



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Danúbia Carvalho Gomes Cantanhede

Brasília, novembro de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
**ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Danúbia Carvalho Gomes Cantanhede

*Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista*

Banca Examinadora

Prof. Orientador Ivan Camargo, Ph.D, FT/UnB
IVAN MARQUES DE TOLEDO CAMARGO

Examinador interno Prof. Rafael Shayani, FT/UnB
RAFAEL AMARAL SHAYANI

Examinador externo Eng. Ivo Filho, SFE/ANEEL
IVO SILVEIRA DOS SANTOS FILHO

Suplente Prof. Fernando Melo, FT/UnB
FERNANDO CARDOSO MELO

FICHA CATALOGRÁFICA

CANTANHEDE, DANÚBIA CARVALHO GOMES

ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
[Distrito Federal] 2021.

xvi, 58 p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Elétrica, 2021).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica

1. Sistema elétrico

2. Transmissão

3. Desligamentos

4. Causas

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CANTANHEDE, D.C.G. (2021). *ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 58 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Danúbia Carvalho Gomes Cantanhede

TÍTULO: ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .

GRAU: Engenheiro Eletricista ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Danúbia Carvalho Gomes Cantanhede
Depto. de Engenharia Elétrica (ENE) - FT
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Darcy Ribeiro
CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente a Deus por tornar um dos meus maiores sonhos possíveis. Obrigada minha mãe, por sempre me incentivar a estudar, por acreditar que educação é a melhor caminho, me apoiar e auxiliar em todos os momentos. Obrigada a minhas irmãs por acreditarem no meu potencial. Agradeço o meu noivo, por me apoiar, me incentivar em todos os áreas da vida, principalmente a profissional e trilhar essa jornada da graduação comigo. Muito obrigada ao professor Ivan Camargo por aceitar me ajudar neste trabalho, dando a melhor orientação possível com muita paciência e dedicação. Muito obrigada a equipe de estágio que tive na Coordenação de Análises da Transmissão - CAT da ANEEL pela orientação e colaboração na elaboração do trabalho, a participação da equipe foi imprescindível para a minha formação profissional. Obrigada também a cada pessoa da UnB e em especial o Departamento de Engenharia Elétrica que de alguma maneira colaborou para meu desenvolvido me oferecendo todo o apoio necessário.

RESUMO

Este trabalho é resultado de uma análise dos desligamentos forçados da transmissão de energia elétrica no Brasil. Para elaborar este trabalho, estudou-se documentos sobre todo o sistema elétrico e foi realizado a análise dos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL do ciclo de atividades da fiscalização dos períodos de 1º de julho de 2018 à 30 de junho de 2019 e 1º de julho de 2019 à 30 de junho de 2020. O principal objetivo da pesquisa foi analisar os dados para avaliar a possibilidade de aprimoramento dos métodos utilizados pela instituição. Este trabalho se inicia em uma breve introdução com uma visão geral da proposta. Em seguida é abordado o sistema elétrico, o setor elétrico e o desenvolvimento da atual estrutura, a função das principais instituições e a transmissão de energia. Para contextualizar a análise é explanado a parte teórica dos desligamentos na transmissão de energia. E posteriormente uma análise geral dos desligamentos do ciclo 2019-2020, por ser tratar do mais atual encerrado pela a ANEEL. Para observação mais específica e detalhada foi realizado em seguida uma análise somente dos desligamentos considerados alvos para o agente fiscalizador. Para concluir, é exposto a necessidade de melhoria demonstrada pelas análises realizadas e sugere-se uma solução viável para o aprimoramento dos ciclo de atividades da fiscalização.

ABSTRACT

This work is the result of an analysis of forced shutdowns of electricity transmission in Brazil. To prepare this work, documents were studied on the entire electrical system and an analysis of the data made available by the National Electric Energy Agency - ANEEL of the inspection activity cycle for the periods from July 1, 2018 to June 30, 2019 was carried out and July 1, 2019 to June 30, 2020. The main objective of the research was to analyze the data to assess the possibility of improving the methods used by the institution. This work begins with a brief introduction with an overview of the proposal. Then, the electricity system, the electricity sector and the development of the current structure, the role of the main institutions and energy transmission are discussed. To contextualize the analysis, the theoretical part of power transmission disconnections is explained. And later, a general analysis of the 2019-2020 shutdowns, as it is the most current one ended by ANEEL. For a more specific and detailed observation, an analysis was then carried out only of the dismissals considered targets for the inspection agent. To conclude, the need for improvement demonstrated by the analyzes carried out is exposed and a viable solution for improving the inspection activity cycle is suggested.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	3
2.1	SETOR ELÉTRICO	5
2.1.1	HISTÓRICO	5
2.1.2	O NOVO MODELO DO SETOR ELÉTRICO	6
2.1.3	INSTITUIÇÕES	6
2.2	SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	8
2.2.1	REGULAÇÃO DA TRANSMISSÃO.....	10
3	DESLIGAMENTOS NA TRANSMISSÃO	11
3.1	CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO	11
3.2	PERTUBAÇÕES NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN	12
3.3	PERTUBAÇÕES RELACIONADAS A DESLIGAMENTOS NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO	15
3.4	DESLIGAMENTOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	15
3.4.1	INFLUÊNCIAS DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO NA RECEITA DAS CONCESSIONÁRIAS DE TRANSMISSÃO.....	19
3.4.2	AÇÕES FISCALIZATÓRIAS DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL REFERENTES AOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS NA TRANSMISSÃO.....	19
4	ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS	24
4.1	PRINCIPAIS CAUSAS DE DESLIGAMENTOS NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	27
4.1.1	DESLIGAMENTOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	28
4.1.2	DESLIGAMENTOS POR QUEIMADAS/ FOGO SOB LINHA	29
4.1.3	DESLIGAMENTOS POR CAUSAS INDETERMINADAS, CAUSA A SER DETERMINADA, VEGETAÇÃO E PÁSSARO CURICACA	31
4.1.4	TEMPO DE DURAÇÃO DO DESLIGAMENTO FORÇADO PELA CAUSA	32
4.2	DESLIGAMENTOS COM CORTE DE CARGA	35
5	ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS SELECIONADOS PARA O CICLO DE FISCALIZAÇÃO DA ANEEL	39
5.1	CICLO DE ANÁLISES 2018/2019.....	39
5.2	CICLO DE ANÁLISES 2019/2020	41
5.3	COMPARAÇÃO DOS DOIS CICLO DE ANÁLISES DA FISCALIZAÇÃO 2018/2019 E 2019/2020	44

5.4	SUGESTÃO DE APRIMORAMENTO DO CICLO DE ANÁLISES DA FISCALIZAÇÃO	46
6	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	APÊNDICES.....	52
I.1	TABELA COMPLETA DE QUANTIDADE DE DESLIGAMENTOS POR CAUSA ..	53
I.2	TABELA COMPLETA DO TEMPO DE DURAÇÃO (MIN) DE CADA CAUSA DE DESLIGAMENTO	55

LISTA DE FIGURAS

2.1	Matriz energética brasileira	3
2.2	Mapa dos subsistemas do Sistema Interligado Nacional - SIN	4
2.3	Instituições do Setor Elétrico brasileiro	7
2.4	Mapa do sistema de transmissão elétrica do Brasil.....	9
3.1	Croqui de componentes de uma linha de transmissão	12
3.2	Flashover	16
3.3	backflashover	17
3.4	Ondas da sobretensão no topo da torre	18
3.5	Descarga atmosférica provocando falha nos isoladores - Blackflashover.....	18
3.6	Ciclo de atividades da fiscalização	20
3.7	Modelo de Plano de Resultados.....	22
4.1	Quantidades de desligamentos por origem	24
4.2	Causas em % dos desligamentos de origem externa	25
4.3	Causas em % dos desligamentos de origem operacional	25
4.4	Quantidades de desligamentos em LTs e Subestações	26
4.5	Quantidades de desligamentos por mês	26
4.6	Causas que tiveram maiores números de desligamentos	27
4.7	Porcentagem das causas principais em relação ao número total de desligamentos ...	28
4.8	Mapa de descargas atmosféricas por estado.....	29
4.9	Desligamentos por queimadas nos meses analisados	29
4.10	Sazonalidade de desligamentos por queimadas	30
4.11	Desligamentos por queimadas - distribuição por estado (%)	31
4.12	Indeterminados, Causa a ser determinada, Vegetação e Pássaros por mês.....	32
4.13	Causas com maior tempo em minutos de religamento	33
4.14	Causas com maior tempo (min) de religamento em Linhas de Transmissão e Subestações.....	33
4.15	Média de tempo em minutos dos desligamentos pela causa	34
4.16	Porcentagem de desligamentos com corte de carga por origem.....	36
4.17	Causas com corte de carga com maior tempo em minutos de religamento.....	38
5.1	Quantidade de desligamentos totais e selecionados	39
5.2	Quantidade de LTs e Subestações selecionadas	40
5.3	Quantidade de desligamentos selecionados pela causa	40
5.4	% de desligamentos em relação ao total	41
5.5	Quantidade de desligamentos totais e selecionados	42
5.6	Quantidade de Linhas de Transmissão e Subestações selecionados.....	42

5.7	Causas mais frequentes nos desligamentos selecionados do ciclo 2019-2020.....	43
5.8	% de desligamentos em relação ao total	44
5.9	Desligamentos por causa dos dois ciclos de análises	45
5.10	% de desligamentos pela causa em relação ao total das principais 5 causas de 2018-2019	45
5.11	% de desligamentos por causa em relação ao total das principais 5 causas de 2019-2020	46

LISTA DE TABELAS

2.1	Participação de cada Unidade Geradora	5
4.1	Tempe médio de restabelecimento (min) e quantidade de desligamentos	34
4.2	% de desligamentos com corte de carga pela causa	36
1	Quantidades de desligamentos por causa	53
2	Tempo total de duração de desligamentos por causa.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

Z_S	Impedância de surto
L	Indutância
C	Capacitância

Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
ONS	Operador Nacional do Sistema
CMO	Custo Marginal de Operação
CGH	Central geradora Hidrelétrica
CGU	Central geradora undi-elétrica
PCH	Pequena central hidrelétrica
UFV	Central geradora solar fotovoltaica
UHE	Usina hidrelétrica
UTE	Usina termelétrica
UTN	Usina termonuclear
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
MME	Ministério de Minas e Energia
Eletronorte	Centrais Elétricas do Norte
Eletrosul	Centrais Elétricas do Sul
Eletronorte	Centrais Elétricas do Brasil
Furnas	Centrais Elétricas de Furnas
REVISE	Revisão Institucional do Setor Elétrico
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Eletronuclear	Eletronuclear S.A
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
RAP	Receita Anual Permitida
TUST	Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão
REN	Resolução Normativa ANEEL
DITs	Demais Instalações de Transmissão
CPST	Contrato de Prestação do Serviço de Transmissão
LT	Linha de Transmissão
RAP	Relatório de Análise de Operação
RO	Relatório de Ocorrência
RAO	Relatório de Análise de Operação
SEP	Sistemas Especiais de Proteção
PV	Parcela Variável
PB	Pagamento base
PVI	Parcela Variável por Indisponibilidade
PVRO	Parcela Variável por Restrição Operativa Temporária - PVRO
SIPER	Sistema Integrado de Cadastramento de Perturbações
FT	Funções de Transmissão
SFE	Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade
CAT	Coordenação de Análises de Transmissão
CMO	Coordenação de Monitoramento da Transmissão e Distribuição

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com população de 212,6 milhões de habitantes e para manter o desenvolvimento há a necessidade da expansão da geração de energia elétrica, transmissão e a garantia de um bom funcionamento dos serviços por parte dos agentes. O sistema elétrico é composto por geração, transmissão e distribuição. Visto que o principal objetivo é o fornecimento de energia elétrica a população com qualidade, segurança, confiabilidade, disponibilidade e custos dentro de padrões aceitáveis. Atualmente a geração no Brasil é composta principalmente de energia produzida predominantemente nas usinas hidrelétricas [1].

O Sistema Interligado Nacional - SIN é composto basicamente pelos conjuntos de instalações que permitem o abastecimento de energia elétrica nas regiões do país interligadas eletricamente [2]. A operação do SIN é realizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. As geradoras produzem, as transmissoras transportam a energia e as distribuidoras levam até os consumidores finais. O setor elétrico é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Por meio de leilões é firmado contrato de concessão entre a ANEEL e os agentes da transmissão, onde há regras definidas e uma regulação a ser obedecida.

O ONS opera todo o SIN de forma a realizar o planejamento estratégico para manter a continuidade no fornecimento de energia elétrica. As linhas de transmissão são vulneráveis a fenômenos externos, devido a sua grande extensão e em muitos casos estão situadas em localizações remotas. Os desligamentos forçados podem provocar a interrupção no fornecimento, causando grandes prejuízos econômicos e sociais. Por esse motivo há uma enorme preocupação da ANEEL, do ONS e agentes da transmissão, que tem descontos em suas receitas e podem ser multados em fiscalizações.

Considerando os problemas causados pelos desligamentos forçados, a Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade - SFE da ANEEL, realiza todo ano um ciclo de atividades da fiscalização, onde tem-se o monitoramento, análise, acompanhamento e ação fiscalizadora. As atividades da Superintendência está relacionada a tomada de ações preventivas para correção efetiva das irregularidades e melhorar o desempenho das transmissoras.

A Coordenação de Análises da Transmissão - CAT/SFE, realiza a análises dos desligamentos forçados com dados do período referente ao primeiro dia de julho do ano anterior e ao último dia do mês de junho do ano atual, com base nos critérios definidos as transmissoras são selecionadas para fazerem parte do ciclo de análises. As transmissoras são informadas por meio de ofício que farão parte do ciclo e é solicitado a elaboração de um relatório de diagnóstico e o preenchimento do plano de resultados. Posteriormente a empresa se reúne com o órgão regulador e apresenta o que foi solicitado, a partir desse ponto o Superintendente juntamente com a equipe tomam as decisões de pactuação de plano ou encaminhamento da transmissora para a fiscalização.

Desta forma, neste trabalho os dados dos desligamentos forçados utilizados pelo CAT/SFE/ANEEL no ciclo, considerando o período 2019/2020 é demonstrado as causas que provocam o maior número de desligamentos, tempo de restabelecimento e corte de carga como um parâmetro geral da situação mais atual no sistema de transmissão.

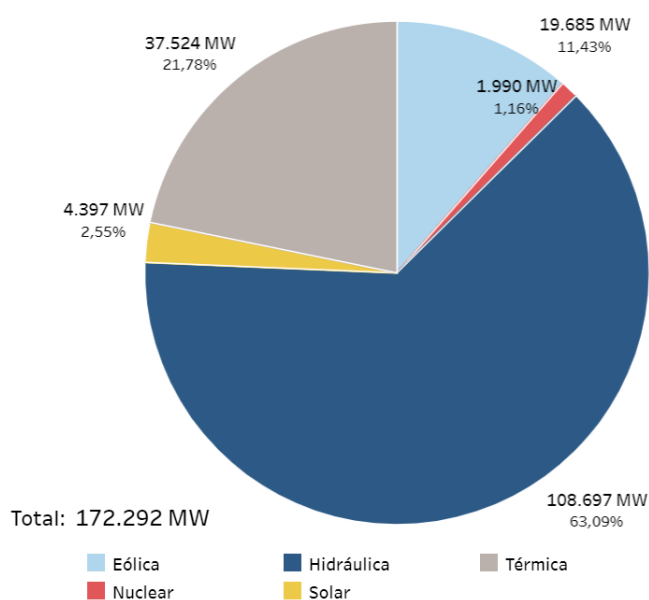
Com os os dados citados e o do ciclo de 2018/2019 é comparado um período em relação a outro somente com os desligamentos selecionados pelos critérios já estabelecidos, de maneira a avaliar a necessidade de aprimoramento nos métodos do processo fiscalizatório da ANEEL. Como resultado é mostrado se há a necessidade de implementação de alguma melhoria dos métodos.

O texto é dividido em 6 capítulos, considerando a introdução. No capítulo 2 é abordado o sistema elétrico, explicando o funcionamento atual e suas principais características, com destaque para o sistema de transmissão de forma geral e aspectos regulatórios. O capítulo 3 é sobre os desligamentos forçados na transmissão, apresentando características físicas das LTs, perturbações no SIN e perturbações nas LTs, ressaltando os desligamentos causados por descargas atmosféricas e as influências dos desligamentos forçados no sistema de transmissão na receita dos agentes. O Capítulo 4 é uma análise, de maneira geral, utilizando os dados da ANEEL, considerando os desligamentos de 2019/2020. No capítulo 5 é analisado o ciclo de atividades da fiscalização de 2018/2019 e 2019/2020 e realizado uma avaliação comparando os dois ciclos e sugestão de melhoria. No Capítulo 6 tem-se as conclusões do trabalho.

2 O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

O sistema elétrico brasileiro é composto pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A geração de energia do país é em grande parte proveniente das hidrelétricas, correspondendo a 63,4% da capacidade instalada, o sistema é considerado hidro-termo-eólico [3]. A geração é responsável pela conversão de energia de fontes primárias em energia elétrica. A transmissão de energia elétrica tem como função transportar, por longas distâncias, a energia das usinas geradoras e as distribuidoras conduzem até o consumidor final. Nesse processo também há as empresas que comercializam energia para consumidores de grande porte, chamados de consumidores livres [4]. Na figura a seguir tem-se a atual matriz energética brasileira:

Figura 2.1: Matriz energética brasileira



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, [5]

O Sistema Interligado Nacional - SIN, é composto pelos subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e grande parte da região Norte. Assim pode-se gerar energia em estados específicos, com maior capacidade para produção de energia, e escoar para a maior parte dos estados do país. A interconexão dos sistemas elétricos é realizada por malha de transmissão, o que permite que ocorra a transferência por subsistemas. A junção entre a geração e transmissão concede o atendimento das demandas na maior parte dos estados brasileiros, suprimindo a necessidade de forma segura e eficiente da população [3].

A geração e transmissão de energia elétrica brasileira é controlada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, responsável pelo controle e coordenação da operação das instalações do Sistema Interligado Nacional - SIN, também a programação da operação de alguns sistemas

isolados do Brasil, de acordo com a regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. O ONS tem como principais objetivos, otimizar a utilização do sistema eletroenergético, assegurar que os agentes possuam acesso ao sistema de transmissão e colaborar para que tenha a expansão do SIN com menor custo e melhorias operacionais [6].

A cada acréscimo de carga no sistema para atender a demanda há um custo por unidade, esse custo é definido como Custo Marginal de Operação - CMO [7]. Os despachos de energia elétrica são definidos pelo menor custo de operação, então o ONS vai coordenando a liberação de energia elétrica das usinas até que a demanda completa seja atendida, no caso das usinas hidrelétricas leva-se em conta também os reservatórios [8]. O SIN é operado de maneira centralizada e coordenada pelo ONS, para que os requisitos técnicos, econômicos, de segurança, de necessidade dos agentes de consumo e das restrições na transmissão sejam cumpridas. [9].

