rightarrow O processo de um relâmpago é dividido em várias fases. Primeiramente, o raio começa em regiões da nuvem com um forte campo elétrico. Uma descarga pouco visível, conhecida como líder escalonado (stepped leader), move-se em saltos em direção ao solo. Quando o líder se aproxima do solo, um líder ascendente (upward leader) é liberado a partir de objetos elevados próximos ao solo, completando assim o canal do relâmpago. Com o canal completo, a descarga de retorno (return stroke) é iniciada, transportando cargas entre o solo e a nuvem com correntes de 10 kA até 150 kA. Devido ao aquecimento ôhmico, a temperatura no núcleo do canal do relâmpago pode atingir 30.000 K. A primeira descarga de retorno pode ser seguida por descargas de retorno subsequentes, cada uma delas precedida por um Dart Leader que se propagará pelo mesmo canal já ionizado. Essa série de descargas de retorno é composta por flashes de relâmpago, e o número de descargas de retorno subsequentes corresponde à multiplicidade dos flashes. Em geral, a duração total do flash é menor que 1 segundo, enquanto os intervalos de tempo entre as descargas de retorno são da ordem de 100 milissegundos.
- **Trovões** \Rightarrow Existem dois processos distintos que produzem trovões, cada um em frequências diferentes. O trovão é gerado principalmente pelo aquecimento rápido do canal condutivo do raio em resposta ao intenso fluxo de corrente [Few, 1969]. Durante um golpe típico, o pulso de corrente no canal condutor é da ordem de $3 \times 10^4 A$. Essa corrente aquece rapidamente o ar ($3 \times 10^4 K$ em $5 \times 10^{-6} s$), gerando uma pressão de $10^6 Pa$. A intensidade das pressões que se sobrepõem cria uma onda de choque que se propaga supersonicamente (acima de $3300 \frac{m}{s}$)

[Rakov and Uman, 2003]. Essas ondas de choque rapidamente decaem para ondas acústicas, e como resultado, cada golpe irradia ondas acústicas ao longo do comprimento do canal.

Os trovões produzidos por raios intra-nuvem apresentam baixas amplitudes e baixo pico de frequências se comparados com os trovões dos raios que atingem o solo (CG) [Holmes et al., 1971; Johnson, 2012]. O modelamento acústico requer um conhecimento da estrutura de propagação, ou seja, do ambiente. Infelizmente, as tempestades possuem estruturas atmosféricas complicadas e difíceis de medir. Devido a velocidade do som no ar ser proporcional ao quadrado da temperatura, a velocidade do som precisa também decrescer com a altitude, o que resulta em ondas acústicas refratadas para cima. Consequentemente, o trovão raramente é ouvido a mais de 25 km de distância de um raio, devido à refração [Fleagle, 1949].

Devido à variação de temperatura durante uma tempestade, da falta de precisão na avaliação das informações do vento acima da superfície e das diferentes topografias, geralmente não é possível avaliar com precisão os efeitos da refração sobre o sinal dos trovões. Os trovões viajam a partir do relâmpago na forma de ondas, devido à compressão súbita do ar em volta do canal do raio. Se o som da parte inferior do raio chegar a um observador antes das ondas sonoras da parte superior do raio, o trovão é ouvido pelo observador. Se as ondas sonoras fizerem uma curva para cima, para longe do observador, o relâmpago pode ser visto, mas os trovões não serão ouvidos.

- ***Tipos de Raios*** \Rightarrow 4 tipos básicos:

- ***Raio Nuvem-Solo (CG)***: Um raio nuvem-solo é uma descarga elétrica que ocorre entre uma nuvem e o solo. Esse tipo de raio pode ocorrer de duas maneiras: o raio pode sair da base da nuvem e atingir o solo, ou pode ser iniciado por uma descarga ascendente que parte do solo em direção à nuvem.

A descarga ascendente pode ser iniciada por objetos elevados no solo, como edifícios ou árvores, que criam um campo elétrico intenso o suficiente para ionizar o ar ao redor. Isso forma um canal de descarga que se estende em direção à nuvem, permitindo que a descarga elétrica viaje para cima do solo.

O raio nuvem-solo é geralmente mais intenso do que um raio intra-nuvem, pois a descarga elétrica deve viajar por uma distância maior e superar a resistência do ar para atingir o solo. A corrente elétrica em um raio nuvem-solo pode variar de algumas dezenas de milhares a centenas de milhares de amperes e pode produzir temperaturas no canal de descarga de até 30.000 Kelvin. Além disso, a rápida expansão do ar aquecido pode gerar uma onda de

choque que produz o trovão que ouvimos após a descarga elétrica.

