

# DESENVOLVIMENTO DE SERVIÇOS CLIMÁTICOS PARA ANÁLISE DE RISCO EM INFRAESTRUTURA DE LINHA DE TRANSMISSÃO EM SANTA CATARINA

## Relatório 1/3 - Plano de Trabalho: Descargas Atmosféricas no Estado de Santa Catarina: Variabilidade e Tendências do Clima Atual e em Cenários Mudanças Climáticas Futuras

Ana Paula dos Santos

Elaborado por:

Ana Paula Paes dos Santos  
Kleber Pinheiro Naccarato  
André Arruda Rodrigues de Moraes

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

#### EQUIPE TÉCNICA - MMA

Hugo do Valle Mendes (coordenação)  
Adriana Brito da Silva  
Jaqueline Leal Madruga

#### EQUIPE TÉCNICA - GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)  
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas  
Pablo Borges de Amorim

#### EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA

Flavio Rene Brea Victoria  
Frederico Moraes Rudorff

#### INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Chou Sin Chan

#### EQUIPE TÉCNICA - ELETROSUL

Diego Luis Tedesco Dandolini (coordenação)  
André Luis Padovan  
Jacira Prichula  
Rogério Parrela de Amorim  
Marisa Bender  
Loriane Silveira

Giancarlo Maffezzoli  
Márcio Antonio Pavanati  
Marcelo Kotani  
Julian Luis Reis  
Claudia Teresa Pillatti  
Raquel Carolina Chinchilla Cartagena

#### Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP  
70068-901  
Telefone: + 55  
61 2028-1206

#### Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn  
GIZ Agência Brasília  
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501  
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF  
T + 55-61-2101-2170  
E [giz-brasilien@giz.de](mailto:giz-brasilien@giz.de)  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha  
BMU Bonn:  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn, Alemanha  
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara  
T:+55 61 9 99 89 71 71  
T +55 61 2101 2098  
E [ana-carolina.camara@giz.de](mailto:ana-carolina.camara@giz.de)



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	2
1.1	Os desafios do setor de Linhas de Transmissão em Santa Catarina .....	3
2.	OBJETIVO .....	4
2.1	Objetivo Geral .....	4
2.2	Objetivos específicos .....	5
2.2.1	Variabilidade espaço-temporal de descargas atmosféricas .....	5
2.2.2	Modulações climáticas associadas à ocorrência de descargas .....	6
2.2.3	Projeções futuras .....	6
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
4.	DADOS E METODOLOGIA .....	8
4.1	Variabilidade espaço-temporal .....	9
4.2	Modulações Climáticas .....	12
4.3	Modelagem Climática.....	13
5.	CRONOGRAMA .....	15
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	16
	REFERÊNCIAS .....	18

## 1. INTRODUÇÃO

Adaptação, como está definida na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) instituída pela Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, é o conjunto de “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima”. Atualmente, admite-se que, mesmo com os esforços de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE) adotados pelo Brasil e por outros países, as alterações no planeta em decorrência da mudança do clima são inevitáveis, com efeitos relevantes sobre os ecossistemas, a sociedade e a economia.

Tendo em conta que os efeitos da mudança do clima afetarão a população de modo distinto e com intensidades variáveis, tanto o diagnóstico dos impactos observados e esperados das vulnerabilidades nacionais quanto a resposta do país à mudança do clima devem ser abrangentes, integrados, coordenados e, ao mesmo tempo, sensíveis às particularidades de cada sistema, setor e região.

Nos últimos anos, o Brasil vem integrando a adaptação na agenda nacional de mudança do clima com iniciativas concentradas na identificação dos impactos, no mapeamento de vulnerabilidades, na estruturação de um sistema de monitoramento e alerta de desastres naturais e o tema vem ganhando relevância com a instituição do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) e sua inclusão na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC – do inglês *Brazilian Nationally Determined Contribution*) junto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – do inglês *United Nations Convention on Climate Changes*).

Para a implementação da Agenda Nacional de Adaptação, o Brasil tem como um dos principais parceiros a Alemanha, que oferta projetos de cooperação através da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI – do inglês *International Climate Initiative*) do Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear da

Alemanha. No âmbito dessa iniciativa, destaca-se o projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura – CSI, que vem sendo implementado por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) e tem como objetivo principal aumentar a utilização dos serviços climáticos nacionais no planejamento e na avaliação dos riscos climáticos nos investimentos em infraestrutura, no âmbito da implementação dos processos da Política Nacional sobre Mudança do Clima.