Em julho de 2021, a capacidade instalada de potência fiscalizada era de 176.595.066,95 kW de acordo com o Sistema de Informação de Geração da ANEEL. Em primeiro de maio de 2017, o ONS se tornou responsável também pelo planejamento de operação e previsão de carga dos sistemas isolados. Como era responsável somente pelo SIN, ocorreu algumas modificações no estatuto. No Brasil há 212 locais isolados, grande parte na região Norte, contando com alguns lugares em Mato Grosso e Fernando de Noronha e em Pernambuco [3]. A Figura 2.2 ilustra os subsistemas do SIN.

Figura 2.2: Mapa dos subsistemas do Sistema Interligado Nacional - SIN



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, [2]

A tabela 2.1, mostra a participação de cada tipo de unidade geradora de energia elétrica no país em potência outorgada, desconsiderando as construções em andamento e as não iniciadas, e potência fiscalizada em operação, de acordo com a ANEEL.

Tabela 2.1: Participação de cada Unidade Geradora

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Fiscalizada)
CGH	820.673,42	851.064,42	725	0,48%
CGU	50,00	50,00	1	0,00%
EOL	18.848.183,86	18.754.887,86	733	10,62%
PCH	5.536.224,57	5.483.357,57	426	3,11%
UFV	3.430.269,21	3.430.263,21	4287	1,94%
UHE	102.990.428,00	103.026.516,00	219	58,34%
UTE	44.587.740,29	43.058.927,59	3093	24,38%
UTN	1.990.000,00	1.990.000,00	2	1,13%
Total	178.203.569,35	176.595.066,65	9486	100,00%

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2021

A tabela 2.1 corresponde a 78,75% da potência outorgada em operação, em construção não iniciada tem-se 33.953.170,65 kW (15,00%) e 14.131.433,55kW (6,24%) em andamento, conforme os dados da ANEEL.

2.1 SETOR ELÉTRICO

2.1.1 Histórico

O primeiro período setor elétrico foi de 1910 a 1949, com algumas atividades relacionadas a energia elétrica, como geração e consumo. Também ocorreu a tentativa de regularização do setor, com a implementação de novas leis, devido a participação de empresas privadas. Em 1934 Getúlio Vargas deu poder ao governo para controlar as concessionárias, mas as medidas não foram suficientes, visto que houve racionamento em 1940 [10].

De 1950 a 1989 pode ser considerado o segundo período, o estado se envolveu mais em atividades relacionadas do setor. Em 1952 houve muitos financiamentos no setor de geração devido a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE. No segundo período ocorreu também a definição da frequência em 60 Hz no Brasil, criação do Ministério de Minas e Energia - MME e empresas como Centrais Elétricas do Norte - Eletronorte, Centrais Elétricas do Sul - Eletrosul, Centrais Elétricas Brasileiras S.A - Eletrobras e Centrais Elétricas de Furnas S.A. - Furnas. Uns dos principais acontecimentos desse período foi início da operação da primeira unidade geradora da Usina Hidrelétrica de Itaipu em 1984 e outro em 1985 com início da operação da Usina Termonuclear - Angra I. Ainda nesse período a criação da Revisão Institucional do Setor Elétrico - REVISE e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, em 1988 [10].

De 1990 até os dias atuais pode ser considerado o terceiro período, em que o governo diminuiu a participação na realização de serviços para exercer o trabalho de regulador. Destaca-se nesse

período os seguintes fatos: [10]

- Em fevereiro 1995, a implementação de lei Nº 8.987 de concessão e permissão para prestar serviços públicos. Em julho do mesmo ano a lei Nº 9.074 a respeito das normas e outorga da prorrogação de permissão e concessão, em setembro decreto Nº 2.003 regulamentando a geração de energia de Autoprodutor e Produtor Independente.
- Em dezembro 1996, a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.
- Em 1997, a fundação da Eletrobrás Termonuclear S.A. – Eletronuclear e instituição do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).
- Em 1998 pelo decreto 2.655, a regulamentação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

2.1.2 O Novo Modelo do Setor Elétrico

Para atrair investidores e aumentar a geração de energia elétrica no país, o governo adotou algumas medidas que não tiveram o resultado esperado e por essa razão, ocorreu um deficit no sistema. Nesse período o Brasil era dependente das hidrelétricas, com um cenário hidrológico desfavorável e os problemas já existentes, o governo optou por medidas de racionamento, que ocorreram entre 2001 e 2002. Em 2004, visando ações de melhorias, foi implementado um reformulação com o Novo Modelo do Setor Elétrico do país que definiu a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, antes denominada como Mercado Atacadista de Energia - MAE, também nesse mesmo ano ocorreu a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE [10].

O novo modelo provocou algumas mudanças no setor. Nesse momento, a transmissão deixa de ser do segmento de empresas verticalizadas, onde tinha a receita dependente da venda de energia elétrica e é separada do segmento de geração de energia, de maneira que para receber é necessário somente garantir o funcionamento dos ativos do sistema de transmissão. Esse novo modelo tem como principais objetivos: modicidade tarifária, assegurar o fornecimento de energia e segurança, gerar um mercado estabilizado para interessar os investidores e o fornecimento de energia universalizado [10].

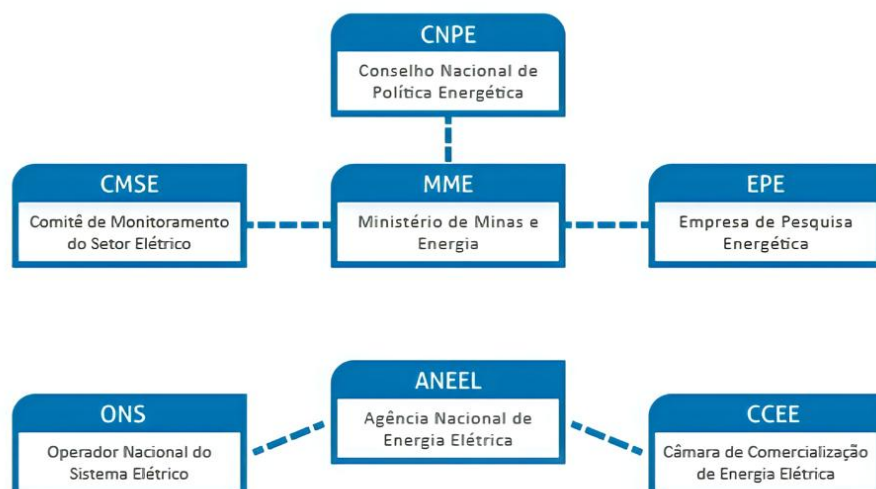
No atual momento, o órgão regulador ANEEL realiza leilões e assina contratos de concessão com empresas da área da transmissão e distribuição com regras definidas. O regulador define alguns parâmetros para garantir a continuidade dos serviços e também penalizações para quaisquer irregularidades, sujeito a fiscalização e multa [11].

2.1.3 Instituições

Depois da reestruturação do setor elétrico no atual modelo, novas instituições foram criadas e outras foram reformuladas. As instituições atuais no setor podem ser observadas na figura 2.3 e

serão descritas abaixo [12]:

Figura 2.3: Instituições do Setor Elétrico brasileiro



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, [12]

- Conselho Nacional de Política Energética - CNPE: Assessora a Presidência da República, com a função de definir políticas e diretrizes de energia, para garantir o fornecimento a toda a população do Brasil.
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE: Dirigido pelo Ministério de Minas e Energia realiza o monitoramento e a avaliação da segurança e constância do sistema elétrico.
- Ministério de Minas e Energia: Órgão do governo federal que tem como principal atribuição garantir as políticas relacionadas ao âmbito energético do país.
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE: Ligada diretamente ao Ministério de Minas e Energia, tem como atribuição realizar pesquisas e estudos na área de planejamento do ramo energética.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS: Tem como principal função realizar operação e coordenação do sistema elétrico brasileiro.
- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL: É o órgão regulador do setor elétrico, possui função de regulador, fiscalizador e de garantidor da qualidade dos serviços da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil.
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE: Possui como principal objetivo realizar operações relacionadas ao mercado de energia elétrica.

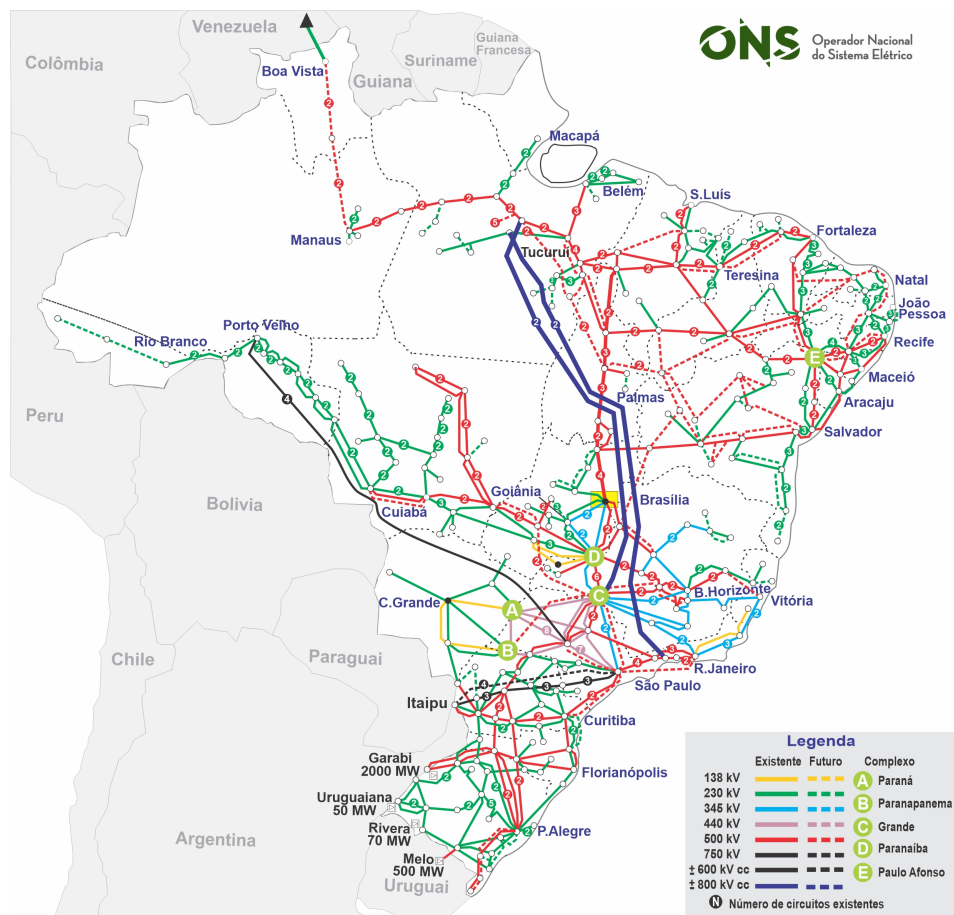
2.2 SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O sistema de transmissão de energia consiste no transporte de energia elétrica entre distâncias, o sistema brasileiro é interligado, assim pode gerar energia em estados específicos, com maior capacidade para produção de energia, e escoar para todo o país. O sistema de transmissão é composto por linhas de transmissão e subestações de transformação [13]. A interconexão pelo Sistema interligado Nacional - SIN permite a transferência de energia por subsistemas. A integração entre a geração e transmissão permite o atendimento das demandas na maior parte dos estados brasileiros. Pela regulação as instalações da transmissão são classificadas como instalações integrantes da Rede Básica. Os critérios de composição da Rede Básica e Demais Instalações de Transmissão - DIT, estão na Resolução Normativa da ANEEL, de junho de 2004 [14].

A Rede Básica é composta por linhas de transmissão, barramentos, transformadores de potência, equipamentos que integram a subestação com tensão igual ou maior a 230 kV, transformadores de potência com tensão primária igual ou maior a 230 kV e tensões secundárias e terciária menor que 230 kV e suas conexões [14]. Não faz parte da Rede Básica os equipamentos de uso exclusivo de centrais de geração ou consumidores livres [14]. O ONS possui alguns sistemas e modelos computacionais que dão suporte as atividades dos procedimentos de redes [15].

Em 2020, a extensão da rede básica de transmissão era de 145.600 km, em que o sistema possui a maior parte de energia elétrica transmitida em Corrente Alternada - CA, e uma parte menor em Corrente Contínua - CC [5]. A figura 2.4 ilustra o mapa do sistema de transmissão do Brasil.

Figura 2.4: Mapa do sistema de transmissão elétrica do Brasil



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, [16]

Atualmente, no sistema de transmissão do Brasil há dois bipolos ± 800 kV HVDC, sendo a maior tensão transmitida no país. As linhas que transmitem em Corrente Contínua são muito vantajosas quando a usina está distante do centro de carga. A transmissão em CC tem menos custos para grandes distâncias que a em Corrente Alternada, pois reduz as perdas e diminui os custos [17]. A transmissão em CC precisa somente de dois conjuntos de cabos para o polo negativo e o polo positivo. Em CC pode-se utilizar somente um polo, utilizando o Eletroduto de Terra como retorno sem ter prejuízos ao seu funcionamento.

Na transmissão em CC não é necessário subestações intermediárias ao longo da LT e possui somente duas, uma em cada extremidade. Em distâncias maiores que 1000 quilômetros é mais vantajoso a utilização das LTs em CC. As dificuldades encontradas nessa forma de transmissão é na transformação de CA em CC, do geradores para a linha e depois de CC para CA no centro de carga.

A transmissão em CA é mais vantajosa em curtas distâncias, pois necessitam de subestações intermediárias. Esse tipo de LT precisa de três conjuntos de cabos para a transmissão, pois é um sistema trifásico e não necessita de conversores, pois transmite em CA que é utilizado também na

rede distribuição.

2.2.1 Regulação da transmissão

Como todo o setor elétrico, a transmissão é regulada de acordo com as diretrizes da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. O órgão regulador tem função relacionada aos serviços prestados e instalações do sistema de transmissão, além de assegurar que seja um setor interessante para os investidores mantendo as tarifas acessíveis. O órgão tem autoridade para realizar fiscalizações e multar as empresas que atuam na área [9].

Para realizar as atividades do setor da transmissão de energia elétrica é necessário obter concessão, por meio de leilões realizado pelo órgão regulador. A ANEEL tem competência para realizar os leilões, a partir das diretrizes permitidas pela Ministério de Minas e Energia - MME [18]. Contratos de concessões são assinados entre as partes envolvidas e possui diversas cláusulas para garantir que a empresa manterá a operação e manutenção, após a construção realizada pela mesma, da rede de transmissão. A receita dessas empresas que prestam serviços de transmissão está diretamente relacionada com os desligamentos, quanto menos desligamentos, melhor será a receita [11].

As concessionárias de transmissão de energia recebem a Receita Anual Permitida - RAP pelos serviços prestados. Para concessionárias licitadas, a RAP é pago de acordo com o valor do leilão e quando o sistema de transmissão entra em operação, em 5 ou 4 anos as condições dos contratos são revisadas. Em caso de renovação o cálculo da RAP é embasado nos custos de manutenção e operação. Quando é necessário reforço é adicionado um valor na RAP [19].

No mesmo período da revisão do RAP é realizado o ajuste de Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão – TUST, Resolução Normativa ANEEL - REN nº 559/2013. Essa tarifa é o valor dos serviços prestados pelas empresas do setor de transmissão. Ela é subdividida em duas: TUST-RB e TUST-FR, a primeira é em relação a todas as instalações da Rede Básica e a segunda relacionada as Demais Instalações de Transmissão - DITs que são compartilhadas com empresas do setor da distribuição. As distribuidoras cotistas que remuneram as transmissoras de uso exclusivo da usina Itaipu Binacional são denominadas como Tarifa de Transporte de Itaipu. Para Rede básica de importação e exportação é utilizado um cálculo diferente de tarifas [9].

Normalmente, os Contratos de Concessão, entre a ANEEL e a concessionária possuem duração de 30 anos. Entre o ONS e a concessionária de transmissão é assinado o Contrato de Prestação do Serviço de Transmissão - CPST, que consta as condições comerciais e técnicas. No contrato as transmissoras se responsabilizam em assegurar a operação e manutenção, e também é acordado a respeito da RAP e os descontos caso o serviço esteja indisponível [20].

3 DESLIGAMENTOS NA TRANSMISSÃO

Os desligamentos na transmissão de energia elétrica podem ocorrer por diversas causas como: descargas atmosféricas, vegetação, pássaros, incêndios, equipamentos, falha humana e outros problemas que podem provocar o desligamento da rede por alguns milissegundos ou provocar corte de carga, podendo causar até a penalização na receita da concessionária de transmissão de energia e fiscalização da ANEEL.

O SIN possui uma longa extensão e isso o torna vulnerável, visto que as linhas de transmissão são totalmente expostas a fatores externos. Os desligamentos não programados podem gerar interrupções no fornecimento de energia elétrica e deixar cidades ou estados inteiros sem eletricidade, esses acontecimentos são conhecidos como apagões. As perturbações que causam os desligamentos influenciam negativamente diversos setores da economia.

Para evitar as perdas que são causadas pelas perturbações nas LTs, investe-se em prevenções, para garantir a eficiência no transporte de energia elétrica pelo país. As descargas atmosféricas são as principais causadoras de desligamentos no sistema de transmissão, nos projetos das LTs elas são consideradas e inclui-se equipamentos para preveni-las, mas não é completamente efetivo[21]. Nas épocas de seca do país tem-se queimadas nos estados brasileiros e quando ocorre muito próximo das faixas de servidão podem ocasionar perturbações, é um problema recorrente no Brasil.

A vegetação próxima das LTs também pode desencadear desligamentos. Outra causa pode ser proveniente dos próprios equipamentos da instalação, que pode apresentar defeitos ao decorrer dos anos ou já vir defeituoso de fábrica. Esses são alguns dos problemas enfrentados pelas concessionárias de transmissão, que serão abordados melhor no decorrer do capítulo. Medidas de prevenção de desligamentos forçados, devem ser realizadas pelas concessionárias de transmissão para garantir melhor desempenho.

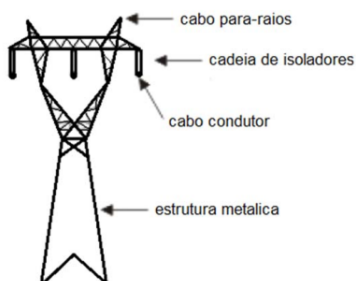
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão podem ser aéreas, subterrâneas e subaquáticas, são formadas por cabos, condutores e isoladores. As linhas são aéreas quando suspensas e conectadas a torres e subterrâneas se as linhas estão abaixo do nível do solo. A maior parte das LTs existentes no Brasil são aéreas, visto que o custo é menor do que das linhas subterrâneas, utilizadas em casos específicos. Apesar de menos utilizadas, as linhas subterrâneas e subaquáticas possibilitam a viabilidade da execução de projetos complexos e também possuem um isolamento do meio externo eficiente, com menos perturbações [21].