- ***Raio Intra-Nuvem (IC)***: Um raio intra-nuvem é um tipo de descarga elétrica que ocorre completamente dentro de uma única nuvem de tempestade. É o tipo mais comum de raio, representando cerca de 80% de todos os raios que ocorrem na Terra.

Durante uma tempestade, as nuvens ficam eletricamente carregadas, com cargas positivas acumulando-se nas partes superiores e negativas nas partes inferiores. À medida que o campo elétrico dentro da nuvem aumenta, ocorre uma descarga elétrica entre as regiões carregadas. Este tipo de raio é chamado de intra-nuvem, pois não se conecta diretamente com o solo.

Os raios intra-nuvem podem se apresentar de várias formas, como ramificações ou descargas mais lineares, e podem durar vários segundos. Eles também podem ser responsáveis por fenômenos como trovões e relâmpagos que parecem piscar dentro da nuvem.

- ***Raio Nuvem-Nuvem (CC)***: O raio nuvem-nuvem é um tipo de descarga elétrica que ocorre entre duas nuvens eletricamente carregadas de polaridade oposta. Geralmente, as nuvens com carga elétrica oposta se aproximam e descarregam a energia acumulada na forma de um raio que pode ser visível ou não. Esse tipo de raio é menos comum do que o raio nuvem-solo ou o raio intra-nuvem, mas ainda assim é uma forma importante de transferência de energia elétrica na atmosfera. Os raios nuvem-nuvem podem ocorrer entre nuvens dentro de uma mesma tempestade ou entre nuvens de tempestades diferentes.

- ***Raio Nuvem-Céu(CS)***: O termo "raio nuvem-céu" é comumente usado para se referir a raios que se propagam da nuvem para a atmosfera superior, em vez de atingir o solo. Esse tipo de raio é menos comum do que raios nuvem-solo, mas ainda pode ser perigoso, especialmente para aviões e outras aeronaves que voam na região afetada.

Os raios nuvem-céu geralmente ocorrem em tempestades elétricas muito intensas, onde a carga elétrica acumulada na nuvem é tão grande que a descarga elétrica pode se propagar para a atmosfera superior, atingindo altitudes de até 80 km acima do solo. Esse tipo de raio é conhecido como "sprite" e é um fenômeno atmosférico fascinante.

Ao contrário dos raios nuvem-solo, os raios nuvem-céu não produzem trovões audíveis, pois o som produzido pela descarga elétrica se propaga para o espaço aberto, sem atingir a superfície terrestre. No entanto, as ondas de rádio geradas pela descarga elétrica podem ser detectadas por equipamentos de rádio amador e científicos, permitindo que os pesquisadores estudem esses fenômenos com mais detalhes.

• ***Outros Tipos de Raios*** ⇒

- ***Raio Quase-Horizontal ou Aranha:*** O raio quase-horizontal, também conhecido como raio aranha, é um tipo de raio que se desenvolve horizontalmente a partir de uma nuvem tempestuosa. Esse tipo de raio é mais comumente observado em tempestades de vento ou tempestades de granizo. O raio quase-horizontal se parece com uma teia de aranha, com raios secundários se estendendo a partir do raio principal.

Esse tipo de raio é diferente dos raios nuvem-solo, nuvem-nuvem e intra-nuvem, que se desenvolvem verticalmente. O raio quase-horizontal ocorre quando o campo elétrico horizontal na base da nuvem é suficientemente forte para ionizar o ar e produzir um raio que se propaga horizontalmente. À medida que o raio se expande, ele pode criar ramos secundários que se estendem horizontalmente, dando a aparência de uma teia de aranha.

O raio quase-horizontal é uma forma menos comum de raio e pode ser mais difícil de observar do que outros tipos de raios, já que geralmente ocorre em altitudes mais elevadas e pode ser obscurecido por outras nuvens. No entanto, é um fenômeno fascinante e único que continua a intrigar cientistas e entusiastas do clima.

- ***Descargas Tornádicas:*** As descargas tornádicas, também conhecidas como raios de tornado, são um tipo de descarga elétrica que ocorre durante tornados e tempestades severas. Essas descargas são diferentes dos raios normais, pois ocorrem em um ambiente altamente dinâmico e em um padrão circular em torno do tornado.