### 1.1 Os desafios do setor de Linhas de Transmissão em Santa Catarina

O interesse nos estudos sobre descargas atmosféricas deve-se ao grande poder de destruição ocasionado por este fenômeno, pois embora a maior parte dos eventos ocorra dentro da nuvem, isto é, sem contato com a superfície da Terra (Rakov; Uman, 2003), a parte que atinge o solo é numerosa o suficiente para provocar danos consideráveis em estruturas construídas pelo homem. No estado de Santa Catarina danos como desligamento de linhas de transmissão, avarias nos cabos de distribuição de energia elétrica, avarias em torres de telecomunicações, em edifícios, entre outros prejuízos, vêm ocorrendo com maior frequência nos últimos anos.

Nesse sentido, uma melhor compreensão de como se comportam as tendências e frequência de descargas atmosféricas atuais e futuras, num cenário de mudança do clima podem auxiliar no planejamento futuro de infraestruturas, assim como na tomada de decisão para adaptação das infraestruturas já existentes.

Associado a estas informações, o alerta em relação ao aumento da frequência dos eventos climáticos extremos, provocados pela intensificação do aquecimento global, divulgado pelo IPCC (2013, 2014) em seu último relatório, o AR5, fortalece o desenvolvimento de pesquisas que possam apontar para o conhecimento do clima futuro.

Neste contexto, o presente projeto propõe contribuir com os estudos das descargas atmosféricas e de condições climáticas severas no Estado de Santa Catarina, por meio da identificação de padrões sazonais, tendência e frequência de eventos extremos, além da determinação de mecanismos dinâmicos que podem os favorecer, visando a projeção deste fenômeno em cenários de mudanças climáticas.

A importância da elaboração deste tipo de estudo para Santa Catarina é reforçada pelo Estado apresentar, além da grande incidência de descargas, aumento considerável na taxa de urbanização (IPEA, 2013), e grande importância no desenvolvimento econômico e social do País.

Por fim, uma das principais justificativas para que este tipo de pesquisa seja realizada, é que estudos dessa natureza para este fenômeno ainda são muito incipientes; todavia, de grande relevância para a compreensão e o monitoramento climático, podendo servir de embasamento científico, na tomada de decisões que minimizem os impactos causados pela incidência de descargas atmosféricas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente plano de trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência de descargas atmosféricas Estado de Santa Catarina e desenvolver projeções futuras em cenários de mudanças climáticas, sob a hipótese de que as descargas são moduladas por mecanismos climáticos-dinâmicos. Os resultados visam auxiliar no planejamento futuro de infraestruturas, bem como na tomada de decisão para adaptação das infraestruturas já existentes.

## 2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos serão realizados compondo três importantes resultados de produtos, compostos pela variabilidade espaço-temporal da incidência de descargas, modulações climáticas associadas a esse fenômeno e projeções futuras em cenários de mudanças climáticas, conforme a descrição das atividades a seguir:

### 2.2.1 Variabilidade espaço-temporal de descargas atmosféricas

a) Coleta de dados de descargas atmosféricas no espaço e no tempo para o período máximo de registros sobre a região de estudo, composto pela série temporal entre 1998 a 2018, abrangendo 21 anos;

b) Processamento dos dados que serão utilizados para a uniformização das bases de dados, uma vez que, são oriundas de sistemas de detecção distintos, através da transformação de *strokes* para *flashes*;

c) Elaboração e análise da variabilidade espacial da densidade de descargas atmosféricas observadas sobre Santa Catarina, com uma resolução de 25 x 25 km;

d) Análise da variabilidade temporal. Esta atividade compreende o exame minucioso da ocorrência do fenômeno no tempo. Nela será identificada a média da série de dados, os eventos extremos utilizando o método estatístico dos Percentis (Santos, et al., 2017a), além da estimativa de possíveis tendências atuais do fenômeno utilizando o método de Pearson's  $r$ , Mann-Kendall e Inclinação Sen (Santos, et al., 2017b).



### 2.2.2 Modulações climáticas associadas à ocorrência de descargas

- a) Processamento de dados de reanálise do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), para algumas variáveis específicas como CAPE, ômega, fluxo de gelo e updraft.
- b) Realização de correlações espaciais entre a o número de descargas atmosféricas e as variáveis atmosféricas, além de análise destes durante eventos de intensa atividade elétrica (estudo de casos).