Os princípios básicos para projetos de linhas de transmissão aéreas são determinados pela NBR 5422 da ABNT. Essa NBR contém todas as normas que as concessionárias e fabricantes

do setor da transmissão devem seguir. Os cabos metálicos são suspensos por torres metálicas, o circuito é trifásico, possuindo três conjuntos de cabos, cabo para-raios e isoladores, que são definidos como componentes de uma linha de transmissão [21]. O croqui dos componentes de uma linha de transmissão pode ser observada na figura 3.1.

Figura 3.1: Croqui de componentes de uma linha de transmissão



Fonte: André Viola Barreto, 2016

A figura 3.1 corresponde a uma estrutura suporte com Circuito Simples - CS , possui somente um circuito, mas pode ser Circuito Duplo. A estrutura de torre da figura é do tipo autoportante, mas tem-se outros tipos de estrutura disponíveis. Os cabos que conduzem a energia elétrica são os componentes ativos da linha de transmissão. Os condutores devem ter elevada condutibilidade, resistência mecânica, peso específico baixo, elevada resistência à oxidação e agentes externos que causam corrosão e um baixo custo. Os cabos que usualmente são utilizados são compostos por alumínio e aço na parte interior. Os cabos condutores são separados pelos isoladores, que também devem ter uma elevada tolerância a sobretensões [21].

3.2 PERTURBAÇÕES NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN

As perturbações no SIN podem afetar a segurança operacional do sistema, resultando em desligamentos com corte de carga, este pode resultar em descontinuidade no fornecimento de energia elétrica. Para assegurar o funcionamento correto do sistema operacional, o ONS atua juntamente com as concessionárias de transmissão e ANEEL na identificação dos problemas causadores de perturbações, assim os agentes podem realizar melhorias e correções nas instalações, de acordo com os Procedimentos de Rede. O objetivo principal é garantir maior eficiência na transmissão de energia elétrica com redução na quantidade de perturbações [21].

É considerado uma perturbação as seguintes ocorrências: quando tem-se um desligamento forçado em um ou mais componentes da rede de transmissão que danifique algum equipamento; os limites de operação sejam violados, provoque corte de carga e desligue outro equipamento no sistema. As anormalidades na operação do sistema de transmissão são consideradas ocorrências na rede, que podem ser consideradas perturbações ou não, mas quando há uma perturbação

necessariamente tem-se uma ocorrência [22].

O ONS atua detectando as perturbações no SIN, registrando em sistemas, em tempo real, as informações iniciais. Para selecionar as ocorrências a serem analisadas o Operador Nacional do Sistema Elétrico realiza o confronto das atuações, em tempo real, executadas pelos agentes, com base nos procedimentos detalhados nos programas de operação e documentos normativos do MPO. É realizada a triagem de ocorrência e perturbações para posterior análise se houver necessidade. As perturbações devem passar por análises que geram o Relatório Análise de Perturbação - RAP, detalhadas no Submódulo 6.3 dos Procedimentos de Redes - Análise de Perturbações do ONS, nas situações descritas abaixo [22]:

1. Em caso de solicitação pelo órgão regulador e fiscalizador ANEEL;
2. Em caso de solicitação pelo ONS e agentes operadores, em situações que envolve a Rede de Operação, considerado um desligamento forçado, notado qualquer condição abaixo: (a) falha nos componentes ou anormalidade que necessitem medidas do ONS e ou agentes de operação na Rede de Operação; (b) Em algumas das regiões geográficas, interrupções de carga e demanda, com severidade da perturbação com $(SM) \geq 1$, de acordo com o Submódulo 9.1 e ou nos equipamentos dos agentes de operação que tem-se algum dano;(c) Quando é necessário aprofundar as análises para elaborar o do Relatório de Ocorrência - RO.

De acordo com o Submódulo 6.2 dos Procedimentos de redes o RO necessita ser elaborado se for detectado os eventos abaixo:

(1) desligamento forçado acidental na Rede de Operação, provocado por ação humana das equipes de operação ou de manutenção de instalações; (2) falha humana na execução das atividades em tempo real dos centros de operação do ONS ou dos agentes de operação ou na operação e manutenção de instalações da Rede de Operação; (3) anormalidade no processo de recomposição após perturbação que não se enquadra nos critérios para elaboração de Relatório de Análise de Perturbação (RAP); (4) anormalidade em equipamento ou componente associado que possa provocar dificuldade na recomposição da Rede de Operação ou colocar em risco a segurança do SIN; (5) inconsistência ou insuficiência de informação nos programas diários ou nos documentos normativos que resultem em dificuldade ou impossibilidade de cumprimento de recomendações, diretrizes, procedimentos ou limites operativos e que demandem providências corretivas; ou (6) falha nos recursos de suporte à operação que implique risco potencial para a operação do SIN [22].

Durante a realização do Relatório de Análise de Ocorrência - RO se observar a necessidade de análise com maior detalhamento, encerra-se a elaboração do RO para iniciar a elaboração do Relatório de Análise de Perturbação - RAP ou Relatório de Análise da Operação - RAO. De

acordo com o Submódulo 6.2 dos Procedimentos de Redes. Para que uma ocorrência precise da elaboração de um RAP devem ser detectado os seguintes eventos:

1) eventos operativos indesejáveis que, por causar dificuldades no controle de tensão, de frequência, de carregamento e dos limites sistêmicos, colocam em risco a segurança operacional do SIN ou a integridade de equipamentos e linhas de transmissão; (2) desempenhos insatisfatórios das equipes de operação ou de manutenção de instalações ou dos recursos de suporte à operação que tenham colocado em risco a segurança operacional do SIN ou a integridade de equipamentos e linhas de transmissão; (3) um conjunto de eventos indesejáveis ou desempenhos insatisfatórios com alto índice de reincidência, cuja análise tenha sido solicitada por um agente de operação ou seja de interesse do ONS [22].

As ocorrências são tratadas imediatamente pelo ONS, considerando suas características específicas são avaliadas suas particularidades. As de menor gravidade e menor probabilidade de ocorrer novamente e que também não estão nos critérios necessários para a realização de Relatórios de Análises são armazenadas em sistema computacional próprio com suas devidas classificações. Os agentes de operação e ANEEL tem acesso ao Relatório de Acompanhamento Mensal de Triagem de Ocorrências e Perturbações no sistema. Os agentes de operação são comunicados no começo da realização do RO, a minuta também é disponibilizada para eles. Ao visualizar a minuta podem realizar comentários para o ONS com as medidas tomadas e as que estão em andamento, com os prazos para finalização, o RO é finalizado ao encerrar o prazo dos comentários. A versão final é encaminhada a ANEEL, o MME e as partes envolvidas [22].

Na triagem ou na elaboração da RO pode ser indicado a realização do Relatório de Análise de Operação - RAO. Em um sistema operacional específico é requisitado pelo ONS aos agentes de operação dados para realizar a consistência da perturbação. Os dados são: descrições dos desligamentos, o seu tipo que pode ser automático ou manual, causa, origem, o tipo de defeito podendo ser elétrico ou mecânico, as fases que fizeram parte, a localização que ocorreu a falta, os Sistemas Especiais de Proteção - SEP, as tentativas de reestabelecimento sem êxito, o tempo que foi eliminado o defeito, modelo dos relés, o motivo de atuações acidentais, causa de erros e recusa de atuação do SEP, também para as tentativas de reestabelecer sem sucesso, caso tenha Religamento Automático o seu desempenho, o terminal líder, motivo de falhas e desempenho ruins, informar anormalidades e medidas que foram tomadas ou estão em andamento, propor prazo para finalizar as medidas e informações complementares [22].

3.3 PERTURBAÇÕES RELACIONADAS A DESLIGAMENTOS NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão são muito extensas e um considerável número de perturbações no SIN são causadas pelos desligamentos no sistema de transmissão. O desligamento forçado de um ou mais componentes do SIN pode ser considerado uma perturbação, como já mencionado acima. A abertura de componentes de elementos que interligam os circuitos de potência, causando uma descontinuidade elétrica é definido como desligamento. Há dois tipos de desligamentos, o forçado e o programado. Os desligamentos forçados ocorrem de maneira imposta, para impedir acidentes, ou dados ao ambiente e equipamentos [21]. Os desligamentos programados são interrupções programadas com antecedência, conforme o Submódulo 6.5 do Procedimentos de redes [22]. O sistema de potência pode atuar de forma a causar um desligamento automático, quando é realizado um desligamento manual o objetivo é impedir risco a pessoas e danos a equipamentos e é definido como desligamento de emergência [21].

Para a classificação da natureza dos desligamentos, tem-se fugitivos e permanentes. Os desligamentos fugitivos se dão quando a retirada do componente do sistema não ocorre de maneira programada, pode ocorrer de forma automática ou não, e sem precisar de reparo o retorno é realizado automaticamente ou em breve ao executar manobras. No entanto, os desligamentos de natureza permanente, há a necessidade de medidas de reparo e correção para o restabelecimento do componente ao sistema [21].

Os desligamentos também podem ser classificados pela origem interna, secundária, operacional e externa. Quando ocorre um desligamento referente as partes principais do componente, normalmente energizadas, a origem pode ser definida como interna. Quando a causa não está diretamente naquele componente, mas em equipamentos secundários ou auxiliares é considerado origem secundária. Em desligamentos relacionados aos problemas operacionais, define-se a origem como operacional e os casos que a proteção atua corretamente devido a problemas externos são classificados de origem externa [21].

Os desligamentos forçados são disponibilizados diariamente, semanalmente e mensalmente pelo ONS em sistemas específicos do site, como o Sistema Integrado de Cadastramento de Perturbações - SIPER e mensalmente são enviados os dados de desligamentos forçados no sistema de transmissão para a ANEEL.

3.4 DESLIGAMENTOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas podem provocar desligamentos ao incidir de forma direta nos cabos energizados e ao incidir nos cabos de blindagem. Quando o raio provoca a ruptura dos isoladores e ocasiona o curto-circuito, formando um arco elétrico, denomina-se como flashover. Esse fenômeno ocorre quando a incidência da descarga se dá pela falta do cabo guarda ou quando o

mesmo não atua da forma esperada, realizando a proteção. Isso faz com que tenha uma alta onda de sobretensão na linha, podendo ser entre fase e terra ou condutores e torre. As sobretensões são ondas que se sobrepõem a onda nominal da rede com variações entre centenas de kHz chegando a poucos MHz. A impedância do surto idealizada aproximada da LT, pode ser descrita pela equação (3.1) [23]:

$$Z_S \cong \sqrt{L/C} \quad (3.1)$$

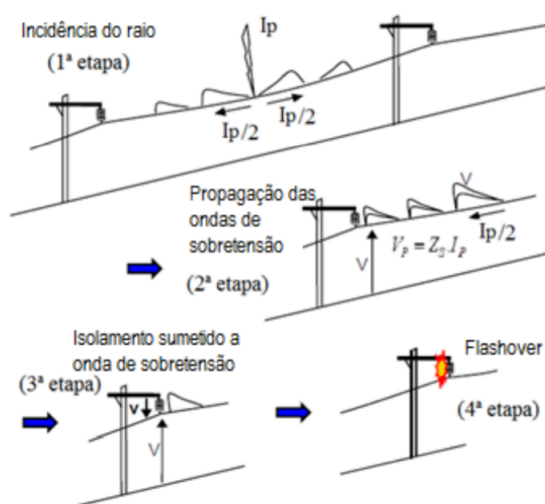
Com L sendo a indutância e C a capacitância por unidade de comprimento de linha.

Pode-se exemplificar para melhorar a compreensão com a incidência direta de uma descarga atmosférica sobre uma linha monofásica pode-se assumir que a corrente de retorno irá se dividir aproximadamente igual em cada lado da linha. Logo, a cada onda de corrente, tem-se uma sobretensão que sua amplitude é o produto da impedância de surto com o valor de pico da corrente, como na equação (3.2) [23].

$$V_p = Z_S \cdot I_p \quad (3.2)$$

Pode-se exemplificar com a imagem 3.2 como ocorre. Na primeira etapa tem-se a descarga incidindo na linha e na segunda etapa a propagação da onda de sobretensão na linha. Na terceira etapa no momento em que as ondas de tensão e corrente que estão transitando pelas linhas chegam na primeira estrutura que está aterrada, o isolamento que realiza a separação do condutor energizado da estrutura fica sob domínio desta sobretensão. Na quarta etapa, em consequência do valor alto da sobretensão, esta pode provocar o rompimento do isolamento, ocasionando o arco elétrico [23].

Figura 3.2: Flashover

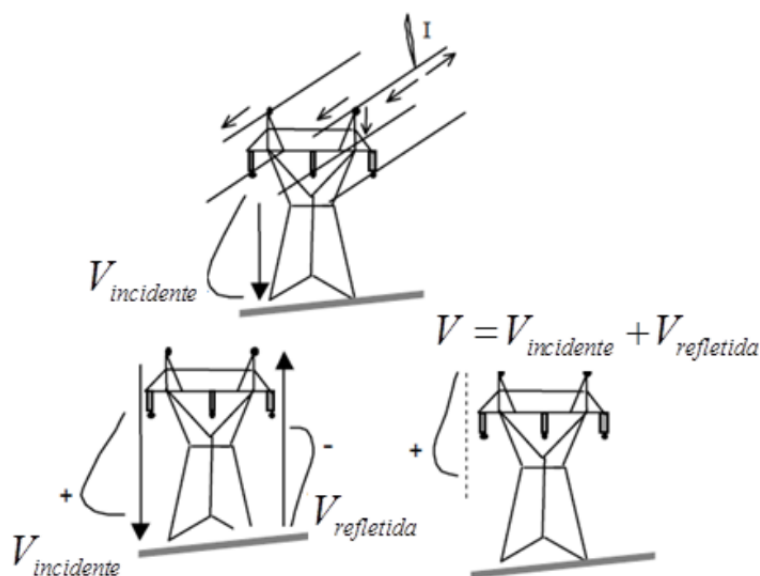


Fonte: Thiago de Andrade Saldanha, [23]

O arco elétrico permanece, uma vez que a tensão da linha o conserva. Quando o arco elétrico se forma o valor da impedância em seu caminho é reduzido, gerando um curto-circuito. A corrente de baixa frequência começa a ir pelo arco para o solo, isso é muito destrutivo para o sistema, visto que após um período o fluxo da corrente de curto-circuito pelo arco sensibilizam os relés de proteção, provocando o desligamento da LT [23].

Outro fenômeno que ocorre quando há a incidência diretamente de raios nas LTs é o Backflashover. Este normalmente ocorre quando há incidência do raio nos cabos de guarda ou blindagem. Estes cabos são postos sobre as fases da linha, para impedir a descarga atmosférica sobre a fase. Ao um raio atingir a LT, uma parte da corrente relacionada a descarga flui pelas estruturas da torre que suspendem as LTs. Os cabos de blindagem são ligados a terra, no momento que a corrente alcança a primeira estrutura aterrada a maior parte da corrente desce em direção ao solo e a outra parte continua fluindo pelos cabos de blindagem, a onda vai para o solo por meio das estruturas da torre, onde a impedância do surto é maior que a impedância de aterramento. De modo que, quando a onda da corrente chega ao solo, pela descontinuidade das impedâncias de cada meio, há uma reflexão da onda de sobretensão pela mudança do meio propagação, ocasionando o retorno da sobretensão para a estrutura, provocando uma superposição de ondas da tensão que incide e reflete na cadeia de isoladores [23]. Na figura 3.3 pode-se observar a evolução da onda de tensão em um período de tempo para o Backflashover.

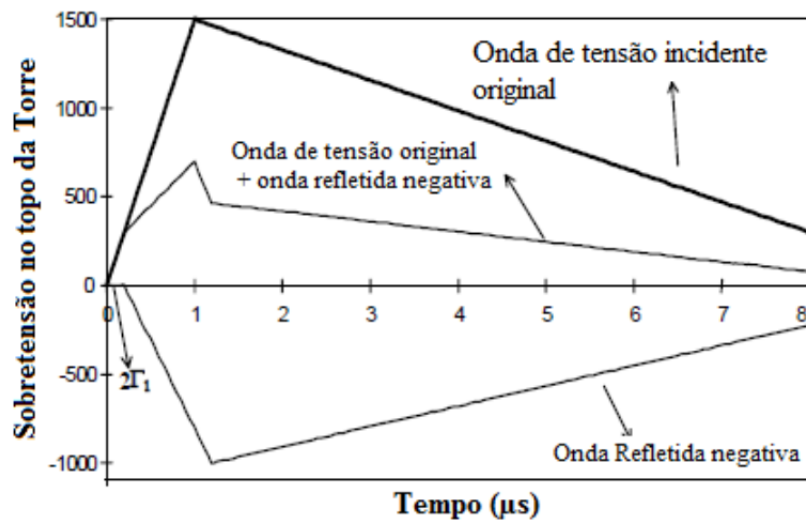
Figura 3.3: backflashover



Fonte: Thiago de Andrade Saldanha, [23]

Pode ser observado na figura 3.4 as formas de onda de sobretensão incidentes e refletidas para o ponto mais alto da torre.

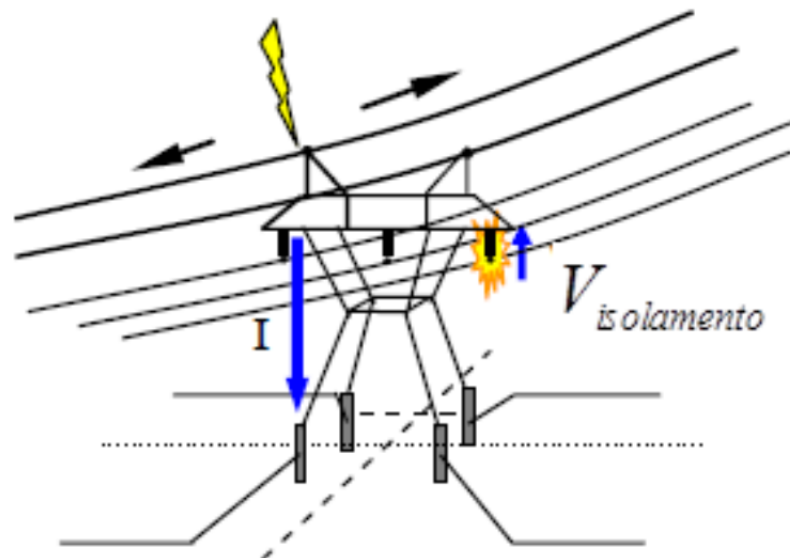
Figura 3.4: Ondas da sobretensão no topo da torre



Fonte: Thiago de Andrade Saldanha, [23]

Logo, de acordo com a figura 3.4 quando uma onda de sobretensão se torna maior que o nível de isolamento, se forma um arco elétrico, que depende também da reflexão na base da torre, que pode ser observado na figura 3.5 [23]

Figura 3.5: Descarga atmosférica provocando falha nos isoladores - Blackflashover



Fonte:Thiago de Andrade Saldanha, [23]

3.4.1 Influências dos desligamentos forçados nas linhas de transmissão na receita das concessionárias de transmissão

A não disponibilidade do sistema de transmissão pode causar descontos na receita das concessionárias de transmissão. A Receita Anual Permitida - RAP é a remuneração dos investimentos realizados pelas transmissoras, manutenção e operação. Pagamento Base - PB é a receita mensal das concessionárias em duodécimos da RAP e está relacionada a disponibilidade das instalações do sistema de transmissão. O desconto referente a Parcela Variável tem como principal objetivo manter a qualidade do funcionamento do sistema de transmissão, e é descontado na receita baseada no desempenho de operação, desligamentos durante um intervalo de 12 meses [24].