As descargas tornádicas podem assumir várias formas, incluindo filamentos finos, bolas de fogo, esferas luminosas, entre outras. Elas são mais comuns em tornados intensos e podem ser extremamente perigosas para pessoas que estejam perto do tornado.

As descargas tornádicas ocorrem porque os tornados criam um forte campo elétrico, que pode ionizar o ar e criar um caminho para a corrente elétrica. A intensidade da descarga pode variar de alguns ampères a centenas de milhares de ampères.

- ***Raios Estratosféricos:*** Os Raios Estratosféricos são eventos elétricos transientes que ocorrem na estratosfera, entre cerca de 20 e 50 km de altitude. Eles foram descobertos na década de 1980, quando os astronautas da nave espacial Columbia observaram uma série de flashes de luz azul e vermelha acima de tempestades em desenvolvimento.

Esses raios são muito diferentes dos raios convencionais que ocorrem na troposfera, tanto em termos de sua localização quanto de sua aparência. Eles se propagam horizontalmente ao invés de verticalmente, e são muito mais extensos do que os raios normais, podendo se estender por centenas de quilômetros. Além disso, eles geralmente ocorrem em conjunto com as tempestades, mas não são diretamente associados aos raios intra-nuvem ou nuvem-

solo que produzem trovões.

Os raios estratosféricos são produzidos por descargas elétricas muito poderosas que ocorrem no interior das tempestades, e que produzem pulsos de radiação eletromagnética de baixa frequência. Esses pulsos, por sua vez, interagem com a atmosfera superior, produzindo as características luzes azuis e vermelhas.

Os raios estratosféricos são extremamente raros e difíceis de detectar. A maioria das pessoas nunca viu um, e eles só foram observados a partir do solo em algumas ocasiões. No entanto, eles são um tópico de grande interesse para os cientistas, porque sua compreensão pode ajudar a melhorar nosso conhecimento sobre os processos elétricos nas tempestades, bem como sobre as interações entre a atmosfera superior e a radiação cósmica.

- **Raios Piroclásticos:** Os raios piroclásticos são uma forma de descarga elétrica atmosférica que ocorre durante erupções vulcânicas explosivas. Durante uma erupção, cinzas, gases e outros materiais são ejetados para a atmosfera, criando nuvens de cinzas carregadas eletricamente. Essas nuvens podem gerar raios piroclásticos, que se assemelham aos raios comuns, mas são muito mais poderosos e perigosos.

Os raios piroclásticos são criados quando as partículas carregadas eletricamente na nuvem de cinzas colidem e se separam, criando uma diferença de potencial elétrico. Quando essa diferença de potencial se torna grande o suficiente, uma descarga elétrica pode ocorrer, criando um raio piroclástico.

Esses raios são extremamente perigosos, pois podem percorrer grandes distâncias e causar incêndios, explosões e danos estruturais. Eles também podem ser acompanhados por trovões e fortes rajadas de vento, tornando as condições ainda mais perigosas para aqueles que estão próximos à erupção vulcânica.

- **Raios Nuvem-Ar:** Raios Nuvem-Ar, também conhecidos como Descargas Elétricas de Nuvem para Ar (DENA), são um tipo de raio que ocorre dentro de uma nuvem de tempestade e descarrega para o ar, em vez de atingir o solo. Essas descargas elétricas são semelhantes aos raios intra-nuvem, mas em vez de permanecer dentro da nuvem, eles se estendem para fora dela.

Os raios nuvem-ar são geralmente menos intensos e menos comuns do que os raios nuvem-solo, mas ainda podem ser perigosos para aeronaves que voam através de uma tempestade com raios, uma vez que os raios nuvem-ar podem se estender por vários quilômetros além da nuvem. Além disso, esses raios podem ser um indicador de outras condições meteorológicas perigosas, como granizo e ventos fortes, que podem afetar a aviação e a

2 Temas Impactantes, dúvidas e questionamentos

Poderia dizer que estou impressionado com a complexidade do assunto, inclusive dizer que estou impressionado com o fenômeno dos raios, mas seria mentir para mim mesmo. O que mais me impressiona é, ao ver uma simulação de descarga atmosférica como a vista em sala de aula, imaginar minúsculos centros de carga por onde o raio dá saltos. No artigo do Rakov que utilizamos para fazer as simulações de descargas, não me lembro quando, a descrição do artigo dava a entender que as distribuições de carga no centro da nuvem são praticamente iguais, ou seja, no centro de carga não há diferenciação de concentração de carga que seja significativa. Imagine que este centro de carga está em movimento, é um corolário que estas cargas também estarão. É razoável que, dentro do centro de carga, haja uma diferenciação maior que permita um campo elétrico de ruptura, e que o raio comece a partir deste ponto. De resto, é razoável supor que estes minúsculos centros de carga se distribuam aleatoriamente ao longo do assim suposto centro de carga e conseqüentemente, na nuvem. O resto, é seleção de Bernoulli.....

