

# Aula 19 - Sistemas de Monitoramento

Augusto Mathias Adams<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*augusto.adams@ufpr.br*

13 de maio de 2023

## 1 Aprendizado da Aula

**Contextualização** O monitoramento de raios é uma atividade importante para fins de prevenção, segurança e pesquisa relacionados a descargas atmosféricas. Existem diferentes métodos e tecnologias utilizados para monitorar a ocorrência de raios. Alguns dos principais métodos de monitoramento de raios incluem:

- ***Sistemas de detecção de descargas atmosféricas:*** Esses sistemas utilizam sensores eletromagnéticos para detectar as características elétricas das descargas atmosféricas, como a corrente, a taxa de subida e a polaridade. Eles podem ser baseados em antenas direcionais ou em sensores distribuídos em uma determinada área.
- ***Localização de raios por triangulação:*** Ao utilizar uma rede de sensores de descargas atmosféricas em diferentes locais, é possível determinar a localização aproximada de um raio por meio da triangulação dos dados coletados pelos sensores. Isso ajuda a identificar a área onde ocorreu a descarga.
- ***Sensores de campo elétrico e magnético:*** Esses sensores são capazes de medir as variações do campo elétrico e magnético causadas por uma descarga atmosférica. Eles são úteis para monitorar a intensidade e a proximidade dos raios.
- ***Redes de detecção de raios por satélite:*** Satélites equipados com sensores de raios são capazes de detectar e localizar descargas atmosféricas em grandes áreas geográficas. Esses sistemas fornecem informações valiosas sobre a distribuição espacial e temporal dos raios em escala global.

O monitoramento de raios desempenha um papel fundamental na prevenção de danos causados por descargas atmosféricas, especialmente em setores como aviação, energia, telecomunicações e atividades ao ar livre. Além disso, os dados coletados pelo monitoramento de raios são utilizados para pesquisas científicas, estudos climáticos e aprimoramento de modelos de previsão de tempestades.

**Porque Monitorar Raios** O monitoramento de raios é essencial por diversas razões:

- ***Segurança em aeroportos:*** A detecção de raios é crucial para garantir a segurança dos voos, permitindo que as operações sejam interrompidas ou suspensas quando há risco de raios nas proximidades do aeroporto.
- ***Prevenção de acidentes e proteção civil:*** O monitoramento de raios auxilia na prevenção de acidentes relacionados a descargas atmosféricas, como incêndios em áreas florestais, explosões em locais com substâncias inflamáveis e danos a infraestruturas críticas. Também permite alertar e proteger a população em caso de tempestades severas.
- ***Agricultura e atividades ao ar livre:*** O monitoramento de raios é importante para a proteção de trabalhadores agrícolas e atividades ao ar livre, evitando exposição a raios durante atividades como plantio, colheita e práticas esportivas.
- ***Lançamentos de satélites:*** Durante o lançamento de satélites, é necessário monitorar a presença de raios nas proximidades para garantir a segurança das operações espaciais.
- ***Telecomunicações:*** Descargas atmosféricas podem interferir e danificar equipamentos de telecomunicações. O monitoramento de raios ajuda a identificar áreas de maior risco e tomar medidas preventivas para evitar danos à infraestrutura de comunicação.
- ***Companhias elétricas:*** O monitoramento de raios é crucial para as companhias elétricas, permitindo identificar áreas propensas a descargas e tomar medidas para proteger as linhas de transmissão e distribuição de energia, reduzindo interrupções no fornecimento de eletricidade.

Além disso, o monitoramento de raios coleta informações vitais para fornecer assessoria de curto e longo prazo sobre a sensibilidade e vulnerabilidade das comunidades em relação às tempestades. Essas informações são essenciais para auxiliar no planejamento e prevenção de eventos extremos no futuro. Um exemplo disso é o monitoramento de raios para identificar e controlar as queimadas em florestas causadas por raios. Ao assegurar essa capacidade de monitoramento, podemos lidar de forma mais eficiente com situações críticas e estar preparados para enfrentar eventos extremos.

## Tipos de Onda de Descargas Atmosféricas

**Ondas de Superfície** As ondas de superfície de descargas atmosféricas são ondas eletromagnéticas que se propagam ao longo da superfície da Terra após a ocorrência de uma descarga atmosférica, como um raio. Essas ondas são geradas devido às correntes intensas e abruptas que ocorrem durante uma descarga atmosférica.