Tem-se os seguintes tipos de parcelas variáveis: Parcela Variável por Indisponibilidade - PVI, que está relacionada a indisponibilidade de transmitir, sendo ele programado ou não programado, aplicando um fator de até 10 vezes se for programado e de até 150 vezes quando não programada deduzida do PB; Parcela Variável por Restrição Operativa Temporária - PVRO, que se dá por restrições operativas temporárias na Função de Transmissão - FT deduzida do PB; A Parcela Variável devido à utilização de equipamento reserva, interrompe a PB durante o tempo da utilização da unidade reserva; e o atraso na entrada em operação de uma Função Transmissão. Para incentivar um bom desempenho na FT das concessionárias de transmissão de energia, tem-se um valor adicional RAP, que poderá ser recebido quando o desempenho for maior em relação aos desligamentos previstos [24].

3.4.2 Ações fiscalizatórias da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL referentes aos desligamentos forçados na transmissão

A Superintendência de Fiscalização de Eletricidade - SFE da ANEEL, possui três coordenações para transmissão a Coordenação de Monitoramento da Transmissão e Distribuição - CMO, Coordenação de Análises da Transmissão - CAT e a Coordenação de Fiscalização da Transmissão - CFT, especificamente a Coordenação de Análises de Transmissão - CAT, realiza as análises e procedimentos necessários para as tomadas de decisões em relação a fiscalização nas concessionárias de transmissão de energia elétrica. A coordenações tem acesso ao SIPER, podendo consultar as perturbações que ocorreram diariamente e mensalmente recebem dados do ONS. Grande parte dos dados recebidos do ONS não estão consistidos, ou seja, estão com informações pendentes. O CAT utiliza esses dados para analisá-los mais detalhadamente.

Figura 3.6: Ciclo de atividades da fiscalização



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2018

Pela figura 3.6 é possível observar como ocorre o processo fiscalizatório na SFE.

No procedimento são contabilizados e analisados os desligamentos detectados em cada LT ou equipamento daquela concessionária de transmissão. Contabiliza-se somente os desligamentos de origem interna, secundária e não consistidas, retirando de origem externa e operacional. Com objetivo de obter um melhor desempenho por parte das concessionárias de transmissão. Assim, pode-se encontrar falhas e corrigi-las para antecipar problemas de operação do sistema e também por parte da ANEEL a solicitação de melhorias específicas. As informações coletadas também podem ser utilizadas para estabelecer uma estratégia para as atividades de fiscalização [25].

Com base nos critérios definidos pelo SFE é solicitado a concessionária a apresentação de um plano de resultados para os sistemas indicadas e um Diagnóstico dos motivos dos desligamento em um determinado período, a janela de tempo é de 12 meses passados. Os critérios abaixo utilizados foram do período de análise de 1º de julho de 2018 à 30 de junho de 2019 [25]:

1. Para Linhas de Transmissão:

- Com dez ou mais desligamentos durante o período de avaliação;
- Com cinco ou mais desligamentos forçados e corte de carga maior do que zero durante o período de avaliação;
- Classificadas como L2 e com oito ou mais desligamentos;
- Classificadas como L1 e com sete ou mais desligamentos;

2. Para Subestações:

- Com dez ou mais desligamentos forçados durante o período de avaliação;
- Com cinco ou mais desligamentos e corte de carga maior do que zero.
- Classificadas como E3 e tiveram nove ou mais desligamentos;

- Classificadas como E2 e tiveram oito ou mais desligamentos;
- Classificadas como E1 e tiveram sete ou mais desligamentos;

3. Critério Específico:

- Nesse período avaliado em específico, todos os desligamentos relacionados com o sistema de transmissão de corrente contínua associado às Usinas no Rio Madeira;

4. Elevada duração da interrupção:

- Nesse período avaliado em específico, todos os desligamentos que tiveram tempo de duração, superior ao tempo médio, adicionado de dois desvios-padrões. Foi selecionado todos os desligamentos em que o tempo de retorno foi superior a 353 minutos.

Os critérios abaixo utilizados foram do período de análise de 1º de julho de 2019 à 30 de junho de 2020 [25]:

1. Para Linhas de Transmissão:

- Com dez ou mais desligamentos durante o período de avaliação;
- Com cinco ou mais desligamentos forçados e corte de carga maior do que zero durante o período de avaliação;
- Classificadas como L2 e com oito ou mais desligamentos;
- Classificadas como L1 e com sete ou mais desligamentos;

2. Para Subestações:

- Com dez ou mais desligamentos forçados durante o período de avaliação;
- Com cinco ou mais desligamentos e corte de carga maior do que zero.
- Classificadas como E3 e tiveram nove ou mais desligamentos;
- Classificadas como E2 e tiveram oito ou mais desligamentos;
- Classificadas como E1 e tiveram sete ou mais desligamentos;

3. Critério Específico:

- Nesse período avaliado em específico, todos os desligamentos relacionados com o sistema de transmissão em CC (HVDC) relacionado às Usinas da região Norte;

As classificações L1, L2 e L3 de LTs e E1, E2 e E3 de subestações, que são citadas nos critérios utilizados pela ANEEL, são algumas instalações do SIN que são denominadas pelo ONS como estratégicas pelo efeito dos seus desligamentos na rede. As definições das classificações e lista de subestações e LTs estão conforme classificação indicada no Submódulo 10.18 dos Procedimentos de Rede (CD-CT.BR.01 – Revisão 5).

O modelo de plano de resultados encontra-se disponível no site da ANEEL, pode ser observado na figura 3.7. O modelo do Diagnóstico também se encontra disponível no site.

Figura 3.7: Modelo de Plano de Resultados

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA		Plano de Resultados		
		Concessões de Transmissão		
Concessionária:	Espaço reservado para o nome do agente	Numeração feita pela ANEEL/SFE		
Responsável pelo plano:	Indicar representante da empresa para assuntos relacionados ao plano	Identificador do Equipamento		
Contatos:	Fornecer no mínimo telefone e e-mail.			
Caracterização do(s) Problema(s)				
Neste ponto o agente deve evidenciar padrões de problemas a se evitar assim como o local. O problema deve ser no equipamento, instalação, causa ou processo como um todo.				
Nº da Ação	Abrangência	Horizonte da Ação	Etapas de Execução de ações de curto, médio e longo prazo	Data Conclusão
	Toda empresa	Curto Prazo	Neste ponto o agente deve itemizar todas as ações e colocar prazos de conclusão conforme as ações sejam de curto, médio e longo prazo, inclusive pode ser sugerido marcos intermediários para as ações	Aqui o agente deve preencher com a data (dd/mm/aaaa) prevista para conclusão, passível de ser acompanhada pela ANEEL
	Família de equipamento	Realizada	Espera-se ações diferentes da rotina da empresa a fim de obter melhor desempenho para o equipamento referenciado.	
Forma de Medição (Publicidade)				
Nº da Ação	Neste ponto, e com o vínculo das ações anteriores, o agente deve apontar a forma que a ANEEL poderá acompanhar o plano, indicando o produto de publicidade das ações. Deve-se indicar evidências materiais.			
Resultados Esperados		Reduzir os desligamentos do equipamento para o limite de:		2
O agente deve prever, neste ponto, os resultados esperados. Deve estar aderente com as ações. Os resultados esperados devem conter dados objetivos que permitam aferição futura pela ANEEL. Os resultados não devem possuir condicionantes para serem atendidos. O resultado deve na LT ou SE como um todo. Observar o exemplo na próxima aba desta planilha.				
Observações				

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2019

Os agentes são convocados a comparecer em uma reunião, por meio de ofício, com a Coordenação de Análises da Transmissão da SFE na ANEEL. Os agentes apresentam os diagnósticos encontrados para cada desligamento, explicando as causas e apresentando o plano de resultados para cada LT ou subestação, com as melhorias a serem executadas a curto médio e longo prazo, com as datas e uma meta de redução de desligamentos para os próximos doze meses que serão acompanhados pela coordenação.

A Coordenação de Análises da Transmissão da SFE, se reúne com o Superintendente para analisar as empresas que vão pactuar plano de resultados, e as empresas que vão diretamente para fiscalização, isso depende da coerência dos diagnósticos apresentados pelas concessionárias e o plano de resultados sugeridos. O plano de resultados deve descrever o problema que precisa ser corrigido e a ação a ser executada. As medidas de curto prazo são as que produzem resultados dentro de três meses, as de médio prazo são dentro de seis meses e as de longo prazo dentro de um ano. Os planos são analisados pela SFE para decidir se são aceitáveis [25].

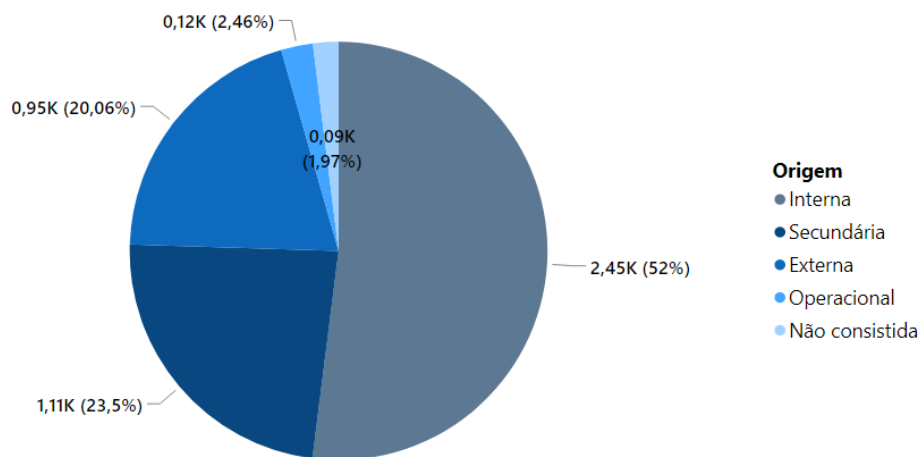
As subestações e LTs que forem pactuadas planos com as referentes empresas responsáveis, serão acompanhadas durante os doze meses seguintes a partir da data da pactuação e os desligamentos que ocorrerem nesse período serão contabilizados. Ao ultrapassar a meta que foi estabelecida, a concessionária receberá um novo ofício para justificar o motivo por terem ultrapassado a meta, nesse momento SFE decide se vão continuar com o acompanhamento ou vão encerrar o plano de resultados e realizar a fiscalização. As LTs e Subestações que estiverem apresentando um ótimo desempenho durante o período de acompanhamento não serão fiscalizadas e terão o

plano de resultados encerrado.

4 ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS FORÇADOS

O período analisado está compreendido entre 1º de julho de 2019 à 30 de junho de 2020. Os dados utilizados são os coletados pela a ANEEL no início do ciclo da análise realizada, podendo ter tido alguma alteração até os dias atuais. No período analisado compreendido entre 1º de julho de 2019 à 30 de junho de 2020, teve-se 4715 registros de desligamentos no total. Que podem ser observados na figura 4.1 a quantidade de desligamentos em relação ao tipo de origem:

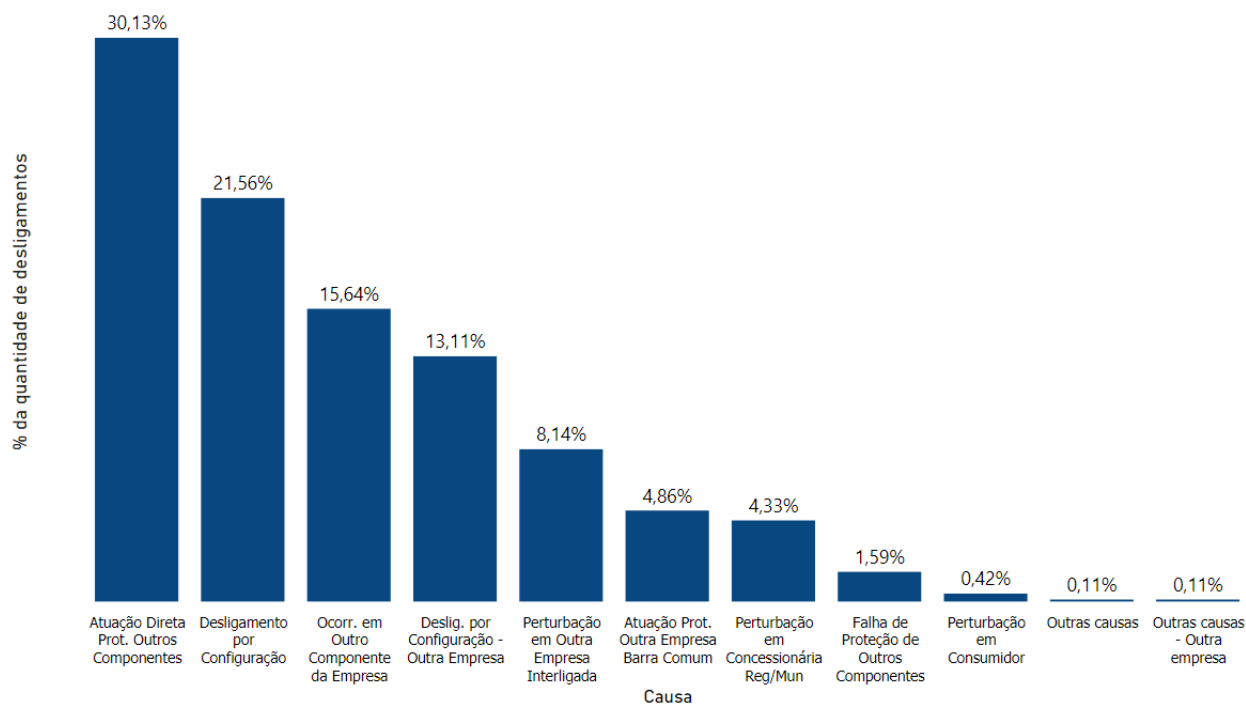
Figura 4.1: Quantidades de desligamentos por origem



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Pode-se observar que a maior parte dos desligamentos são do de origem interna, seguido das secundárias. Pode-se observar na figura 4.2 a porcentagem das causas dos desligamentos externos. É possível observar que as principais causas com maior porcentagem são: por Atuação Direta da Proteção por Outros Componentes com 30,13%, seguido do Desligamento por Configuração com 21,56%, Ocorrência em Outro Componente da Empresa com 15,64% e Desligamento por Configuração - Outra Empresa com 13,11%. As demais apresentam porcentagem abaixo de 10% como pode ser observado.

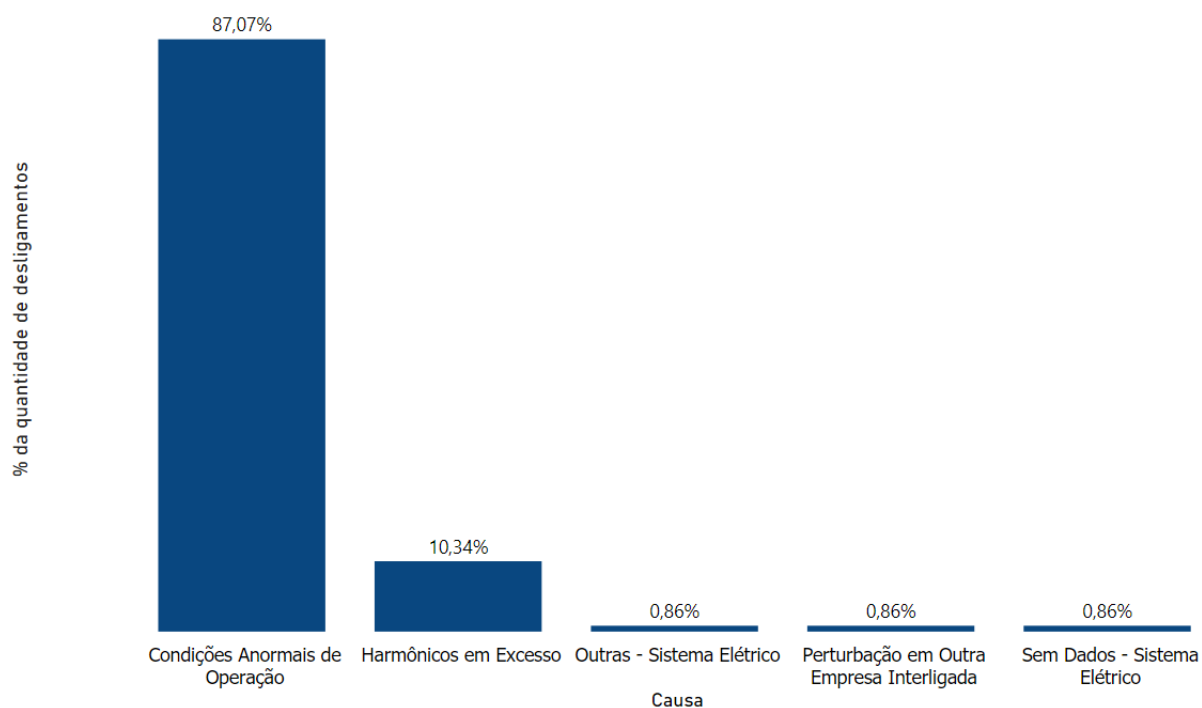
Figura 4.2: Causas em % dos desligamentos de origem externa



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

As causas dos desligamentos de origem operacional podem ser observados na figura 4.3.

Figura 4.3: Causas em % dos desligamentos de origem operacional

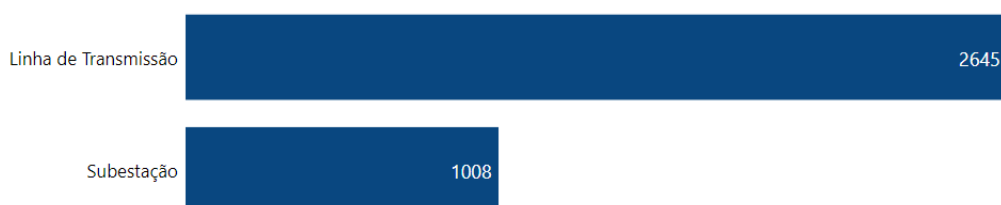


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Nas análises feitas pela ANEEL no processo de fiscalização os desligamentos externos e operacionais são desconsiderados, pois os agentes não possuem responsabilidade por eles. Os desligamentos que não foram consistidos são considerados para fiscalização.

Considerando somente os desligamentos automáticos e manuais, de natureza fugitiva e permanente e de origem interna, secundária e não consistida, pelos dados coletados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, teve-se 3653 desligamentos ocorridos em 756 Linhas de Transmissão e 265 Subestações diferentes no período de análise citado. Na figura 4.4 pode-se observar o número de desligamentos nas LTs e Subestações. E pode-se ver que a maior quantidade está nas LTs.