Aquele vídeo do algoritmo *Depth First* mostrando uma simulação simples de raio, utilizando para isto a construção de um labirinto aleatório, não é simples nem está incompleto: está mal explicado!!! Poderíamos montar um labirinto em 3D somente com as idéias acima apresentadas, calcular correntes de pico através dos equacionamentos do Rakov e tentar apresentar uma nova teoria de formação de raios. É só uma idéia!!!

Aula 10 - Energia dissipada durante um raio

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***Energia dissipada durante o processo de um raio*** \Rightarrow A energia dissipada por um raio varia muito e depende de vários fatores, como a carga elétrica do raio, a distância percorrida pelo raio, o tipo de solo e as condições atmosféricas locais. Em média, estima-se que um raio típico carregue uma carga elétrica de cerca de 30 Coulombs e tenha uma corrente elétrica de cerca de 30.000 Ampères. Essa corrente elétrica pode gerar uma energia de cerca de 1 bilhão de joules, o que é equivalente à energia necessária para acender uma lâmpada de 100 watts por mais de 3 anos. No entanto, é importante lembrar que esses números são apenas médias e que a energia dissipada por um raio pode ser muito maior em certos casos, como quando atinge um objeto ou estrutura específica.
- ***Indo mais a fundo*** \Rightarrow As descargas elétricas atmosféricas apresentam dois tipos diferentes de correntes. A primeira e mais intensa é a corrente de retorno, que tem uma intensidade entre 10 e 100 kA e duração de 100 a 200 μs . O pico de corrente estimado para uma corrente de retorno é de cerca de 300 kA em regiões temperadas e 450 a 500 kA em regiões tropicais. O outro tipo de corrente é a corrente lateral corona, que corresponde ao movimento radial de íons e elétrons em direção ao solo. A potência térmica dissipada é de cerca de $2,2 \cdot 10^10 W$, com um valor de corrente inicial de $I_0 = 22$ kA. As descargas atmosféricas contêm uma enorme quantidade de energia, o que pode resultar em incêndios florestais, mortes e ferimentos em animais, danos em edifícios, sistemas de comunicação, linhas de energia e sistemas elétricos. Aviões e ônibus espaciais também não estão totalmente seguros contra raios. A maior parte da energia é dissipada pela parte resistiva da coluna de ar, que aparece como calor ou energia térmica que eleva

a temperatura do canal. A temperatura da coluna é tão elevada que produz perturbações acústicas conhecidas como "trovões". A energia total radiada considerando a corrente de retorno e a corrente lateral corona como uma só corrente (return stroke-lateral corona) é da ordem de $3,23 \cdot 10^3 J$. A energia térmica alcança um valor de pico da ordem de $10^{10} W$.

2 Temas Impactantes, dúvidas e questionamentos

Imagino como seria a equação desta energia: um mesmo evento dissipa potência através de 3 rotas distintas (Acústica, Luminância e Efeito Joule) e o que sobra ainda é capaz de fazer um estrago enorme aqui embaixo. Ainda bem que vamos ver o assunto em detalhes mais à frente do curso, estou interessado nestas equações.

Aula 11 - Tempestades como geradores de energia

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***Tempestades Como Geradores Elétricos*** \Rightarrow As tempestades podem ser consideradas verdadeiros geradores elétricos naturais, capazes de produzir tensões e correntes elétricas de grande magnitude. O processo de formação de cargas elétricas nas nuvens se dá através de diversos mecanismos, tais como a colisão entre as partículas de gelo e água presentes na nuvem, a separação de cargas na interface entre o gelo e a água, o processo de coalescência das gotículas de água, entre outros.

Esses processos acabam por gerar um gradiente de potencial elétrico dentro da nuvem, podendo atingir valores da ordem de milhões de volts. Quando esse gradiente é suficientemente grande, ocorre uma descarga elétrica, que pode ser observada na forma de relâmpagos.