Essas ondas de superfície podem ser divididas em duas categorias principais: ondas de superfície de baixa frequência (ELF, na sigla em inglês) e ondas de superfície de muito baixa frequência (VLF, na sigla em inglês).

As ondas de superfície ELF possuem frequências na faixa de 3 Hz a 3 kHz, enquanto as ondas de superfície VLF possuem frequências na faixa de 3 kHz a 30 kHz. Essas frequências relativamente baixas permitem que as ondas de superfície de descargas atmosféricas se propaguem por longas distâncias ao longo da superfície terrestre.

Essas ondas de superfície podem ser detectadas e medidas por meio de técnicas de monitoramento, como redes de sensores distribuídos. A análise dessas ondas pode fornecer informações sobre a localização e características das descargas atmosféricas, além de auxiliar na previsão e monitoramento de tempestades.

Além disso, as ondas de superfície de descargas atmosféricas também podem causar interferência em sistemas de comunicação e eletrônicos. Essas interferências podem afetar a qualidade do sinal e até mesmo danificar equipamentos sensíveis.

**Ondas de Céu** As Ondas de Céu, também conhecidas como Ondas Eletromagnéticas de Baixa Frequência (*ELF - Extremely Low Frequency*), são um tipo de onda eletromagnética que é gerada por descargas atmosféricas, como raios. Essas ondas têm frequências inferiores a 300 Hz e se propagam pela atmosfera terrestre.

As Ondas de Céu são especialmente interessantes devido à sua capacidade de se propagar grandes distâncias e atravessar obstáculos naturais, como montanhas e oceanos. Elas podem ser detectadas e medidas em estações receptoras especializadas, conhecidas como *VLF/LF (Very Low Frequency/Low Frequency)* ou *ELF receivers*.

Essas ondas têm aplicações em diferentes áreas, como comunicações submarinas, monitoramento de atividades sísmicas, estudos climáticos e estudos de ionosfera. Além disso, as Ondas de Céu também são utilizadas em pesquisas científicas para entender melhor as descargas atmosféricas e seu impacto no ambiente.

**Uso nos sistemas de Monitoramento** As Descargas Atmosféricas, também conhecidas como Raios, podem gerar ondas eletromagnéticas na faixa de frequência *VLF* (*Very Low Frequency*) que são chamadas de *Sferics* (abreviação de "*atmospherics*"). Essas ondas se propagam pela atmosfera e são detectadas por receptores especializados.

Os estudos de Budden (1951), Wait (1961) e Lee (1986) demonstraram que as ondas *VLF* têm a capacidade de se propagar por longas distâncias devido ao comportamento da ionosfera como um condutor perfeito. A ionosfera é uma região da atmosfera que contém partículas ionizadas e, devido a suas propriedades elétricas, permite a propagação eficiente das ondas *VLF*.

Essas ondas *VLF* são utilizadas para diversos fins, como monitoramento de atividades atmosféricas, estudos climáticos e pesquisas científicas. Além disso, as *Sferics* podem fornecer informações valiosas sobre a ocorrência de descargas atmosféricas em determinadas áreas geográficas.

É importante ressaltar que as ondas *VLF* têm características de propagação específicas e são distintas das ondas de rádio convencionais utilizadas em comunicações diárias, como rádio *AM/FM*.

A propagação em *VLF* a longas distâncias pode ocorrer devido a uma combinação de ondas de superfície e ondas de céu. Essa combinação pode resultar em interferência, principalmente devido à ocorrência de combinação destrutiva das ondas.

As ondas de superfície se propagam ao longo da superfície terrestre, enquanto as ondas de céu são refletidas pela ionosfera e retornam à superfície. Quando essas duas ondas se encontram, podem ocorrer fenômenos de interferência construtiva ou destrutiva.

Na interferência construtiva, as ondas se somam e resultam em um reforço mútuo, o que pode levar a um aumento da intensidade do sinal. Já na interferência destrutiva, as ondas se anulam parcial ou totalmente, resultando em uma diminuição da intensidade do sinal.

A interferência pela combinação destrutiva das ondas pode causar áreas de sombra ou regiões onde o sinal é atenuado, prejudicando a recepção adequada das transmissões em *VLF*. Em monitoramento de raios, a estimativa de distância entre pontos de interferência destrutiva máxima é de cerca de 400 *km*.

**Campo Elétrico Atmosférico** O campo elétrico atmosférico é a grandeza que descreve a força elétrica exercida em uma carga elétrica devido à presença das cargas na atmosfera. Ele é definido como a razão entre o potencial elétrico (ou potencial eletrostático) sobre uma carga elétrica e a distância entre os dipolos elétricos.