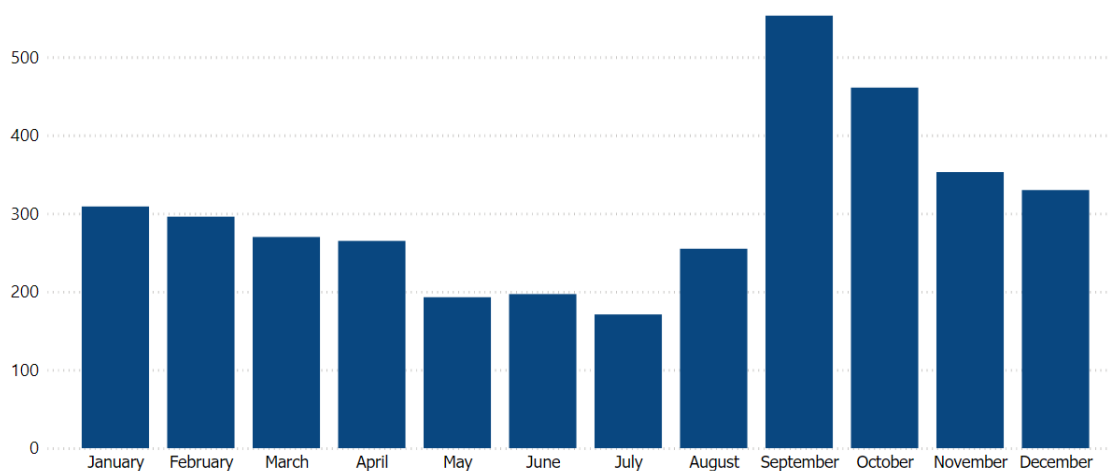
Figura 4.4: Quantidades de desligamentos em LTs e Subestações



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Na figura 4.5 pode-se observar os meses que mais ocorreram desligamentos e o pico está no mês de setembro.

Figura 4.5: Quantidades de desligamentos por mês



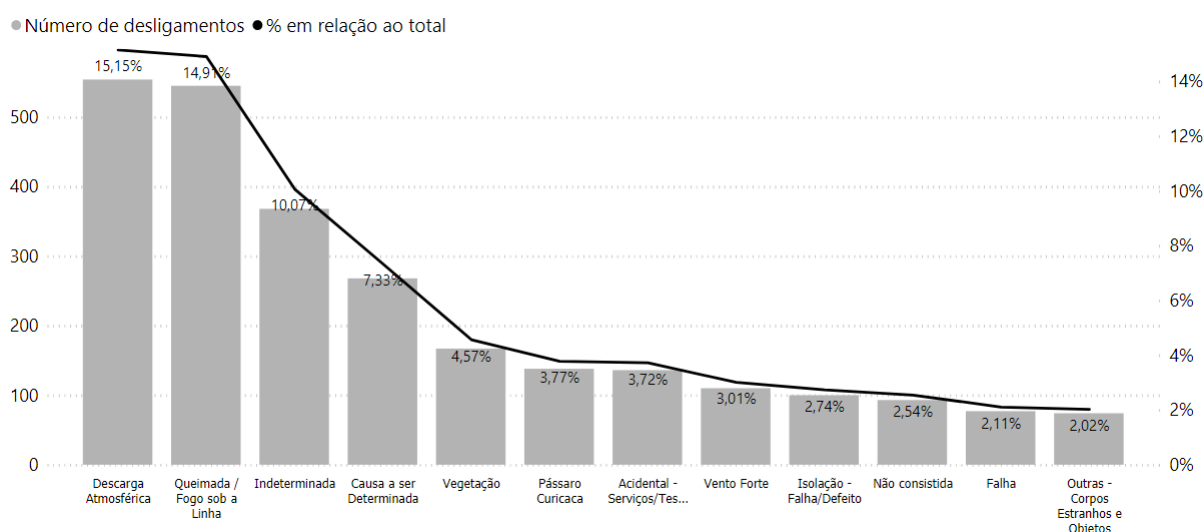
Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

4.1 PRINCIPAIS CAUSAS DE DESLIGAMENTOS NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

A partir dos dados disponibilizados pela ANEEL, pode-se obter o número de desligamentos pela causa informada. É listado noventa e seis tipos de causas, que pode ser vista nos apêndices, mas que uma quantidade maior de desligamentos é concentrada em algumas fatores específicos.

Foram selecionadas as causas que tiveram quantidade de desligamentos, considerados maiores ou iguais a 65, no período analisado. Pode-se observar no gráfico da figura 4.6 que foram 12 causas selecionadas pelo critério imposto.

Figura 4.6: Causas que tiveram maiores números de desligamentos



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Evidencia-se que as descargas atmosféricas, com 554 desligamentos, seguida das queimadas/ fogo sob a linha com 545 são as causas que provocaram mais desligamentos durante o período analisado. Na figura 4.6, pode-se observar as porcentagens de desligamentos. Percebe-se que em relação ao total tem-se aproximadamente 15% concentrado na causa número um e próximo de 15% na causa número dois, indeterminada com 10 %, causa a ser determinada com 7%, vegetação com 5%, pássaro curicaca e acidental - serviços/testes com 4%, as outras causas apresentadas são iguais ou menores a 3% e as causas que não estão na figura representam uma parcela muito pequena.

As indeterminadas são as que os agentes não conseguiram determinar as circunstâncias, e aparecem em terceira colocação, evidenciando que há um grande número de desligamentos sem um motivo aparente, o que gera uma preocupação, pois representam uma grande parcela do número total. As causas a serem determinadas são aquelas que não haviam sido investigadas pelos agentes até o momento que foi consistido. A vegetação também é uma causa comum, devido as linhas normalmente atravessarem áreas rurais. Os não consistidos são os que não foram informados ao

ONS até o momento do envio dos dados a ANEEL.

Isolando um pouco mais as causas, têm-se as que representam as seis com mais desligamentos em relação a porcentagem total, isso isola as causas principais abaixo que juntas representam 55,72%.

Figura 4.7: Porcentagem das causas principais em relação ao número total de desligamentos

Causa	% de desligamentos
Descarga Atmosférica	15,15%
Queimada / Fogo sob a Linha	14,91%
Indeterminada	10,07%
Causa a ser Determinada	7,25%
Vegetação	4,57%
Pássaro Curicaca	3,77%
Total	55,72%

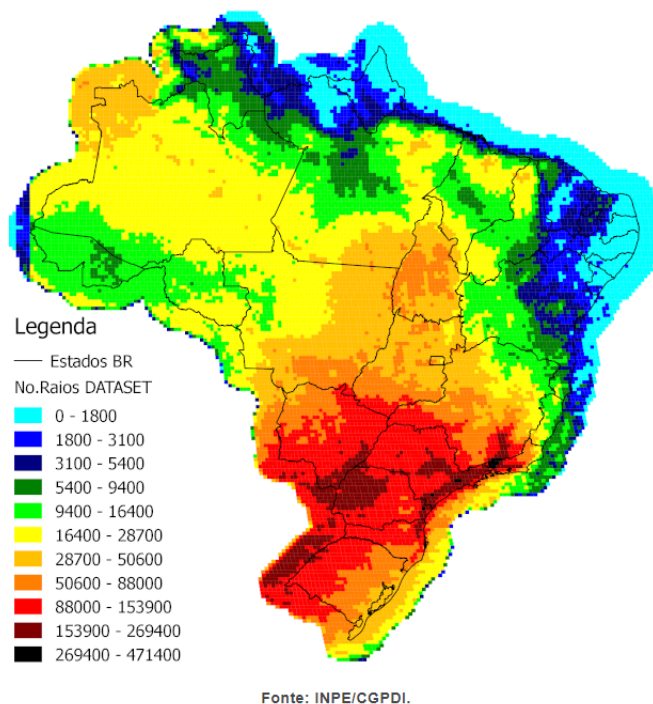
Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Os principais desligamentos serão aprofundados ao longo do capítulo, devido a grande influência no sistema de transmissão do país.

4.1.1 Desligamentos por descargas atmosféricas

Em maio de 2020 segundo o ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica, o Brasil era o país com mais ocorrências de descargas atmosféricas no mundo, totalizando 77,8 milhões de descargas por ano, sendo o causador da maior parte das perturbações no sistema de transmissão, causando um prejuízo de mais de 100 milhões de reais somente no setor elétrico [21]. Na figura 4.8 pode-se observar o mapa de 2018/2019 que indica a quantidade de descargas atmosféricas para o solo por estado no país, percebe-se um alta quantidade nas regiões Sul e Sudeste. Estima-se que as descargas atmosféricas podem ser responsáveis por cerca 70 % dos desligamentos na rede de transmissão no Brasil. E aproximadamente 40% dos transformadores são danificados por raios [26].

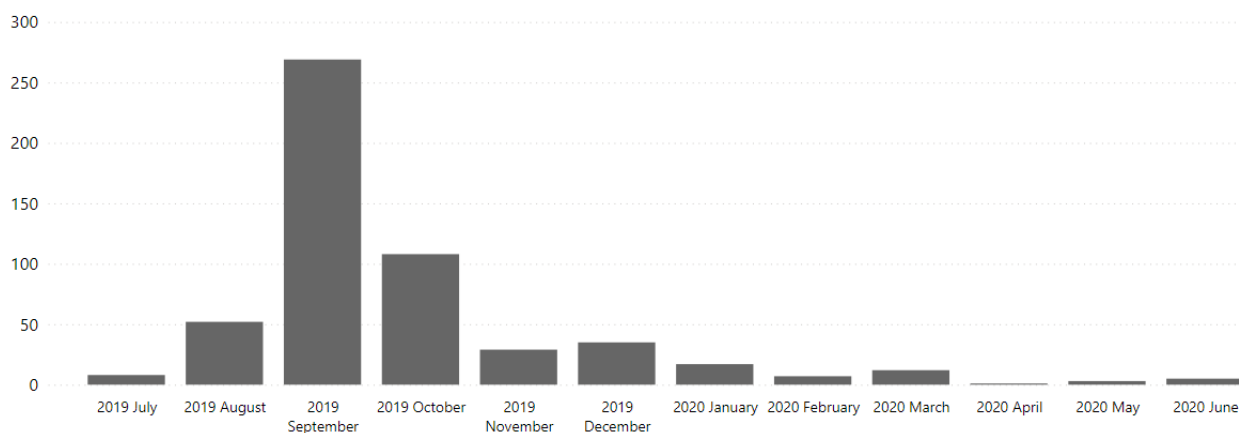
Figura 4.8: Mapa de descargas atmosféricas por estado



4.1.2 Desligamentos por queimadas/ fogo sob linha

As queimadas no Brasil são responsáveis por um considerável número de desligamentos forçados. As queimadas normalmente ocorrem com maior frequência no terceiro trimestre do ano e no início do quarto trimestre, considerado o final da seca nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Com os dados que estão sendo utilizados nesta análise, pode-se observar a tendência de desligamentos por queimadas em relação aos meses do ano.

Figura 4.9: Desligamentos por queimadas nos meses analisados

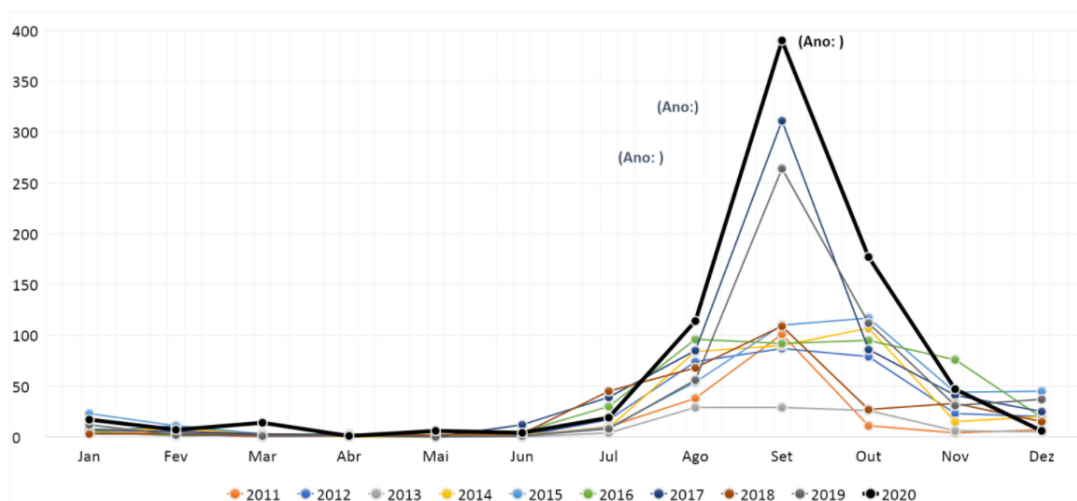


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Pelos dados percebe-se uma tendência de crescimento no número de desligamentos a partir de agosto e um pico muito grande em setembro que é o momento mais crítico da seca, em outubro tem-se uma queda mas ainda é elevado e ao decorrer dos meses seguintes nota-se uma queda. A análise corresponde a Queimada/Fogo sob linha, pois representa uma causa com uma elevada quantidade de desligamentos, mas também podem ser do tipo queimada/fogo sob linha - Fora da Faixa, que provocou quinze desligamentos no período analisado. "A fumaça e a fuligem produzidas reduzem a capacidade de isolamento natural do ar, podendo resultar na abertura de arco elétrico dos cabos condutores para o solo e, conseqüentemente, no desligamento.", de acordo com Geovani Braga gerente de Operações do Setor Oeste da Coelba.

Por meio da estatística de desligamentos do ONS da figura 4.10, é possível observar a sazonalidade deles pela causa de queimadas de 2011 até 2020 por mês e é possível comprovar os dados do ciclo 2019/2020, a tendência de um maior número de desligamentos nos meses que inicia a seca até o fim, é mostrado que a partir de julho há uma tendência ao crescimento, com um pico no mês de setembro e uma grande queda em novembro. É possível constatar um crescente aumento ao longo dos anos, chegando ao maior pico no ano de 2021.

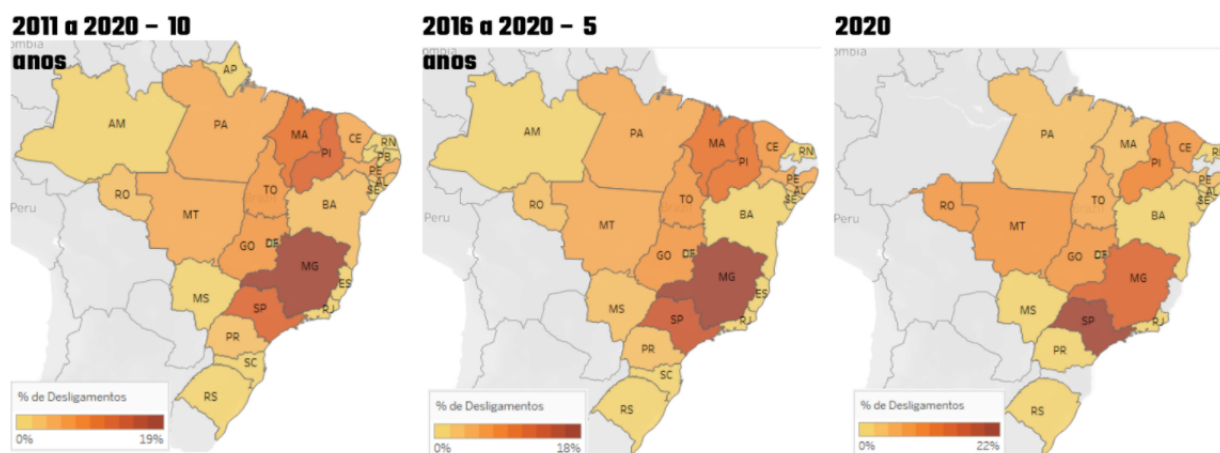
Figura 4.10: Sazonalidade de desligamentos por queimadas



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 2021

Na análise realizada pelo ONS, pode-se observar a distribuição de desligamentos por queimada por estado na figura 4.11, em dez anos no primeiro mapa (2011-2020), de cinco anos (2016-2020) e um ano (2020). Constata-se um maior número de desligamentos nas LTs em São Paulo e Minas Gerais situados na região Sudeste, Maranhão e Piauí na região Nordeste, Goiás na região Centro-Oeste e Tocantins na Região Norte.

Figura 4.11: Desligamentos por queimadas - distribuição por estado (%)



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 2021

4.1.3 Desligamentos por causas Indeterminadas, Causa a ser determinada, Vegetação e Pássaro Curicaca

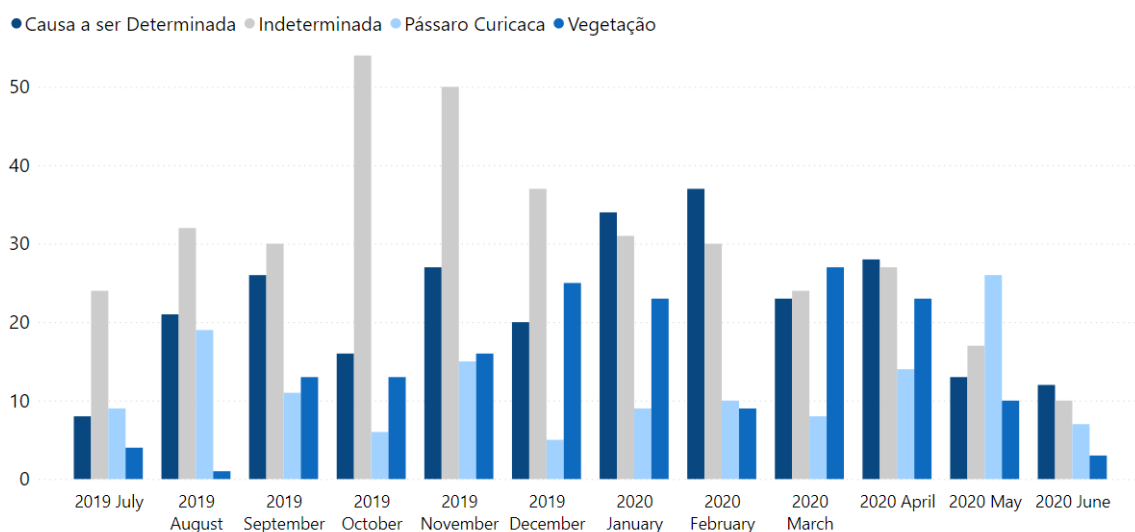
A terceira maior causa de desligamentos nas LTs e Subestações são de causas indeterminadas, o que é um sério problema para os agentes, o ONS e a ANEEL. A caracterização dos desligamentos por causa indeterminadas podem ser feitas por alguns critérios [27]:

- Quando o clima não está tempestuoso e não há evidências de descargas atmosféricas;
- Ao realizar a inspeção em campo não há evidência de alguma causa;
- Quando Religamento automático é realizado com sucesso, considerado 100% fugitivo;
- Uma impedância de falta baixa, que descarta corpos estranhos;
- Quando os defeitos são monofásicos com variações de fases;
- Quando possui maior quantidade de desligamentos no inverno e no período da noite.