### 2.2.3 Projeções futuras

- a) Coleta e processamento dos dados do modelo regional Eta forçado pelos modelos globais HadGEM e MIROC;
- b) Após a determinação das principais variáveis associadas à intensa atividade elétrica (clima atual), serão coletados, processados e analisados os dados das mesmas variáveis para o clima futuro, dos modelos de projeções climáticas.
- c) Após o processamento dos dados do modelo serão analisadas possíveis tendências de descargas no clima futuro. Para isso, serão gerados gráficos no qual serão calculadas as estimativas de tendência e a intensidade de eventos do fenômeno no clima futuro.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A descarga atmosférica ou relâmpago, consiste em uma descarga elétrica de grande extensão e intensidade, que ocorre na atmosfera por meio de um canal ionizado, e que pode apresentar diversas ramificações na direção vertical e/ou na horizontal (PINTO JR, 2005).

Os relâmpagos são classificados de acordo com a região de onde se originam e para onde se propagam, apresentando cinco tipos: nuvem-nuvem (NN), que começa em uma nuvem e termina em outra; nuvem-ar (NA), que começa em uma nuvem e termina em algum ponto da atmosfera; intra-nuvem (IN), que começa e termina dentro de uma mesma nuvem; nuvem-solo (NS), que começa na nuvem e termina no solo, e solo-nuvem (SN), que começa no solo e se propaga até uma nuvem, também chamados de descargas ascendentes. Os relâmpagos também são classificados pela polaridade das cargas efetivamente transferidas da nuvem ao solo, dando origem as descargas positivas (transferências de cargas positivas) e negativas (transferências de cargas negativas) (PINTO JR, 2005). A Figura 3.1 ilustra os principais tipos de relâmpagos que ocorrem na atmosfera.

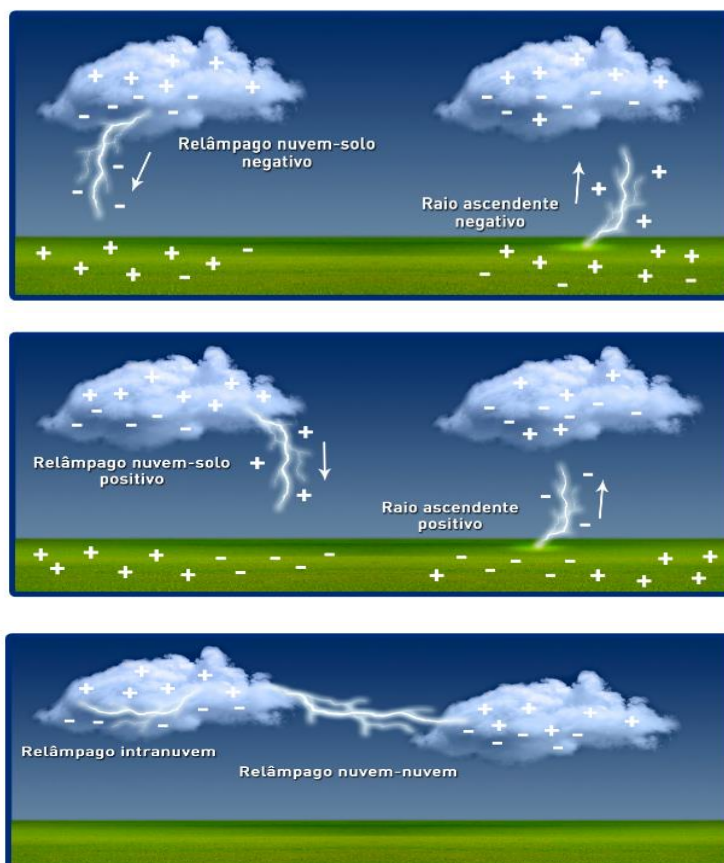


Figura 3.1 – Tipos de relâmpagos.  
Fonte: Adaptada do Portal ELAT (2016).