As linhas de campo elétrico são representações gráficas que mostram a direção e intensidade do campo elétrico em diferentes pontos do espaço. No caso do campo elétrico atmosférico, as linhas de campo são radiais, ou seja, partem das cargas positivas ( $C+$ ) e terminam nas cargas negativas ( $C-$ ).

Além disso, essas linhas de campo são refletivas, o que significa que elas podem ser refletidas ou desviadas quando encontram obstáculos ou outras cargas elétricas.

Essas características do campo elétrico atmosférico são importantes para entender a distribuição das cargas elétricas na atmosfera durante eventos como descargas atmosféricas, como os raios. O conhecimento do campo elétrico e das linhas de campo permite estudar o comportamento das cargas elétricas na atmosfera e compreender os fenômenos relacionados, além de fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

**Sistemas De Monitoramento** Os sistemas de monitoramento desempenham um papel fundamental na coleta de dados e informações em diversas áreas. No contexto dos raios, esses sistemas são especialmente importantes para garantir a segurança e fornecer dados essenciais para diferentes setores.

Um sistema de monitoramento de raios é projetado para detectar e registrar a ocorrência de descargas atmosféricas. Utilizando tecnologias avançadas, como sensores de campo elétrico, antenas e sistemas de posicionamento global (GPS), esses sistemas são capazes de identificar e rastrear a localização precisa dos raios.

Ao reunir informações precisas sobre a atividade de raios, os sistemas de monitoramento permitem uma melhor compreensão dos padrões climáticos locais e regionais, além de contribuir para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e mitigação de danos causados por raios. Essa capacidade de monitoramento é fundamental para a tomada de decisões informadas e o planejamento eficaz, proporcionando maior segurança e proteção às comunidades em relação a eventos extremos relacionados aos raios.

**LIS** O Sistema de Monitoramento LIS (Lightning Imaging Sensor) é um sistema utilizado para detectar e monitorar a ocorrência de descargas atmosféricas, como os raios. O LIS é um instrumento baseado em satélites que utiliza sensores ópticos para capturar e analisar os sinais de luz gerados pelas descargas atmosféricas.

O principal objetivo do sistema LIS é fornecer informações sobre a distribuição espacial e temporal dos raios, permitindo um monitoramento em escala global. Ele é capaz de detectar e registrar informações sobre a intensidade, localização e frequência dos raios em diferentes regiões do planeta.

O sistema LIS opera detectando as emissões ópticas de curta duração e alta intensidade geradas durante uma descarga atmosférica. Essas emissões são capturadas pelos sensores do satélite e processadas para determinar a localização precisa do evento de raio.

Os dados coletados pelo sistema LIS são utilizados para diversas aplicações, incluindo estudos climáticos, previsão de tempestades, monitoramento de incêndios florestais causados por raios, análise

de interações entre raios e nuvens, entre outros. Essas informações são essenciais para entender melhor os fenômenos relacionados a descargas atmosféricas e para desenvolver estratégias de proteção e segurança em áreas afetadas por tempestades elétricas.

**OTD** O Sistema de Monitoramento OTD (*Ozone Mapping and Profiler Suite Total Lightning Data*) é um sistema utilizado para monitorar descargas atmosféricas, incluindo raios, em todo o mundo. Ele faz parte do conjunto de instrumentos conhecido como *Ozone Mapping and Profiler Suite* (OMPS), projetado para medir a concentração de ozônio e outros parâmetros atmosféricos.

O OTD é um instrumento baseado em satélite que usa sensores ópticos para detectar as emissões de luz geradas pelas descargas atmosféricas. Essas emissões são capturadas pelo sensor, que mede a intensidade, a localização e a duração dos eventos de descarga. O sistema OTD é capaz de detectar tanto os raios intra-nuvens quanto os raios nuvem-solo.

Uma das principais vantagens do sistema OTD é sua capacidade de detectar raios mesmo durante o dia, quando a luz solar pode interferir nas medições. Além disso, o OTD fornece informações valiosas sobre a distribuição espacial e temporal dos raios, permitindo um monitoramento abrangente das descargas atmosféricas em diferentes regiões do mundo.

Os dados coletados pelo sistema OTD são usados para diversas aplicações, como estudos climáticos, previsão do tempo, monitoramento de tempestades severas, estudos de relâmpagos em áreas vulneráveis, entre outros. Essas informações ajudam a melhorar a compreensão dos fenômenos atmosféricos e a desenvolver estratégias de proteção e segurança contra raios.