A quarta maior causa de desligamentos no Sistema de Transmissão são as causas a serem determinadas, são aquelas cujo agente já consistiu os dados do desligamento, mas necessita de mais tempo para determinar a causa e encontrar indícios para classificá-los, se for encontrado alguma evidência, caso contrário ela é considerada como indeterminada. As quinta causa com mais desligamentos é a por vegetação, normalmente ocorre por vegetação na faixa de servidão, ou muito próxima a ela, ou quando tem ventos fortes podem derrubar árvores. Normalmente as LTs estão em áreas rurais e os agentes são responsáveis por manter as faixas limpas. A sexta maior causa são os pássaros, que se instalam nas torres das LTs, podendo provocar um desligamento,

pelos jatos de excrementos que passam próximos da cadeia de isoladores e cabos condutores ocasionando curto-circuito. Pode-se observar na figura 4.12 causas citadas:

Figura 4.12: Indeterminados, Causa a ser determinada, Vegetação e Pássaros por mês



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

As causas citadas no texto aparecem na figura 4.12, visto que também possuem um número considerável de desligamentos e são problemas recorrentes na grande maioria das transmissoras. As causas a serem determinadas vai crescendo ao longo dos meses, em fevereiro tiveram o maior pico e foi tendo queda até o mês de junho. É possível observar que a indeterminada nesse período teve um pico em Outubro e foi caindo ao decorrer dos meses até atingir o menor número em junho. De pássaros curicaca não tiveram um padrão, mostrando um pico em maio. Por vegetação também não tiveram um padrão, tendo um pico em março.

4.1.4 Tempo de duração do desligamento forçado pela causa

Também é registrado pelo ONS a data e horário do desligamento forçado, a data da entrega e data efetiva do religamento da LT. Com esses dados pode-se ter uma estimativa de quais causas demoram mais tempo para o reestabelecimento. O tempo é uma grandeza relevante devido ao impacto na operação do SIN.

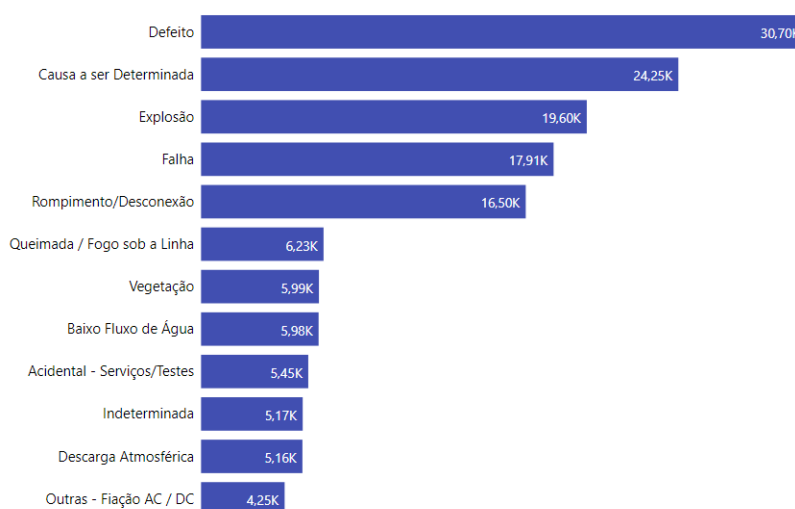
Na figura 4.13 é possível observar o tempo total de interrupção no funcionamento por causa, ou seja, o tempo de todas as LTs e Subestação foram agrupados pela causa. Evidencia-se quais mantiveram os desligamentos mais duradouros. É possível observar que defeito é a causa que possui um maior tempo de religamento, seguido de causa a ser determinada, explosão, falha, rompimento/desconexão, queimada/fogo sob linha, vegetação.

As causas com maior quantidade de desligamentos não foram as que mantêm a interrupção por mais tempo, mas estão entre as doze primeiras e a causa a ser determinada que se encontra

em segundo, aparece em quarto lugar das causas com maior número de desligamentos. Para essa análise foi necessário retirar 172 desligamentos que não tiveram a data preenchida nos dados coletados.

Na figura 4.13 pode-se observar as doze causas que tiveram um maior tempo de restabelecimento no sistema de transmissão no período analisado. Nos dados pode-se ver que a principal causa com o maior tempo de restabelecimento é o defeito, seguido por causa a ser determinada, explosão e falha.

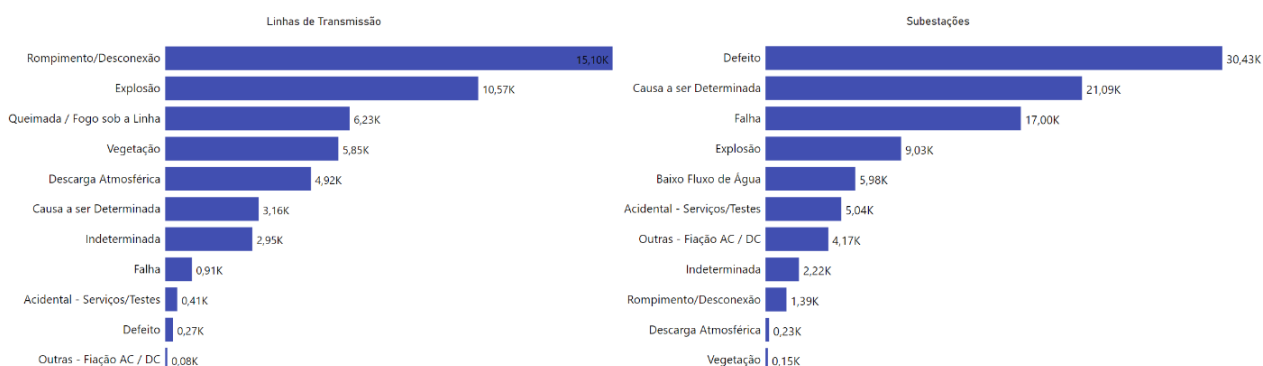
Figura 4.13: Causas com maior tempo em minutos de religamento



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Na figura 4.14 pode-se observar as causas de desligamentos com maior tempo de restabelecimento nas LTs e nas Subestações.

Figura 4.14: Causas com maior tempo (min) de religamento em Linhas de Transmissão e Subestações

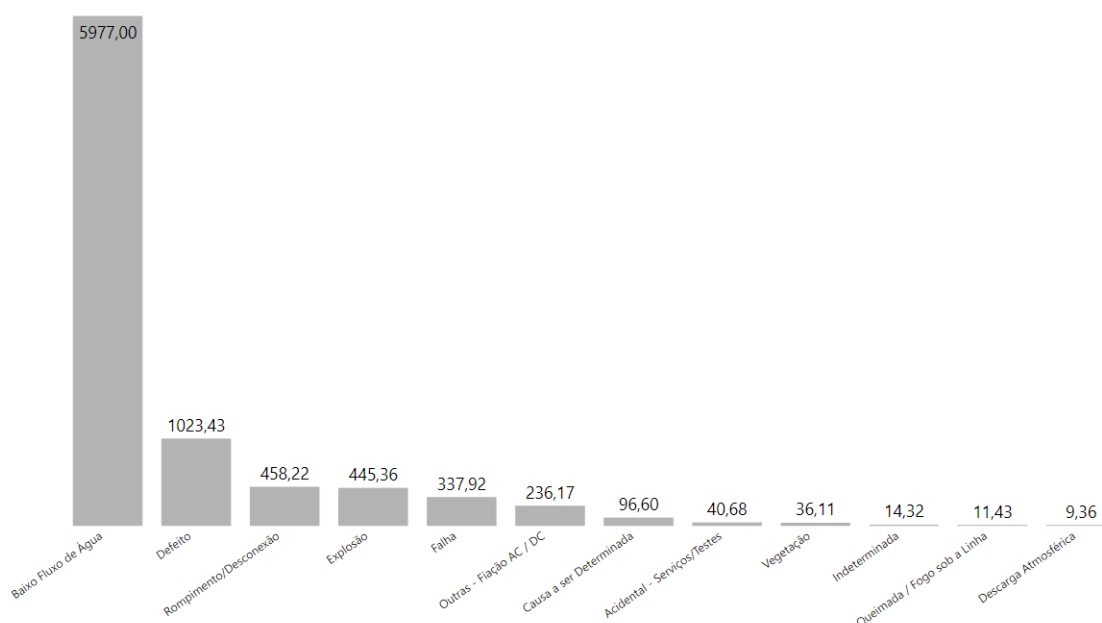


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

É possível concluir que a causa com mais desligamentos no total ocorrem nas subestações e usualmente são defeitos nos equipamentos, a causa a ser determinada está relacionada aos dois sendo um pouco mais a subestações, a terceira causa que é explosão está relacionada as duas, falha mais as subestações. Pode-se observar também que as descargas atmosféricas possuem maior tempo de restabelecimento nas LTs.

No gráfico 4.13 foi possível ver que os defeitos tem um tempo elevado e na 4.14 que ocorrem com maior frequência nas Subestações. Pode-se também determinar os tempos médios para restabelecimento de cada desligamento pela causa. Como foi necessário retirar os desligamentos sem data preenchida, algumas causas aparecem com uma uma pequena diferença no número de desligamentos.

Figura 4.15: Média de tempo em minutos dos desligamentos pela causa



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Ao realizar um comparativo com o número de desligamentos, pode observar que as descargas atmosféricas apesar de possuir um número de desligamentos elevados, a média de tempo de um desligamento é de 9,36 minutos. Defeito é a causa com o maior tempo total e pode-se ver que a média de desligamentos é 1023,43 minutos, mas possui um número de desligamentos menor e com maior influência, pois quanto mais rápido o tempo de restabelecimento, menos impactos no SIN. Pode-se ver abaixo esse comparativo, do número total de desligamentos e tempo médio de restabelecimento.

Tabela 4.1: Tempe médio de restabelecimento (min) e quantidade de desligamentos

Causa	Média de tempo desligado	Número de desligamentos
Baixo Fluxo de Água	5977	1
Defeito	1023.43	30

Rompimento/Desconexão	458.22	36
Explosão	445.36	44
Falha	337.92	53
Outras - Fiação AC / DC	236.17	18
Causa a ser Determinada	96.60	251
Acidental - Serviços/Testes	40.68	134
Vegetação	36.11	166
Indeterminada	14.32	361
Queimada / Fogo sob a Linha	11.43	545
Descarga Atmosférica	9.36	551

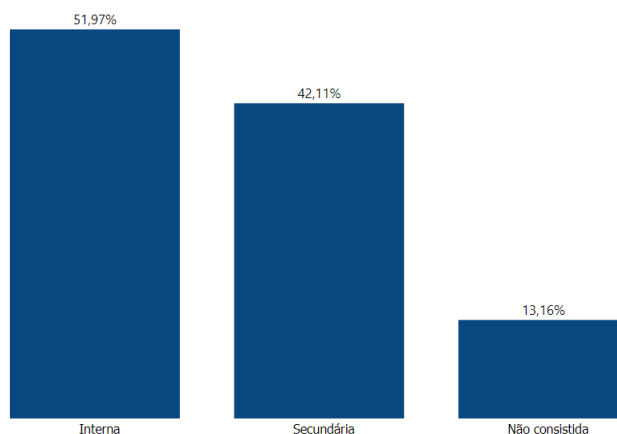
4.2 DESLIGAMENTOS COM CORTE DE CARGA

Considerando os impactos gerados pelos desligamentos com corte de carga para o sistema de transmissão e principalmente para a sociedade, selecionou-se os que possuem corte de carga maior que zero, podendo ser automáticos ou manuais, de causas internas, secundárias e não consistidas.

Foram 152 desligamentos com corte de carga, considerando origem interna, secundária e não consistida. Os danos causados por este tipo de desligamento são maiores. Dessa forma, na figura 4.16 pode-se observar a porcentagem de desligamentos em relação à origem. Observa-se a predominância da origem interna com mais de 51,97 % dos casos seguida das secundárias com 42,11% e as não consistidas que são 13,16%.

Nesse caso só tem-se as origens que são consideradas no processo de seleção do processo fiscalizatório da ANEEL. As não consistidas são uma pequena parcela desses desligamentos, mas é importante informar os dados para ONS devido ao impacto desses desligamentos.

Figura 4.16: Porcentagem de desligamentos com corte de carga por origem



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Nesse caso também é importante saber as causas que mais provocaram desligamentos com cortes de carga, pode-se observar na tabela 4.2 abaixo a porcentagem desses casos. É possível constatar que as principais são: causa a ser determinada, não consistida, descarga atmosférica e indeterminada. Sendo três delas as que provocam as maiores quantidades de desligamentos na rede.

Tabela 4.2: % de desligamentos com corte de carga pela causa

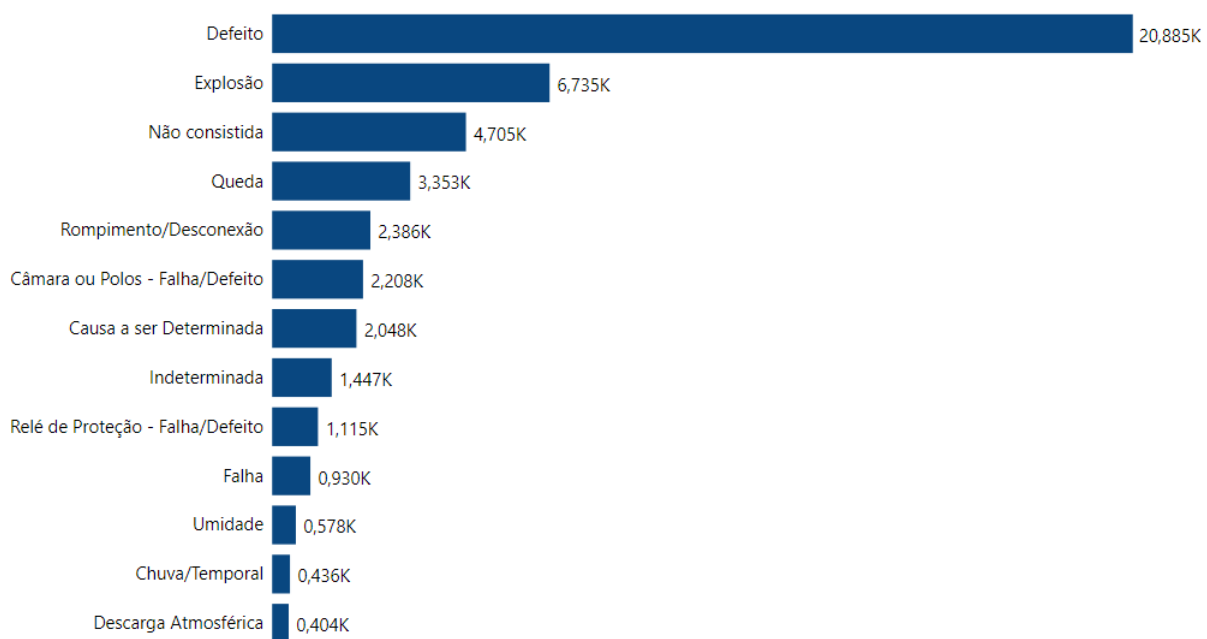
Descrição de Causa	Desligamentos com corte de carga (%)
Causa a ser Determinada	14,47%
Não consistida	13,16%
Descarga Atmosférica	11,18%
Indeterminada	11,18%
Acidental - Serviços/Testes	5,26%
Erro de Ajuste - Cálculo	4,61%
Rompimento/Desconexão	3,95%
Explosão	3,29%
Falha	3,29%
Queimada / Fogo sob a Linha	3,29%
Relé de Proteção - Falha/Defeito	3,29%
Vegetação	2,63%
Chuva/Temporal	1,97%
Erro de Ajuste - Execução	1,97%
Erro de Fiação AC - Projeto	1,97%
Erro de operação - instalação	1,97%
Fogo	1,97%
Defeito	1,32%

Detetor Temperatura - Falha/Defeito	1,32%
Erro de Fiação AC - Execução	1,32%
Isolação - Falha/Defeito	1,32%
Outras - Equipamentos e Acessórios	1,32%
Queda	1,32%
Queima	1,32%
Umidade	1,32%
Animais,Pássaros, Insetos	0,66%
Baixa Pressão de Ar ou SF6	0,66%
Câmara ou Polos - Falha/Defeito	0,66%
Cartão Eletrônico - Falha/Defeito	0,66%
Com/Contr Elétrico - Falha/Defeito	0,66%
Erro de Configuração de Lógica - Concepção	0,66%
Falha de Automatismo	0,66%
Mau contato fiação AC/DC	0,66%
Nível Baixo de Óleo	0,66%
Oscilação ou Transitório - Secundário AC	0,66%
Pássaro Curicaca	0,66%
Relé Auxiliar DC - Falha/Defeito	0,66%
Sobreaquecimento	0,66%
Surtos ou Transitório - Secundário DC	0,66%

Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Na figura 4.17 pode-se observar as 13 causas de desligamentos com corte de carga com maior tempo de restabelecimento nas LTs e nas Subestações.

Figura 4.17: Causas com corte de carga com maior tempo em minutos de religamento



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

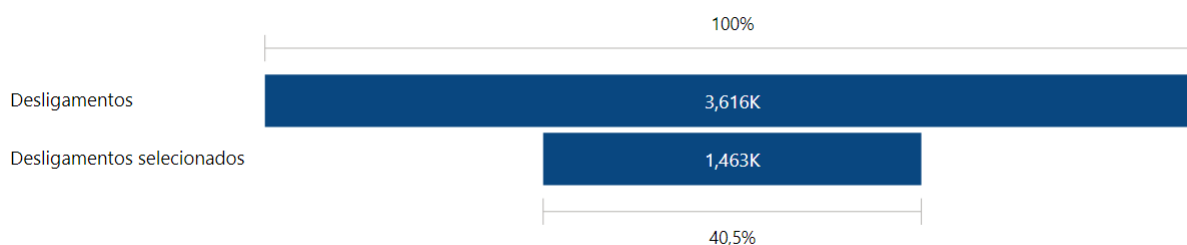
5 ANÁLISES DOS DESLIGAMENTOS SELECIONADOS PARA O CICLO DE FISCALIZAÇÃO DA ANEEL

A Coordenação de Análises de Transmissão - CAT da SFE/ANEEL, todo ano inicia o ciclo de análises para fiscalização, referente ao a julho do ano anterior até junho do ano atual. Os ciclos a serem analisados são 2018/2019 e o 2019/2020, sendo o último referente ao ciclo mais atual finalizado. Por meio das análises de desligamentos forçados realizado pela a ANEEL, é possível ter parâmetros da situação do sistema de transmissão de energia elétrica. As informações são obtidas por meio de sistemas de gestão do ONS e ANEEL [25].