Dentre todos os tipos de descargas que são registradas, cerca de 70% são do tipo IN. Esse número pode variar de acordo com a latitude, ocorrendo em torno de 80 a 90% em latitudes equatoriais e de 50 a 60% em latitudes médias. As descargas IN são mais frequentes devido à menor distância entre os centros de carga na região de dentro da nuvem e também por encontrarem circunstâncias que favorecem a sua ocorrência, como a diminuição da densidade do ar e o aumento da condutividade com a altura, permitindo a quebra de rigidez dielétrica. Seu estudo vem ganhando importância nos últimos anos, especialmente sobre a análise e previsão de tempo severo (RAKOV; UMAN, 2003).

Embora as descargas NS ocorram em menor proporção que as descargas IN, elas são mais estudadas principalmente devido ao seu poder de destruição, podendo causar danos consideráveis em linhas de transmissão de energia elétrica, torres de telecomunicações, edificações, queima de equipamentos eletrônicos e até fatalidade em seres vivos, conforme mencionado anteriormente.

Cerca de 90% do total anual de descargas do tipo NS são de polaridade negativa enquanto os restantes são de polaridade positiva (CAREY et al. 2003; LANG; RUTLEDGE, 2004; MACGORMAN; RUST 1998; WIENS et al., 2005). Entretanto, essa frequência de descargas NS com polaridade positiva mostra-se ser variável, apresentando em alguns casos, valores superiores de descargas negativas (ORVILLE; HUFFINES, 2001).

#### **4. DADOS E METODOLOGIA**

A área em estudo deste projeto corresponde ao Estado de Santa Catarina (SC), localizado na Região Sul do Brasil (Figura 4.1). O Estado faz limite ao sul com o Rio Grande do Sul, ao leste com o oceano Atlântico, ao norte com o Paraná e a oeste com a Argentina, e é

composto por 295 municípios onde vivem cerca de 6,8 milhões de habitantes, conforme a estimativa do IBGE para 2015, e tem como capital a cidade de Florianópolis. Nos subtópicos a seguir, serão descritos os dados e métodos que serão utilizados em cada produto deste projeto.

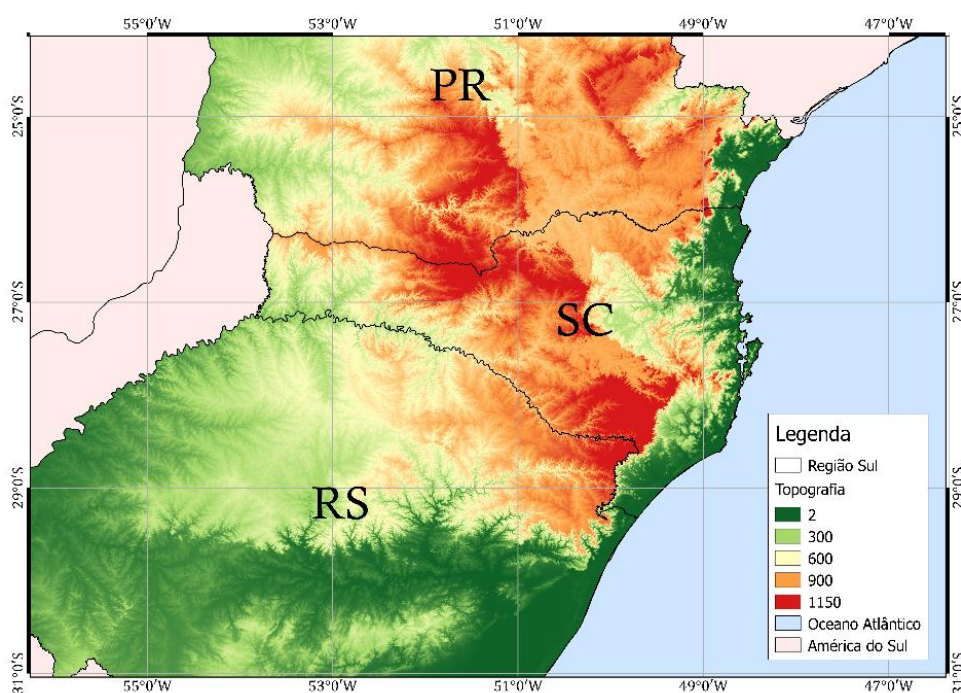


Figura 4.1 – Localização do Estado de Santa Catarina (SC) na Região Sul do Brasil.