**OLS** O *Operational Linescan System* (OLS) é um sistema de monitoramento usado para capturar imagens e dados de sensoriamento remoto da Terra. Esse sistema é frequentemente associado ao satélite *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP), que é operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos.

O OLS é projetado para fornecer imagens noturnas de baixa resolução espacial e é capaz de detectar fontes de luz visíveis, como luzes de cidades, vilas, áreas industriais, embarcações, incêndios e outros fenômenos luminosos. Ele utiliza sensores sensíveis à luz e processamento de imagem para capturar essas informações durante as passagens orbitais do satélite.

Essas imagens são usadas para diversos fins, incluindo monitoramento de iluminação noturna, análise de padrões de assentamentos humanos, mapeamento de áreas urbanas, estudos de mudanças ambientais, monitoramento de atividades marítimas e detecção de incêndios.

O OLS tem sido uma ferramenta útil para fornecer informações sobre a distribuição e o padrão de iluminação noturna em todo o mundo, permitindo a análise de tendências e mudanças ao longo

do tempo. No entanto, é importante observar que sua resolução espacial é relativamente baixa, o que significa que detalhes finos podem não ser capturados com precisão.

É importante ressaltar que as informações específicas sobre o Sistema de Monitoramento OLS podem variar dependendo do contexto em que está sendo utilizado. Essa descrição fornece uma visão geral das características e aplicações gerais do OLS em relação ao sensoriamento remoto e monitoramento da Terra.

**FORTE** FORTE (*Fast On-orbit Recording of Transient Events*) é um sistema de monitoramento espacial desenvolvido pela Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) dos Estados Unidos. Foi projetado para detectar e registrar eventos transientes eletromagnéticos na Terra, como explosões nucleares, relâmpagos, pulsos eletromagnéticos (EMPs), entre outros fenômenos de interesse.

O sistema FORTE consiste em uma constelação de microsatélites equipados com instrumentos de detecção e gravação de alta velocidade. Esses satélites são capazes de coletar dados em tempo real e armazená-los para posterior análise. Eles são projetados para capturar informações sobre a localização, intensidade, duração e outras características dos eventos transientes.

O principal objetivo do FORTE é fornecer capacidades avançadas de monitoramento e análise de eventos transientes eletromagnéticos. Esses eventos podem ter implicações importantes em áreas como segurança nacional, defesa, monitoramento de explosões nucleares, estudos de relâmpagos e compreensão dos fenômenos atmosféricos.

O sistema FORTE foi lançado em 1997 e, desde então, tem contribuído para avanços significativos na detecção e análise de eventos transientes eletromagnéticos. Os dados coletados pelo FORTE são utilizados por pesquisadores, cientistas e especialistas em diversas áreas para melhorar nossa compreensão dos fenômenos e desenvolver soluções para desafios relacionados.

É importante observar que as informações específicas sobre o sistema FORTE podem estar sujeitas a restrições e considerações de segurança, uma vez que está relacionado a atividades de defesa e monitoramento sensíveis. A disponibilidade e o acesso aos dados do FORTE podem ser controlados e regulamentados por autoridades relevantes.

**WWLLN** A rede WWLLN (*World Wide Lightning Location Network*) é uma rede global de detecção de raios por meio de sensores de detecção de descargas atmosféricas. Ela é composta por estações de monitoramento distribuídas em todo o mundo, que registram informações precisas sobre a localização e a intensidade das descargas atmosféricas.

A WWLLN utiliza uma abordagem de detecção baseada na medição das ondas eletromagnéticas

de baixa frequência (LF) geradas por raios. Essas ondas se propagam pela atmosfera e podem ser detectadas por sensores sensíveis instalados em diferentes locais. Ao combinar as informações coletadas por várias estações, a rede WWLLN é capaz de determinar com precisão a localização dos raios.

Além de fornecer dados sobre a localização dos raios, a WWLLN também registra informações sobre a intensidade das descargas atmosféricas, permitindo a análise de padrões e estatísticas relacionadas à atividade de raios em diferentes regiões do mundo. Esses dados são valiosos para estudos climáticos, pesquisas científicas, previsão de tempestades e monitoramento de eventos extremos.

A rede WWLLN desempenha um papel importante no monitoramento global de raios e na compreensão dos processos atmosféricos associados a eles. Suas informações são utilizadas por agências meteorológicas, instituições de pesquisa e outros usuários interessados em estudar e monitorar a atividade de raios em escala global.