Durante a descarga elétrica, ocorre uma intensa corrente elétrica que se propaga através da atmosfera e é capaz de aquecer o ar a temperaturas da ordem de 30.000 graus Celsius. Esse aquecimento acaba por expandir rapidamente o ar ao redor do canal da descarga, gerando ondas sonoras que são percebidas como trovões.

Além dos relâmpagos, as tempestades também podem produzir outros fenômenos elétricos, tais como as correntes de retorno, que ocorrem quando a descarga elétrica é atraída pelo solo ou por objetos próximos à superfície terrestre, e os raios globulares, que são descargas elétricas esféricas que ocorrem em condições especiais e podem atingir até vários metros de diâmetro.

2 Temas Impactantes, dúvidas e questionamentos

É um tema recorrente na minha cabeça não ter a visão macro da dinâmica - seria mais fácil simplesmente modelar a tempestade como um grande gerador de Van Der Graaf e ser feliz, mas não é assim que funciona. Modelar a atmosfera como um grande gerador é útil, mas não passa de um modelo que representa parcialmente a realidade. Substituir um fenômeno esparsos por parâmetros concentrados é o que a gente mais fez no curso, porém, o que o modelamento não mostra são os detalhes: o que acontece na atmosfera é, em muitos aspectos, diferente do que o modelo representa.

Aula 12 - Circuito Elétrico Atmosférico Global

Augusto Mathias Adams¹

¹*augusto.adams@ufpr.br*

16 de abril de 2023

1 Aprendizado da Aula

- ***Circuito Elétrico Atmosférico Global*** \Rightarrow é possível modelar a atividade elétrica da Terra e sua atmosfera com um circuito elétrico global. Este modelo é composto por diferentes elementos elétricos, tais como fontes de energia, resistores e capacitores, que representam os processos elétricos que ocorrem na Terra e na sua atmosfera.

Por exemplo, a fonte de energia primária no circuito elétrico global é a radiação solar, que é absorvida pela atmosfera e pela superfície terrestre, gerando diferenças de potencial elétrico. Estas diferenças de potencial elétrico são transportadas por correntes elétricas atmosféricas e terrestres, através de resistores que representam a resistência dos diferentes materiais que compõem a Terra e sua atmosfera.

Além disso, existem capacitores que representam as diferentes camadas da atmosfera e da ionosfera, que armazenam cargas elétricas e geram campos elétricos. Estes campos elétricos interagem com as partículas carregadas presentes na atmosfera e na ionosfera, gerando diferentes fenômenos, tais como raios, auroras e perturbações geomagnéticas.

Assim, o modelo do circuito elétrico global pode ser útil para entender e descrever os processos elétricos que ocorrem na Terra e na sua atmosfera, permitindo prever e detectar eventos como tempestades geomagnéticas e perturbações atmosféricas que possam afetar a tecnologia e as comunicações.

Circuito Elétrico Atmosférico Local \Rightarrow entender a distribuição de carga e os fenômenos de acoplamento na atmosfera através de modelos de circuitos elétricos atmosféricos locais pode fornecer informações importantes sobre o comportamento eletrostático e eletrodinâmico da

baixa atmosfera da Terra. Além disso, permite a análise da geração e propagação de enormes fluxos de cargas elétricas das nuvens para o solo ou linhas de transmissão, o que pode levar a perturbações nos sistemas condutores de corrente elétrica. A compreensão desses fenômenos é essencial para garantir a segurança e confiabilidade das redes elétricas e de telecomunicações.

Um circuito elétrico atmosférico local é um modelo que representa a distribuição de cargas elétricas e correntes na atmosfera em uma região específica. Ele pode ser usado para estudar os efeitos da atividade elétrica na atmosfera, como relâmpagos, tempestades e auroras, bem como seus efeitos em sistemas elétricos, como linhas de transmissão de energia. O modelo inclui elementos como capacitores, indutores e resistores, que representam as diferentes características da atmosfera, como sua condutividade elétrica, sua capacidade de armazenamento de carga e a presença de campos magnéticos. O circuito elétrico atmosférico local pode ser usado para simular e prever o comportamento da atmosfera em uma determinada região, o que pode ser útil para diversos fins, como a prevenção de danos causados por descargas elétricas em equipamentos elétricos e a proteção de infraestrutura crítica, como torres de transmissão e antenas.

2 Temas Impactantes, dúvidas e questionamentos

Mesmo da aula anterior.