#### 4.1 Variabilidade espaço-temporal

Para a análise da variabilidade espaço-temporal das descargas atmosféricas, serão utilizados dados de descargas para o período máximo de registros sobre a região em estudo, composto pela série temporal entre 1998 a 2018, abrangendo 21 anos. As informações serão derivadas de três redes de detecção de solo que operam em faixas de frequência diferentes: Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT), da *World Wide Lightning Location*

Network (WWLLN) e do sensor ótico *Lightning Imaging System* (LIS) a bordo de satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

A RINDAT é uma rede de sensores que operam na faixa de frequência LF (do inglês – low frequency) que permitem detectar, em tempo real, a maior parte das descargas atmosféricas nuvem-solo, isto é, que atingem o solo, predominantemente nas regiões SE, S e CO do território brasileiro, incluindo o Estado de SC.

A rede BrasilDAT é composta por sensores que operam na faixa de frequência de VLF/LF (do inglês – very low and low frequency) ou seja, até alguns MHz, e possibilita a detecção de descargas atmosféricas totais, tanto as NS quanto as que ocorrem no céu (intranuvem - IN), com alta precisão e desempenho toda região centro-sul do Brasil, incluindo o Estado de SC. Essas informações viabilizam conhecer a fração de descargas que atingem o chão em relação às descargas no céu, o que possibilita avaliar a severidade das tempestades.

A rede WWLLN consiste de sensores de longo alcance que operam na faixa de VLF (do inglês - very low frequency), ou seja, até dezenas de kHz, e permite a detecção de descargas atmosféricas para o solo (NS) em todo o planeta, por se tratar da faixa de frequência de maior potência irradiada pelas descargas. Os dados dessa rede possibilitam gerar uma climatologia de ocorrência de raios com alta resolução (< 5x5km) em todo território nacional, incluindo obviamente o Estado de SC.

Por fim, o sensor LIS a bordo do satélite TRMM, desativado em abril de 2015, era capaz de detectar os pulsos ópticos gerados pelas descargas atmosféricas a partir do espaço. Em função disso, esse sistema não diferenciava descargas do tipo nuvem-solo (NS) das descargas do tipo intranuvem (IN) e, portanto, forneciam informações de descargas totais com alto desempenho e uniformidade espaço-temporal em todo o território nacional, incluindo o Estado de SC.

Para utilização desses dados, os mesmos passarão por um processamento utilizado para a uniformização das bases de dados,

uma vez que são oriundas de sistemas de detecção distintos, através da transformação de strokes para flashes e eventuais correções pela eficiência de detecção de cada sistema. Este processo se faz necessário para que seja possível, dentre outros fatores, futuras comparações entre a incidência de descargas na região em estudo com outras regiões do mundo, em escala espacial e temporal, com o objetivo de mensurar o grau de incidência de descargas sobre o Estado de Santa Catarina.

Em seguida, será elaborada e analisada a variabilidade espacial da densidade de descargas atmosféricas observadas sobre o Estado de SC, objetivando identificar as áreas de maior incidência de descargas e conseqüentemente constatar as áreas que tendem a apresentar maiores níveis de riscos. Estas análises serão realizadas em escala sazonal, visando definir qual estação do ano e região do Estado apresenta maior densidade de descargas. Estes cálculos serão computados utilizando a resolução espacial de 25 x 25 km.

Posteriormente a análise da variabilidade espacial, será realizada a também a análise da variabilidade temporal. Esta atividade compreende a avaliação da ocorrência do fenômeno no tempo. Nela será identificada a média da série de dados, os eventos extremos utilizando o método estatístico dos Percentis (Santos, et al., 2017b), além da estimativa de possíveis tendências atuais do fenômeno utilizando o método de Pearson's  $r$  e de Mann-Kendall (SANTOS, et al., 2017a). Ressalta-se que todas estas análises serão realizadas em escala sazonal, visando identificar se há tendências de aumento ou redução de descargas em uma estação específica.

## 4.2 Modulações Climáticas

A segunda fase do desenvolvimento desta compreende o estudo dos mecanismos dinâmicos associados ao desenvolvimento de nuvens convectivas produtoras de descargas atmosféricas. Essa é uma etapa essencial para se atingir o objetivo principal que são as projeções futuras do fenômeno. Esse produto é importante pois, através dele que se compreenderá quais mecanismos estão mais relacionados à ocorrência de descargas sobre o Estado no clima atual. Tendo conhecimento sobre as variáveis preditoras da incidência de descargas no presente, será possível projetar essas variáveis para o clima futuro. Isso se faz necessário pois as descargas atmosféricas não são efetivamente produtos de modelos numéricos (Morais, 2018), e por isso é fundamental aplicar uma metodologia que correlacione a descargas com variáveis de modelos de projeção para que seja possível obter essa informação no clima futuro.