5.1 CICLO DE ANÁLISES 2018/2019

No ciclo de análises de 1º de Julho de 2018 à 30 de junho de 2019, foram considerados 3616 desligamentos considerando origem interna e secundária, utilizando os critérios do capítulo 3 para esse ciclo, conforme classificação indicada no Submódulo 10.18 dos Procedimentos de Rede (CD-CT.BR.01 – Revisão 4). A partir dos critérios aplicados foram selecionados 1463 desligamentos. A quantidade de desligamentos considerados e selecionadas pode-se observar na figura seguinte:

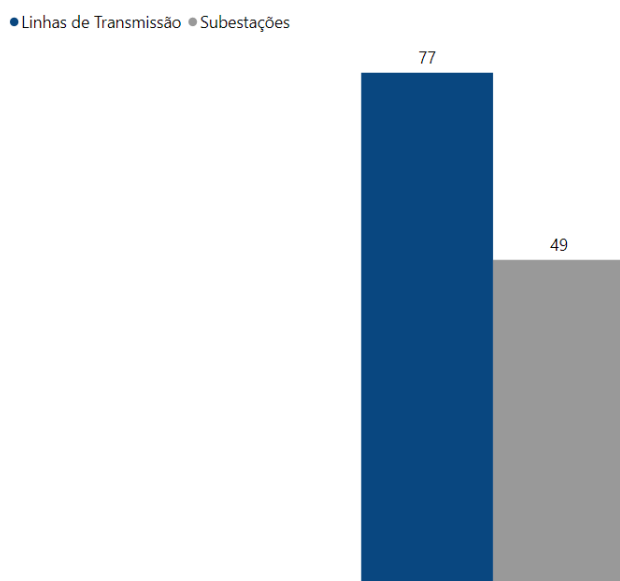
Figura 5.1: Quantidade de desligamentos totais e selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Foi possível constatar que dos desligamentos totais 40,5 % foram selecionados para o ciclo de atividades. A figura seguinte demonstra o número de subestações e LTs selecionadas:

Figura 5.2: Quantidade de LTs e Subestações selecionadas

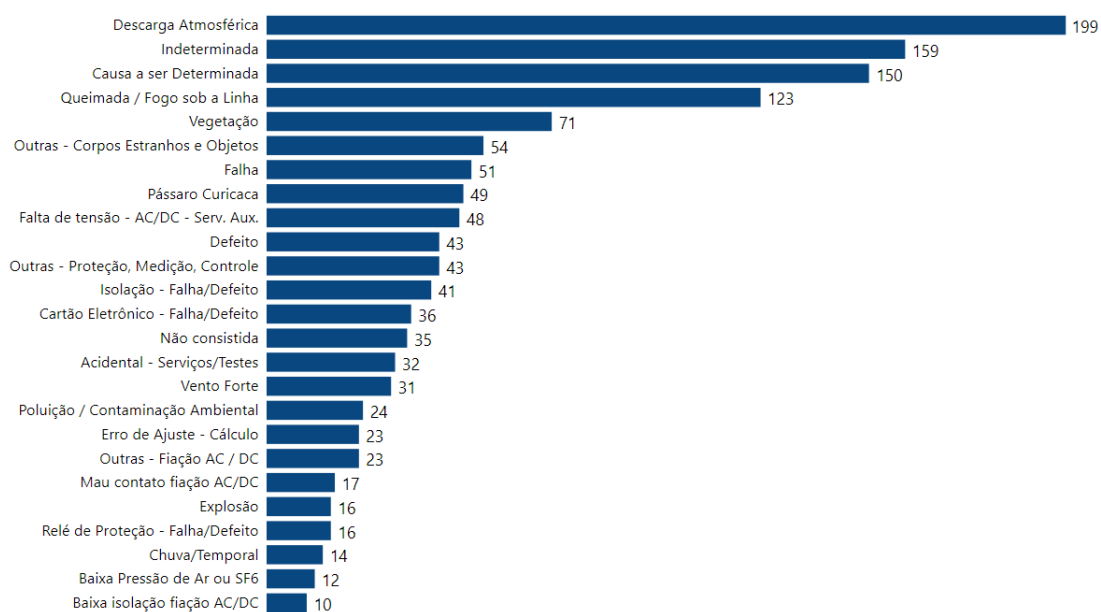


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

É possível constatar que a quantidade de desligamentos nas LTs são superiores a quantidade nas subestações. Devido a maior vulnerabilidade nas linhas que possuem maior extensão.

Dos desligamentos que foram selecionados para o ciclo de análises 2018-2019, é possível ver as causas que possuem maior reincidência no sistema de transmissão, para isso foram considerados uma quantidade igual ou maior a 10 desligamentos.

Figura 5.3: Quantidade de desligamentos selecionados pela causa

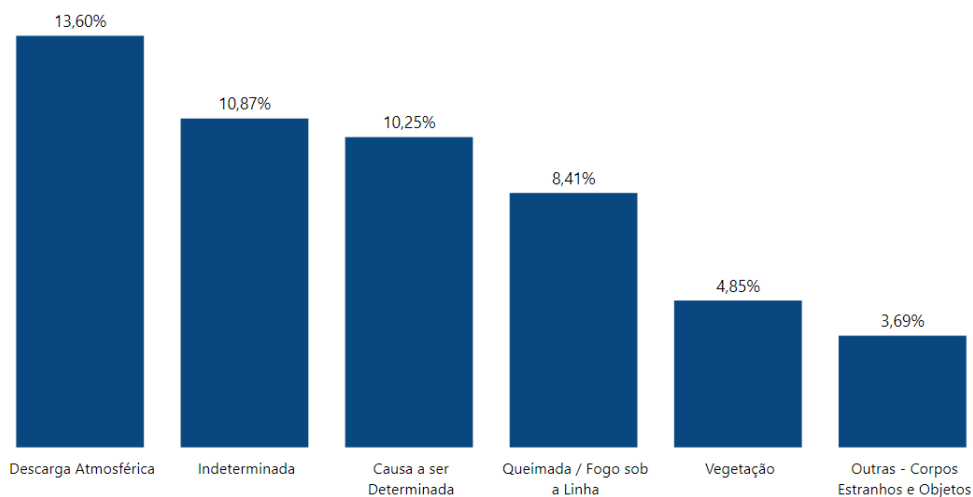


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Na figura acima as causas com maior recorrência foram as descargas atmosféricas, indeterminadas, causa a ser determinadas, queimada/fogo sob a linha e vegetação.

Na figura seguinte pode-se ver a porcentagem em relação ao todas das principais 6 causas:

Figura 5.4: % de desligamentos em relação ao total



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

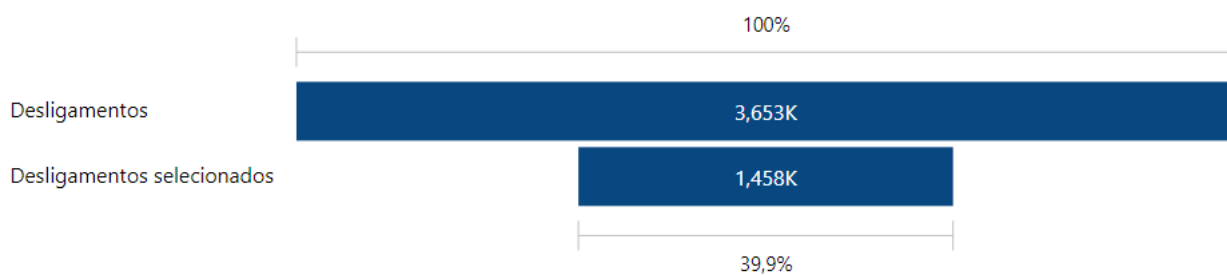
Pode-se constatar que 51,67% dos desligamentos estão nas 6 causas principais.

5.2 CICLO DE ANÁLISES 2019/2020

No ciclo compreendido de 1º de julho de 2019 à 30 de junho de 2020, teve-se 4715 desligamentos no total e para a análises foram considerados 3653, visto que exclui-se os de origem externa e operacional. Para a seleção das LTs e Subestação foi utilizado os critérios descritos no capítulo 4, conforme classificação indicada no Submódulo 10.18 dos Procedimentos de Rede (CD-CT.BR.01 – Revisão 5). E a partir da aplicação dos critérios para o ciclo de análises 2019/2020 foram selecionados 1458 desligamentos podendo ser de origem interna ou secundária, automáticos ou manuais, permanentes ou fugitivos.

Pode-se observar o número de desligamentos que foram considerados e o número de desligamentos selecionados para o ciclo de análise na figura abaixo:

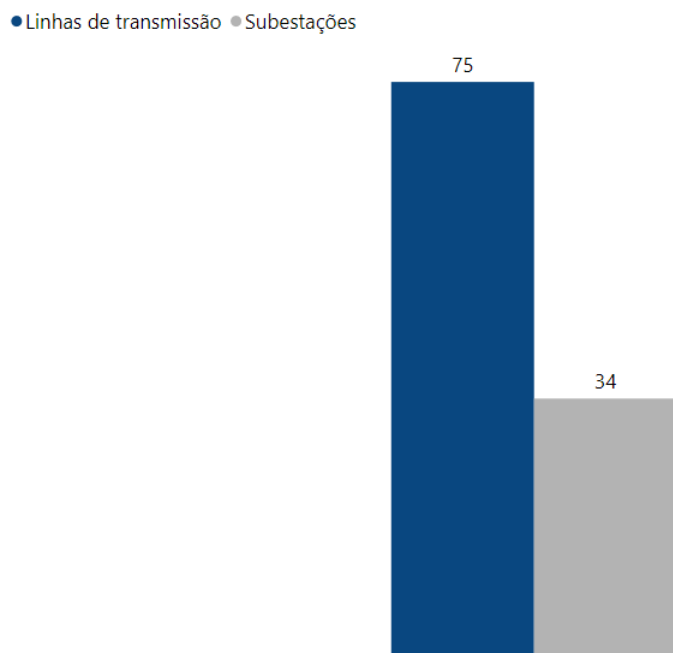
Figura 5.5: Quantidade de desligamentos totais e selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

É possível constatar que dos desligamentos que foram considerados ao aplicar os critérios de seleção, 39,9% dos desligamentos fizeram parte do ciclo de análises. Pode-se ver também na figura seguinte, a quantidade de LTs e Subestações selecionadas:

Figura 5.6: Quantidade de Linhas de Transmissão e Subestações selecionados

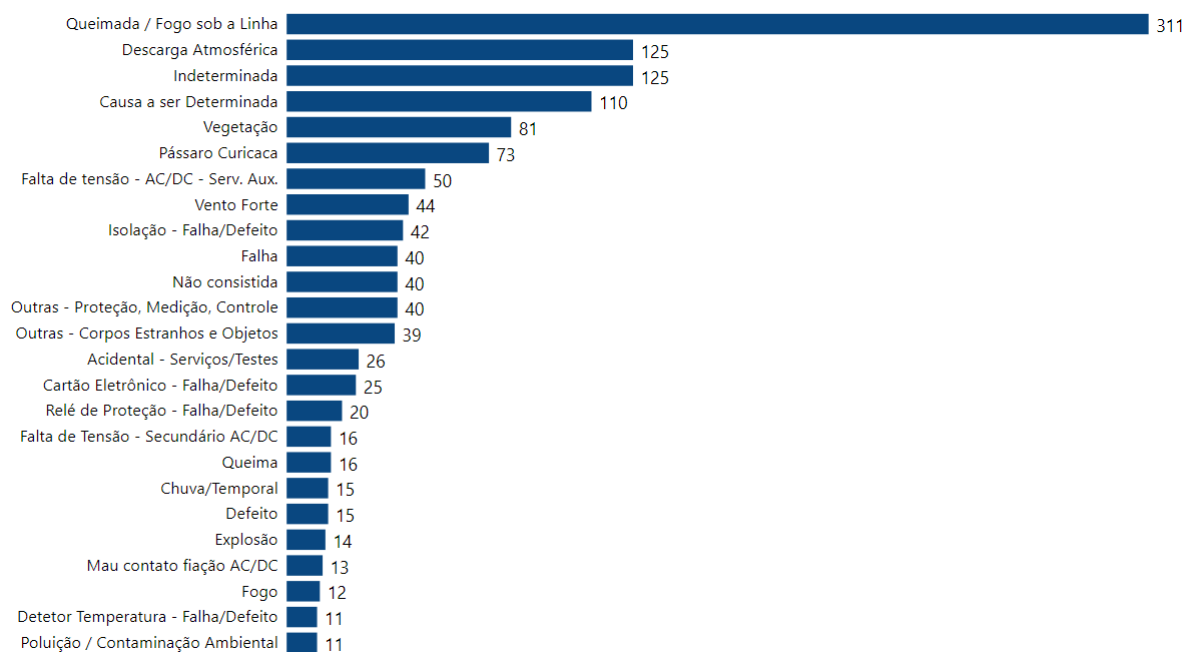


Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

São 75 LTs e 34 Subestações selecionadas para o ciclo de análises 2019/2020. Foram 981 desligamentos nas LTs e 477 nas Subestações. Indicando que os LTs causam mais desligamentos no sistema de transmissão, podendo ser explicado pelas LTs ocuparem maiores áreas o que as tornam mais vulneráveis.

Dos desligamentos selecionados pelos critérios para o ciclo de atividades da fiscalização, pode-se ver na figura seguinte quais foram as causas tiveram mais recorrências no ciclo de análise 2019/2020, considerando 10 ou mais desligamentos.

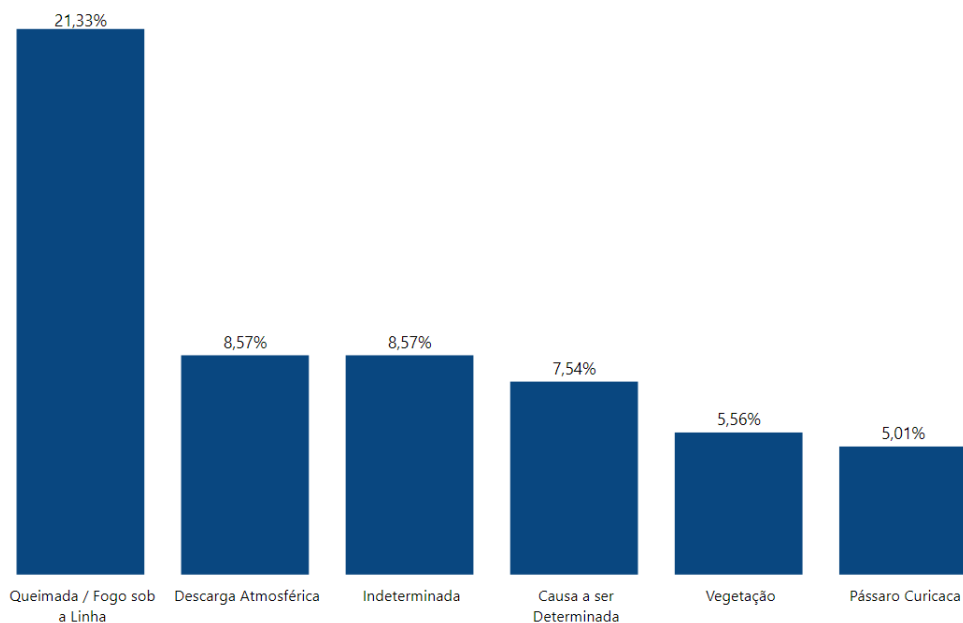
Figura 5.7: Causas mais frequentes nos desligamentos selecionados do ciclo 2019-2020



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

É possível constatar que dos desligamentos que são selecionados, 311 foram de queimada/fogo sob linha, seguidos de descargas atmosféricas e indeterminadas com 125, e causas a serem determinadas com 110 desligamentos. Mantendo essas causas não somente como as principais no número geral abordado no capítulo anterior, mas nos que são selecionados por requerer maior atenção por parte da SFE/ANEEL.

Figura 5.8: % de desligamentos em relação ao total



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Na figura acima é possível constatar que 56,58% dos desligamentos em relação ao total, são concentrados nas 6 principais causas.

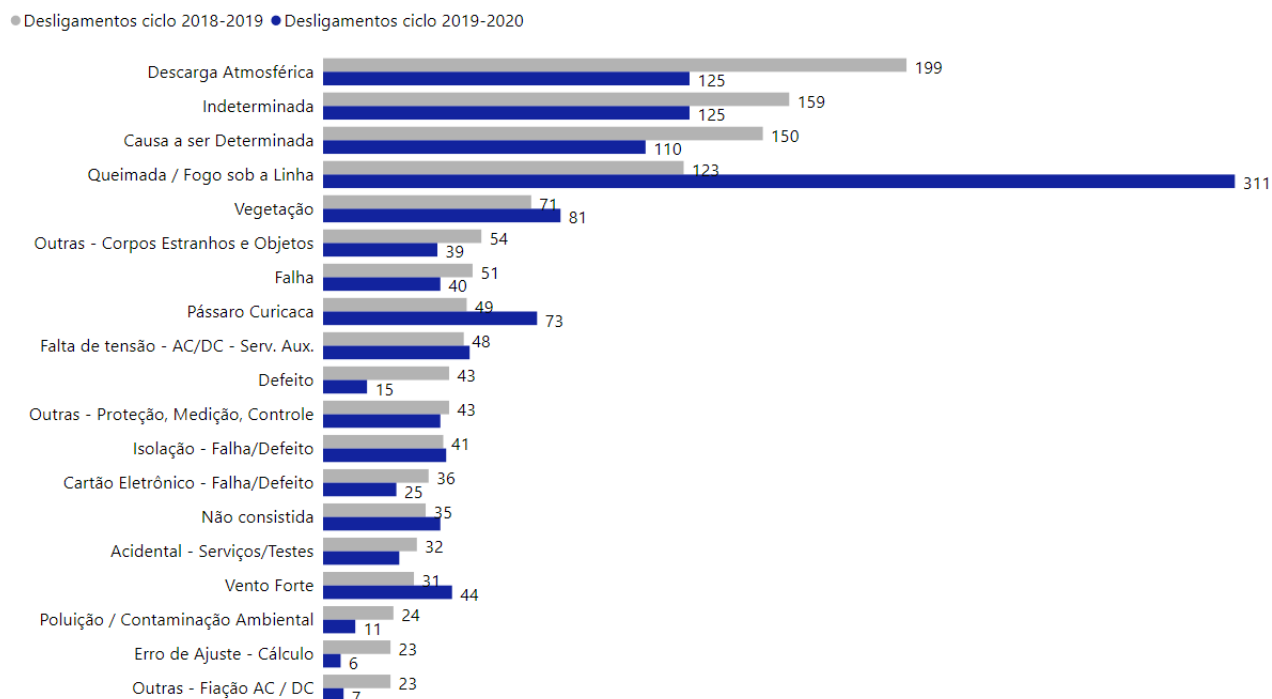
5.3 COMPARAÇÃO DOS DOIS CICLO DE ANÁLISES DA FISCALIZAÇÃO 2018/2019 E 2019/2020

Nos dois ciclos de análises a maior parte dos critérios utilizados eram semelhantes, somente com diferença do critério de elevada duração de interrupção do ciclo 2018/2020, que não foi considerado na análise, então é possível realizar a comparação de forma viável entre os dois ciclos com os desligamentos selecionados.

Na figura seguinte foram consideradas as causas com 20 ou mais desligamentos, de forma a demonstrar o comportamento dos principais motivos ao longo dos anos observados. É importante ressaltar a importância de identificar o que pode ser aperfeiçoado nas atividades fiscalizatórias, a causa não é um dos critérios utilizados para selecionar os desligamentos que necessitam de atenção por parte do órgão fiscalizador.