**BrasilDAT/RinDAT** A rede BasilDAT/RinDAT é uma rede de monitoramento de raios que opera no Brasil. Ela é composta por estações distribuídas em diferentes regiões do país, responsáveis por detectar e registrar as descargas atmosféricas que ocorrem em suas respectivas áreas de cobertura.

O objetivo principal da rede BasilDAT/RinDAT é fornecer informações precisas e em tempo real sobre a atividade de raios no Brasil. Isso inclui dados sobre a localização, intensidade e frequência das descargas atmosféricas, permitindo a análise e o monitoramento da atividade elétrica nas nuvens.

As estações da rede BasilDAT/RinDAT utilizam sensores eletromagnéticos para detectar os campos elétricos e magnéticos gerados pelas descargas atmosféricas. Esses sensores são capazes de captar os sinais eletromagnéticos emitidos pelos raios e transmitir as informações para um centro de processamento de dados centralizado.

Uma vez que os dados são coletados e processados, eles podem ser utilizados para diversos fins, como previsão de tempestades, monitoramento climático, estudos científicos e aplicações relacionadas à segurança e proteção de infraestruturas sensíveis, como sistemas elétricos, telecomunicações e aviação.

**LDAR** A Rede LDAR (*Lightning Detection and Ranging*) é um sistema de monitoramento de raios que utiliza tecnologia avançada para detectar, localizar e rastrear descargas atmosféricas. Ao contrário de outros métodos de detecção de raios, que dependem principalmente de sensores de radiofrequência, a Rede LDAR emprega técnicas de medição óptica para identificar a ocorrência de raios.



O princípio de funcionamento da Rede LDAR baseia-se na detecção da luz emitida pelos raios. Câmeras de alta velocidade e sensibilidade são instaladas em locais estrategicamente selecionados, permitindo capturar imagens dos raios em alta resolução e em tempo real. Essas imagens são processadas para determinar a localização precisa das descargas atmosféricas.

Além das câmeras, a Rede LDAR também pode incluir outros dispositivos, como sensores de campo elétrico e de campo magnético, que ajudam a complementar as informações sobre os raios. Esses sensores auxiliares permitem medir as características elétricas e magnéticas das descargas, fornecendo dados adicionais para a análise e estudo dos fenômenos atmosféricos.

A Rede LDAR é amplamente utilizada em diversas aplicações, como monitoramento meteorológico, prevenção de incêndios florestais, segurança em atividades ao ar livre e pesquisa científica. Os dados coletados pela rede são utilizados para criar mapas de atividade de raios, identificar áreas de maior incidência, estudar padrões de comportamento dos raios e fornecer alertas em tempo real para a tomada de decisões.

Com a sua capacidade de detectar e localizar raios com alta precisão, a Rede LDAR desempenha um papel importante na proteção de vidas e propriedades contra os perigos associados às descargas atmosféricas. Além disso, contribui para o avanço do conhecimento científico sobre os raios e auxilia na melhoria dos modelos de previsão e mitigação de tempestades elétricas.

**ZEUS/StarNET** A Rede ZEUS/STARNET é um sistema de monitoramento de raios que utiliza sensores de detecção de descargas atmosféricas para coletar dados em tempo real sobre a atividade elétrica na atmosfera. Essa rede é composta por uma série de estações distribuídas geograficamente, cada uma equipada com sensores de alta sensibilidade para detectar a ocorrência de raios.

O objetivo principal da Rede ZEUS/STARNET é monitorar e registrar a localização, intensidade e frequência de descargas atmosféricas, incluindo raios nuvem-solo e raios intra-nuvem. Essas informações são importantes para a prevenção de danos causados por raios, como incêndios, danos a infraestruturas elétricas e riscos à segurança humana.

Os sensores da Rede ZEUS/STARNET são capazes de detectar descargas atmosféricas em uma ampla faixa de frequências, permitindo um monitoramento abrangente e preciso. Os dados coletados pelos sensores são transmitidos em tempo real para um centro de processamento, onde são analisados e utilizados para gerar mapas de atividade de raios, estatísticas e alertas de raios.

A Rede ZEUS/STARNET desempenha um papel fundamental na vigilância e monitoramento de raios, fornecendo informações valiosas para diversas áreas, como meteorologia, segurança pública, aviação, indústria de energia e planejamento urbano. Com base nos dados coletados pela rede, é possível tomar medidas preventivas, como a evacuação de áreas de risco durante tempestades elétricas,

além de contribuir para a pesquisa científica sobre raios e fenômenos atmosféricos relacionados.