Para isso, será realizado o processamento dos dados de reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), para algumas variáveis específicas como CAPE, ômega, fluxo de gelo e correntes ascendentes (updraft). Estes campos auxiliarão à compreensão dos mecanismos dinâmicos associados à incidência de descargas sobre o Estado de Santa Catarina, sendo selecionadas apenas as variáveis cuja resposta apresenta boa correlação positiva com a produção de descargas atmosféricas.

Utilizando os dados das variáveis descritas acima, serão realizadas correlações espaciais entre a o número de descargas atmosféricas e as variáveis atmosféricas, além de análise destes durante eventos de intensa atividade elétrica (estudo de casos). Esta metodologia possibilita a compreensão de indicativos de campos atmosféricos associados à incidência de descargas, assim como realizado por Santos, et al., (2017b).

### 4.3 Modelagem Climática

As simulações climáticas e projeções futuras utilizadas neste trabalho, serão derivadas do modelo Eta forçado pelos modelos de circulação global HadGEM2-ES e MIROC5 considerando dois cenários de mudanças climáticas futuras do IPCC, os RCP's (*Representative Concentration Pathway*). Serão utilizados os cenários: RCP4.5 (emissões intermediária-baixas) e RCP8.5 (emissões altas). Estes cenários são baseados no aumento das forçantes radiativas durante o século XXI, assumindo influências que as emissões futuras de gases do efeito estufa, aerossóis, ozônio e uso/mudança de cobertura vegetal da terra podem causar. As numerações dos cenários referem-se a cada nível alcançado, dado em  $W/m^2$ . Definições e detalhamento de cada cenário podem ser encontradas em Meinshausen et al. (2011) e Vanvuuren et al. (2011).

O modelo ETA é um modelo de área limitada que foi desenvolvido na Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto Hidrológico da antiga Iugoslávia, e foi instalado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos em Clima (CPTEC) em 1996, por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), liderados pela Dra. Chou Sin Chan. Desde então o modelo tem passado por diversos aprimoramentos em sua descrição dinâmica e física, tal que, atualmente, é mantido e desenvolvido pelo INPE, passando a se chamar ETA/CPTEC. Ele é utilizado para previsões tanto de tempo quanto de clima, com resultados promissores em ambos os campos. Para previsão de precipitação com 72h de antecedência, o modelo tem apresentado índices de acerto superiores ao do modelo global utilizado pelo CPTEC (Chou et al., 2004, Vieira Jr et al., 2009). Para previsões sazonais o modelo apresenta bons resultados para médias das



estações (Chou et al., 2005, Vieira Jr et al., 2009, de Andrade Campos et al., 2018).

Uma das principais características que diferenciam o modelo é o uso da variável vertical eta, que, entre outras características numéricas, dá nome ao modelo. Sua aplicação discretiza a topografia na forma de degraus, o que facilita as soluções das equações diferenciais na direção horizontal. Assim, o modelo é mais apropriado para operar em terrenos de orografia complexa, uma vez que os erros numéricos típicos de topografias sejam reduzidos, sendo uma grande vantagem em relação a outros modelos. Dessa forma, o modelo Eta é capaz de descrever com maior precisão os campos de gradiente de pressão, advecção e difusão de temperatura para essas categorias de topografia, sendo particularmente útil para a previsão de fenômenos associados a sistemas frontais, orográficos e decorridos de tempestades severas (Chou et al., 2014, Vieira et al., 2015, Lyra et al., 2018). Figueroa et al., 1995 mostrou que o uso da variável vertical eta apresenta resultados melhores e mais consistentes para representar a circulação da América do Sul, ao avaliar o fluxo de ventos na Cordilheira dos Andes.

O modelo Eta possui ainda uma descrição completa da dinâmica e microfísica de nuvem, ambos no regime hidrostático e não-hidrostático. Algumas das variáveis prognósticas do modelo são: temperatura, umidade específica, vento zonal e meridional, pressão superficial, água líquida e sólida da nuvem, razão de mistura de hidrometeoros entre outros. Cada uma dessas variáveis possui saídas a cada 6 horas, sendo que o modelo recebe condições iniciais a cada 12h provindas do NCEP e condições de contorno atualizadas a cada 6h, originadas do modelo global do CPTEC.