Por meio da figura 5.9 é possível constatar que as 5 primeiras causas, aparecem nos dois ciclos, com diferença apenas na posição, mantendo-se entre as principais causas.

Figura 5.9: Desligamentos por causa dos dois ciclos de análises



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Avaliando as 5 primeiras causas dos dois ciclos que só aparecem em colocações diferentes, mas sempre ocupando as cinco primeiras colocações, descarga atmosférica, indeterminada, causa a ser determinada, queimada/fogo sob linha e vegetação. Nas figura seguinte é possível constatar que essas causas tem muita importância, pois representam uma grande parte, levando em consideração a quantidade total de causas que são 78 no primeiro ciclo e 71 no segundo ciclo dos selecionados.

Figura 5.10: % de desligamentos pela causa em relação ao total das principais 5 causas de 2018-2019

Causa	% de desligamento
Descarga Atmosférica	13,60%
Indeterminada	10,87%
Causa a ser Determinada	10,25%
Queimada / Fogo sob a Linha	8,41%
Vegetação	4,85%
Total	47,98%

Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

Figura 5.11: % de desligamentos por causa em relação ao total das principais 5 causas de 2019-2020

Causa	% de desligamentos
Queimada / Fogo sob a Linha	21,33%
Descarga Atmosférica	8,57%
Indeterminada	8,57%
Causa a ser Determinada	7,54%
Vegetação	5,56%
Total	51,58%

Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, 2020

No ciclo 2019-2020 tem-se uma porcentagem acima de 50% levando em consideração as causas das 5 primeiras posições e no ciclo 2018-2019 corresponde a 47,98 % consideravelmente próximo aos 50%.

5.4 SUGESTÃO DE APRIMORAMENTO DO CICLO DE ANÁLISES DA FISCALIZAÇÃO

Atualmente, no ciclo de atividades fiscalizatórios da ANEEL tem-se critérios estabelecidos, normalmente há diferença somente no critério específico de um período para outro. Eles são estabelecidos de maneira a selecionar os desligamentos que geram mais impactos para o sistema de transmissão de energia elétrica do país.

O objetivo da SFE/ANEEL é conseguir selecionar, por meio dos critérios citados no texto, os desligamentos que precisam ser controlados e monitorados. Dessa forma, eles estão conseguindo selecionar as LTs e Subestações que possuem um número elevado de desligamentos sem e com corte de carga, algumas instalações que são estratégicas para a transmissão e sempre estão inserindo um critério específico para aquele período em particular.

Nesse texto, por meio das análises realizadas, foi possível identificar algumas causas que mais provocam desligamentos no sistema de transmissão. As descargas atmosféricas, as queimadas, indeterminadas, causas a serem determinadas e vegetação provocam uma quantidade relevante de desligamentos como foi demonstrado na seção anterior.

Essas cinco principais causas também aparecem com muita relevância no capítulo de análises dos desligamentos que foca no ciclo mais atual de análises concluído e considera os desligamentos que são aplicados os critérios. Nesse capítulo que é somente considerado os desligamentos que são o objeto de análise da SFE/ANEEL e comparando os dois ciclos, também é possível ver essas mesmas causas com bastante destaque e peso em relação as causas totais.

Ao considerar os dados analisados, é possível constatar a necessidade de implementação de

um critério que considere as causas mais recorrentes de desligamentos no sistema de transmissão. Ao inserir esse novo critério é possível realizar um trabalho na prevenção e correção que é o objetivo de atuação da fiscalização por meio desse ciclo de atividades. Também realizar a recomendação para as transmissoras da redução dos desligamentos indeterminados e causa a ser indeterminadas, visto que dificulta a correção de problemas que não foram investigados.

Inserindo este novo critério e fazendo a recomendação será possível realizar averiguações mais específicas quanto as maneiras de correção. Nas descargas atmosféricas será possível avaliar a necessidade de novos cabos para-raios e aterramento do pé da torre. No caso das queimadas faz-se necessário as campanhas de conscientização por parte de ANEEL. A causa a ser determinada e indeterminada devem ser monitoradas, visto que possuem um grande número de desligamentos no sistema e há a necessidade de averiguação do órgão para descobrir se as concessionárias estão investigando os que não possuem causa aparente. É importante a recomendação para as concessionárias de transmissão para reduzir os desligamentos classificados com este tipo de causa, visto que sem motivos específicas não é possível tomar ações de correção. A implementação do critério é necessário para que essas causas sejam monitoradas de maneira a diminuir o número de desligamentos na rede.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho realizou-se a análise dos desligamentos forçados da transmissão de energia elétrica, considerando o dados utilizados no ciclo de atividades da fiscalização do CAT/SFE/ANEEL. A proposta da análise é trazer sugestão de aprimoramento para os futuros ciclos de análises demonstrando por meio dos dados.

Na análise foi possível concluir que de todos os desligamentos que ocorreram no ciclo mais atual finalizado 2019-2020, 52% dos desligamentos são de origem interna, 23,5% secundária, 20,06% externa 2,46% operacionais e 1,97% não consistida, os que são considerados são os de origem interna, secundário e não consistidas que englobam cerca de 77,47% dos desligamentos totais, ou seja maior parte. A partir destes são selecionados pelos critérios os que farão parte do ciclo de análises.

Outras conclusões da análise do capítulo 4 é que maior parte dos desligamentos ocorrem nas LTs, devido a grande área que ocupam as tornando mais vulneráveis. O mês que teve a maior quantidade foi em setembro, o que se confirma pelo elevado número de queimadas devido aos períodos de seca. As maiores causas de desligamentos nesse ciclo foram as descargas atmosféricas, seguido pelas queimada/ fogo sob a Linha, indeterminadas, causa a ser determinadas e vegetação, que correspondem mais de 50% dos desligamentos totais de 96 causas. As causas que mais demoram para reestabelecimento do tempo são os defeitos nas subestações e rompimento/desconexão nas LTs. As que mais provocaram corte de carga foram as causas a serem determinadas, não consistidas, descarga atmosférica e indeterminada. Os defeitos e explosões provocaram os desligamentos com corte de carga com maiores tempos para religar.

Para que as conclusões fossem mais específicas, considerando somente os desligamentos que realmente são analisados no ciclo pela a ANEEL, as análises foram direcionadas para os desligamentos selecionados. A partir disto, concluiu-se que nos dois ciclos de atividades da fiscalização, as mesmas causas mantiveram as cinco primeiras posições, mudando apenas a ordem, podem ser consideradas as principais causas e como elas se mantém presente entre as mais relevantes em relação às outras, indicando que os problemas não foram corrigidos.

Os dois ciclos analisados estabelecidos englobam grande parte dos desligamentos que necessitam de monitoramento. O ciclo de análises não considera as causas para seleção, leva em consideração a quantidade de desligamentos, as instalações que causam impactos em outras instalações, de acordo com a classificação indicada no Submódulo 10.18 dos Procedimentos de Rede (CD-CT.BR.01 – Revisão 5), e os critérios específicos que são definidos de acordo com as peculiaridades de cada período.

A solução proposta para este trabalho é incluir nos critérios de seleção as causas, de modo realizar uma análise meticulosa no ciclo. Visto que ao realizar os ciclos de análises espera-se que os desligamentos que precisam de maior atenção por parte do órgão regulador sejam acompa-

nhados de forma mais próxima, para que por meio da pactuação de planos, os problemas sejam identificados e corrigidos o mais rápido possível. Também é indispensável recomendação de diminuição dos desligamentos indeterminados e causa a ser determinada. Conclui-se a necessidade de inclusão do critério de causas e recomendação para as transmissoras diminuírem o número de desligamentos que não são determinados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 GOMES FLÁVIO VANDERSON; DEOTTI, L. M. P. B. *Sistema Elétrico de Potência*. 1. ed. Brasília: NT Editora, 2018.
- 2 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. O sistema interligado nacional - sin. s.d. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>.
- 3 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Sistema interligado nacional. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>.
- 4 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. O setor elétrico. s.d. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>.
- 5 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Sistema em números. 2020. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>.
- 6 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. O que é ons. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>.
- 7 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 109. Custo marginal de operação - cmo. 2004. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004109.pdf>>.
- 8 MARTINS, D. M. R. Setor elétrico brasileiro: Análise do investimento de capital em usinas termelétricas, dissertação de mestrado em economia. PUC-Rio de Janeiro, 2008.
- 9 VIEIRA, I. S. Expansão do sistema de transmissão de energia elétrica no brasil, dissertação de mestrado em engenharia elétrica. Universidade de Brasília, 2009.
- 10 SANTOS, F. M. Sistema elétrico brasileiro: histórico, estrutura e análise de investimento no setor. Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá, 2015.
- 11 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Contratos de concessão. 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/contratos1>>.
- 12 CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA. Setor elétrico. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=gwtwmnurl_1&_afLoop=24255861091523>.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Redes de energia elétrica. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>.
- 14 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Instalações da transmissão. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/energia-no-futuro/transmissao/instalacoes>>.
- 15 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Relação dos sistemas e modelos computacionais. 2016. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%2018%2FSubm%C3%B3dulo%2018.2%2FSubm%C3%B3dulo%2018.2%202016.12.pdf>>.
- 16 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Mapas do sistema interligado nacional. 2019. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>.

- 17 PRESCOTT, P. Transmissão em corrente contínua: impactos do seu uso. O Estado de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/37_prescott_2020_06_22.pdf>.
- 18 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL. Leilões da transmissão. 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/transmissao4>>.
- 19 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Receita anual permitida. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/metodologia-transmissao/-/asset_publisher/6pqBPPJq59Ts/content/receita-anual-permitida-rap/654800?inheritRedirect=false>.
- 20 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO-ONS. A contratação do sistema de transmissão. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/energia-no-futuro/transmissao/contratacoes>>.
- 21 BARRETO, A. V. Vulnerabilidade de linhas de transmissão a desligamentos por descargas atmosféricas: uma proposta de classificação como suporte para o planejamento, dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- 22 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. Procedimentos de rede. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>>.
- 23 SALDANHA, T. de A. análise da correlação de desligamento de linhas aéreas de transmissão por descargas atmosféricas. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG / LRC, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10026604.pdf>>.
- 24 AQUINO, R. M. D.; VALE, M. H. M. Impacto da parcela variável na expansão, operação e manutenção do sistema interligado nacional – propostas para atualização de procedimentos. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG / LRC, 2009. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/documentos/PublicacoesDefesas/928/ERIAC.pdf>>.
- 25 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL. Plano de resultados. 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>.
- 26 GRUPO DE DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA - ELAT. Descargas atmosféricas na transmissão de energia elétrica. 2020. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>.
- 27 CEREJA, J. E. M.; PUCHALE, L. H. B. Desligamentos forçados por causa indeterminada em linhas de transmissão na CEEE - GT. CEEE Geração e Transmissão, 2017. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/10184/15926296/6+-+CEEE+GT+-+1+Worshop+ANEEL+Desligamentos+For%C3%A7ados+CEEE.pdf/072edfcd-bd7a-8c62-47b5-58df17af64b3>>.

APÊNDICES

I.1 TABELA COMPLETA DE QUANTIDADE DE DESLIGAMENTOS POR CAUSA

Tabela 1: Quantidades de desligamentos por causa

Descrição da Causa	Desligamentos
Descarga Atmosférica	554
Queimada / Fogo sob a Linha	545
Indeterminada	368
Causa a ser Determinada	268
Vegetação	167
Pássaro Curicaca	138
Acidental - Serviços/Testes	136
Vento Forte	110
Isolação - Falha/Defeito	100
Não consistidos	93
Falha	77
Outras - Corpos Estranhos e Objetos	74
Chuva/Temporal	62
Outras - Proteção, Medição, Controle	57
Falta de tensão - AC/DC - Serv. Aux.	55
Explosão	52
Relé de Proteção - Falha/Defeito	51
Rompimento/Desconexão	49
Erro de Ajuste - Cálculo	39
Defeito	33
Erro de Fiação AC - Execução	33
Cartão Eletrônico - Falha/Defeito	32
Mau contato fiação AC/DC	31
Baixa isolação fiação AC/DC	29
Animais, Pássaros, Insetos	27
Detetor Temperatura - Falha/Defeito	27
Erro de Configuração de Lógica - Concepção	26
Baixa Pressão de Ar ou SF6	19
Queima	19
Outras - Fiação AC / DC	18
Dispos./Prot. Mecânica - Falha/Defeito	17
Erro de operação - instalação	17
Falta de Tensão - Secundário AC/DC	17
Outras - Equipamentos e Acessórios	17
Poluição / Contaminação Ambiental	17
Fogo	16

Queimada / Fogo sob a Linha - Fora da Faixa	15
Umidade	15
Humanas - Outra Empresa	14
Câmara ou Polos - Falha/Defeito	13
Erro de Ajuste - Execução	11
Erro de Configuração de Lógica - Implementação	11
Nível Baixo de Óleo	10
Relé Auxiliar DC - Falha/Defeito	10
Balão	9
Erro de Fiação DC - Execução	8
Falha de Automatismo	8
Vegetação - Fora da Faixa	8
Curto-Circuito - Secundário DC	6
Erro de Fiação AC - Projeto	6
Oscilação ou Transitório - Secundário AC	6
Queda	6
Vandalismo	6
Baixo Fluxo de Água de Resfriamento	5
Bucha - Falha/Defeito	5
Com/Contr Mecânico - Falha/Defeito	5
Curto-Circuito - Secundário AC	5
Instrumento de Medição - Falha/Defeito	5
Baixa Pressão de Óleo	4
Circuito Aberto - Secundário AC	4
Com/Contr Elétrico - Falha/Defeito	4
Furo na tubulação	4
Surtos ou Transitório - Secundário DC	4
Água / Inundação	3
Enlaçamento (Cabos)	3
Erro de Operação - Centro de Operação - Agente	3
Esquema Inadequado de Proteção	3
Relé de Proteção Descalibrado	3
Aeronave	2
Concepção Inadequada de Relé	2
Cruzamento de Cabos (outra LT)	2
Direcionalidade Invertida - Plug	2
Equipamentos e Acessórios - Outra empresa	2
Erro de Fiação DC - Projeto	2
Erro de Relação	2
Indivíduo sobre estrutura	2

Nível Baixo de Água	2
Ruído na Fiação Secundária	2
Sobreaquecimento	2
Teleproteção - Ruído/Falha/Defeito	2
Veículo	2
Baixo Fluxo de Água	1
Baixo Fluxo de Óleo	1
Falha no Software PLC	1
Ferroressonância - Rede	1
Fiação AC/DC - Outra Empresa	1
Fusível Queimado (IGN) - Secundário DC	1
Mistura AC com DC	1
Mufla - Falha/Defeito	1
Nível Baixo de Água de Resfriamento	1
Outras - Humanas Própria Empresa	1
Outras - Meio Ambiente	1
Relé Auxiliar AC - Falha/Defeito	1
Saturação (TC ou Núcleo de Trafo)	1
Sem Dados - Proteção, Medição, Controle	1
Vibração - Diversos	1

Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da ANEEL, [25]

I.2 TABELA COMPLETA DO TEMPO DE DURAÇÃO (MIN) DE CADA CAUSA DE DESLIGAMENTO

Tabela 2: Tempo total de duração de desligamentos por causa

Descrição de Causa	Tempo de duração do desligamento (min)
Defeito	30703
Causa a ser Determinada	24365
Explosão	19596
Falha	17910
Rompimento/Desconexão	16496
Queimada / Fogo sob a Linha	6228
Vegetação	5994
Baixo Fluxo de Água	5977
Acidental - Serviços/Testes	5451
Indeterminada	5169
Descarga Atmosférica	5155

Outras - Fiação AC / DC	4251
Não consistida	4024
Isolação - Falha/Defeito	3658
Queda	3353
Furo na tubulação	3274
Detetor Temperatura - Falha/Defeito	3152
Falta de tensão - AC/DC - Serv. Aux.	3083
Câmara ou Polos - Falha/Defeito	2976
Outras - Equipamentos e Acessórios	2927
Veículo	2893
Baixa Pressão de Ar ou SF6	2760
Falta de Tensão - Secundário AC/DC	2663
Esquema Inadequado de Proteção	2645
Nível Baixo de Óleo	2629
Relé de Proteção - Falha/Defeito	2514
Vento Forte	2415
Umidade	2199
Outras - Proteção, Medição, Controle	2156
Mau contato fiação AC/DC	1988
Queima	1790
Cartão Eletrônico - Falha/Defeito	1740
Vegetação - Fora da Faixa	1669
Animais, Pássaros, Insetos	1577
Baixa isolação fiação AC/DC	1543
Chuva/Temporal	1535
Baixa Pressão de Óleo	1515
Outras - Corpos Estranhos e Objetos	1514
Erro de Fiação AC - Execução	1436
Fogo	1273
Erro de Ajuste - Cálculo	1269
Bucha - Falha/Defeito	1224
Dispos./Prot. Mecânica - Falha/Defeito	1221
Vandalismo	1211
Baixo Fluxo de Água de Resfriamento	965
Relé Auxiliar DC - Falha/Defeito	778
Mufla - Falha/Defeito	771
Erro de Ajuste - Execução	701
Fusível Queimado (IGN) - Secundário DC	543
Erro de Configuração de Lógica - Concepção	513
Pássaro Curicaca	381

Nível Baixo de Água	373
Humanas - Outra Empresa	345
Circuito Aberto - Secundário AC	316
Curto-Circuito - Secundário AC	288
Erro de operação - instalação	241
Indivíduo sobre estrutura	231
Instrumento de Medição - Falha/Defeito	230
Vibração - Diversos	210
Direcionalidade Invertida - Plug	206
Erro de Fiação AC - Projeto	193
Oscilação ou Transitório - Secundário AC	186
Queimada / Fogo sob a Linha - Fora da Faixa	154
Saturação (TC ou Núcleo de Trafo)	154
Erro de Configuração de Lógica - Implementação	151
Poluição / Contaminação Ambiental	136
Com/Contr Elétrico - Falha/Defeito	125
Curto-Circuito - Secundário DC	122
Nível Baixo de Água de Resfriamento	109
Erro de Fiação DC - Execução	98
Outras - Meio Ambiente	89
Com/Contr Mecânico - Falha/Defeito	83
Falha de Automatismo	76
Erro de Relação	72
Baixo Fluxo de Óleo	68
Sem Dados - Proteção, Medição, Controle	67
Enlaçamento (Cabos)	63
Falha no Software PLC	51
Relé de Proteção Descalibrado	31
Sobreaquecimento	29
Água / Inundação	16
Equipamentos e Acessórios - Outra empresa	15
Relé Auxiliar AC - Falha/Defeito	14
Balão	13
Ruído na Fiação Secundária	13
Ferroressonância - Rede	11
Cruzamento de Cabos (outra LT)	7
Erro de Fiação DC - Projeto	7
Teleproteção - Ruído/Falha/Defeito	5
Concepção Inadequada de Relé	4
Erro de Operação - Centro de Operação - Agente	4

Fiação AC/DC - Outra Empresa	3
Surtos ou Transitório - Secundário DC	3
Mistura AC com DC	2
Outras - Humanas Própria Empresa	1