Uma vez que as descargas atmosféricas não são parâmetros de saída dos modelos numéricos, isto será realizado por meio a utilização da técnica de regressão múltipla, pela qual é gerada uma equação

que estima uma determinada variável de interesse por meio de outras variáveis preditoras. Este método está descrito em Santos, et al., (2017c). Estes autores realizaram estudo pioneiro para a projeção de cenários futuros de descargas no Sudeste do Brasil, obtendo bons resultados e por isso neste projeto será adotada uma metodologia similar, visando a obtenção de resultados ainda mais satisfatórios, visto que será utilizado um modelo com maior resolução espacial e variáveis diretamente interligadas a formação de nuvens convectivas produtoras de descargas atmosféricas.

Após o processamento dos dados do modelo serão analisadas possíveis tendências de descargas no clima futuro. Para isso, serão gerados gráficos no qual serão calculadas as estimativas de tendência e a intensidade de eventos do fenômeno no clima futuro.

## 5. CRONOGRAMA

As atividades deste plano de trabalho deverão ser realizadas no período entre 22 de outubro de 2018 a 30 de junho de 2019 e estão descritas em forma de 4 (quatro) produtos, conforme apresentada cronograma a seguir:

Descrição do produto/ serviço	Estimativa de dias úteis de trabalho	Prazo de entrega	Formato do documento
<b>Produto 1:</b> Plano de Trabalho detalhado com cronograma estimado contemplando as atividades constantes no <u>item 3 desse TdR</u> e incluindo uma revisão bibliográfica sobre o tema.	5	26.10.2018	Versão digital, em formato aberto (.doc), com redação em português fluente e revisada.

<b>Produto 2:</b> Relatório contendo a análise da variabilidade espacial e temporal das descargas em escala sazonal, contendo estimativas de tendência atual deste fenômeno.	40	26.12.2018	Relatório em formato doc/docx.
<b>Produto 3:</b> Relatório contendo a análise dos resultados provenientes dos mecanismos dinâmicos associados à incidência de descargas elétricas em Santa Catarina.	20	24.01.2019	Relatório em formato doc/docx. Mapas em formato shape e netcdf com resolução de 20 ou 25 km contendo as variáveis de interesse.
<b>Produto 4:</b> Relatório contendo a análise dos resultados das projeções climáticas futuras de incidência de descargas atmosféricas no estado de Santa Catarina.	60	24.04.2019	Mapas em formato shape ou netcdf com resolução de 20 ou 25 km contendo as variáveis de interesse.
<b>Total de dias de trabalho</b>	125		

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da atual preocupação em relação ao aumento dos eventos climáticos extremos, pesquisas sobre esses fenômenos vêm ganhando especial importância em cenários de mudanças climáticas do clima. Apesar desses eventos, em parte, estarem associados à variabilidade natural do clima, existem evidências de que eles podem se tornar ainda mais intensos e frequentes em um clima futuro mais quente, cenário que foi evidenciado no quinto relatório do IPCC (AR5), ao qual foi detectado um aumento na temperatura global, da ordem

de 0,9°C desde 1850, de forma inequívoca. Neste relatório, o IPCC AR5 atribuiu o aquecimento global às atividades humanas.

Diante disso, demonstra-se a importância da composição deste plano de trabalho de previsibilidade climática das descargas atmosféricas, visando o desenvolvimento de estudos que avaliam o impacto, a vulnerabilidade e adaptação às Mudanças Climáticas Globais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAREY L. D.; RUTLEDGE, S. A.; PETERSEN, W. A. The relationship between severe storm reports and cloud-to-ground lightning polarity in the contiguous United States from 1989 to 1998. *Monthly Weather Review*, v. 131, n. 7, p. 1211-1228, July 2003.

CHOU, S. C., BUSTAMANTE, J. F. F., & ROZANTE, J. R.. Eta Model forecasts for the Venezuela flood event of December 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 1, p. 99-112, 2004.

CHOU, S. C., BUSTAMANTE, J. F., & GOMES, J. L. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, n. 4, p. 537-555, 2005.

CHOU, S. C., LYRA, A., MOURÃO, C., DERECZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J; CAMPOS, D. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2014.

DE ANDRADE CAMPOS, D., CHOU, S. C., SPYROU, C., CHAGAS, J. C. S., & BOTTINO, M. J.. Eta model simulations using two radiation schemes in clear-sky conditions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 130, n. 1, p. 39-48, 2018.

FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P., & DA SILVA DIAS, P. L.. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *Journal of the atmospheric sciences*, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by T. F. Stocker et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by C. B. Field et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

IPEA, PNUD, FJP, *Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. Santa Catarina. Acesso em: 23/07/2018. Disponível em: [http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_uf/santa-catarina](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_uf/santa-catarina). 2013.

LANG, T. J.; RUTLEDGE, S. A.; WIENS, K. C. Origins of positive cloud-to-ground lightning flashes in the stratiform region of a mesoscale convective system. *Geophysical research letters*, v. 31, n. 10, 2004.

LYRA, A., TAVARES, P., CHOU, S. C., SUEIRO, G., DEREZYNSKI, C., SONDERMANN, M., ... & GIAROLLA, A.. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 132, n. 1-2, p. 663-682, 2018.

MACGORMAN, D. R.; RUST, W. D. *The electrical nature of storms*. Oxford University Press, 1998.

MEINSHAUSEN, M. *et al.* The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climate Change*, v. 109, p. 213-241, 2011. DOI10.1007/s10584-011-0156-z.

MORAIS, A. A. R.. *Simulação da eletrificação e geração de relâmpagos em tempestades severas no Sudeste do Brasil utilizando o modelo numérico Meso-NH. (Tese de Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/04.03.17.36/doc/publicacao.pdf>*

NACCARATO, K.P.; CAMPOS, D.R.; MEIRELES, V.H.P.; *Lightning Urban Effect over Major Large Cities in Brazil. XV International Conference on Atmospheric Electricity, Norman, Oklahoma, U.S.A, 2014.*

ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. R. Cloud-to-ground lightning in the United States: NLDN results in the first decade, 1989-98. *Monthly Weather Review*, v. 129, n. 5, p. 1179-1193, 2001.

PINTO JR, O. *A arte da guerra contra os raios*. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2005.

PORTAL ELAT. *Estágios da Tempestade*. Acesso em: outubro de 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/evolucao.php>. 2016a.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. *Lightning: physics and effects*. Cambridge: Cambridge University, 687 p. ISBN 0-521-58327-6, 2003.

SANTOS, A. P. P.. *Eventos de Extremos de Descargas Atmosféricas no Estado de São Paulo: Casos Observados e Cenários Futuros. (Tese de Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de*

Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/>

06.06.14.28/doc/publicacao.pdf. 2017a.

SANTOS, A. P. P.; COELHO, C.A.S.; PINTO JR., O. ; SANTOS, S. R. Q. ; LIMA, F.J.L. ; SOUZA, E. B . Climatic diagnostics associated with anomalous lightning incidence during the summer 2012/2013 in Southeast Brazil. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, v. 37, p. 1, 2017b.

SANTOS, A. P. P.; PINTO JR., O.; SANTOS, S. R. Q.; LIMA, F.J.L.; SOUZA, E. B; MORAIS, A.A.R.; ÁVILA, E.; PEDERNEIRA, A. Climatic Projections of Lightning in Southeastern Brazil Using CMIP5 Models in RCP Scenarios 4.5 and 8.5. AMERICAN JOURNAL OF CLIMATE CHANGE. , v.06, p.539 - 553, 2017c.

VANVUUREN *et al.* The representative concentration pathways: an overview. Climate Change, v. 109, p. 5-31, 2011. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.

VIEIRA, R. M. G., DEREZYNSKI, C. P., CHOU, S. C., GOMES, J. L., & DE PAIVA NETO, A. C.. Avaliação das Previsões de Precipitação do Modelo Eta para Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências, v. 38, n. 2, p. 15-23, 2015.

VIEIRA JUNIOR, P. A., DOURADO NETO, D., CHOU, S. C., & MARTIN, T. N. Previsões meteorológicas do Modelo Eta para subsidiar o uso de modelos de previsão agrícola no Centro-Sul do Brasil. Ciência Rural, v. 39, n. 2, p. 412-420, 2009.

WIENS, K. C.; RUTLEDGE, S. A.; TESSENDORF, S. A. The 29 June 2000 supercell observed during STEPS. Part II: lightning and charge structure. Journal of the atmospheric sciences, v. 62, n. 12, p. 4151-4177, 2005.