FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Interrupções breves na rede de distribuição - Otimização do processo de localização de causas

João Belmiro Gomes Parreira

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-orientador: José Alexandre Pascoal

25 de Janeiro de 2016

Resumo

Esta dissertação, realizada em ambiente empresarial, tem como objetivo desenvolver e otimizar o processo de identificação e deteção das causas das interrupções breves na rede elétrica de média tensão.

As interrupções breves são atualmente um problema devido à proliferação dos equipamentos eletrónicos. Assim é cada vez mais importante diminuir o número de IB na rede, que é conseguido com a adoção de um comportamento pró-ativo na deteção e eliminação das causas das IB.

Neste trabalho são estudadas as relações de vários fatores com as IB, nomeadamente a proteção atuada, o tempo cronológico (dia/mês e hora) e o tempo meteorológico (precipitação, vento, humidade e descargas atmosféricas).

A análise das relações destes fatores com as IB vai permitir identificar a localização da causa e o modo de falha associado às IB.

Para realizar esta análise foi desenvolvida uma aplicação que permite obter os dados meteorológicos e as proteções atuadas das IB.

Foram identificados os modos de falha, as causas associadas às interrupções breves e as relações com as falhas latentes e ativas que se podem encontrar na rede MT.

Foram analisadas as interrupções de um período de tempo reduzido para desenvolver o método de análise dos dados atmosféricos. Foram analisadas as IB que ocorreram nos períodos entre duas interrupções de longa duração, denominados PEL (período entre longas), para perceber quais os fatores predominantes associados aos modos de falha identificados nas ILD. Foram também analisadas as descargas atmosféricas e a sua relação com as IB.

Após as análises efetuadas são apresentados os casos práticos de linhas que tiveram IB, que foram surgindo durante a realização da dissertação.

Foi desenvolvido o processo de identificação e localização das causas das IB, que se divide em três fases. A primeira, seleção, em que são selecionadas as linhas que estão a ter mais IB durante um determinado período de tempo. A segunda fase, check-up, em que se recolhe e organiza todos os dados disponíveis das IB e se obtém informação dos mesmos, reunida no relatório das IB. Na terceira fase, diagnóstico, com as relações conhecidas entre os vários fatores são tomadas ações para identificar e eliminar a causa das IB.

Por fim foi apresentado o trabalho futuro e enunciadas as conclusões obtidas.

Abstract

This thesis, done in corporal environment, has the objective to develop and otimize the process of identification and detetion of the causes of brief interruptions in the medium voltage electric network.

The brief interruptions are currently a problem due to the expansion of the electronic devices. So it is more important to reduce the number of brief interruptions in the network, which is achieved with the adoption of a pro-active behaviour on the detection and elimination of the causes.

In this work are studied the relationships of several factors with the brief interruptions, namely, the protection triggered, chronological time (day/month and hour) and the weather conditions (rain, wind, humidity, and thunder storms).

The analysis of this factors with the brief interruptions will allow to identify the location of the cause and the failure mode associated.

To do this analysis was developed an application capable of acquire the weather data and protections triggered of the brief interruptions.

The failure modes and the causes associated were identified. The relationships of the potential failures with the active failures were also identified.

The interruptions of a reduced period of time were analysed to develop the method of analysis of the weather data. The brief interuptions that occurred on the periods between two long term interruptions, named by PEL, were analysed to know the most prevailing factors associated to the failure mode identified in the long term interruptions. The thunder storms and their relationships with the brief interruptions were also identified.

After the analysis done the lines with brief interruptions studied during the work are presented.

The process of identification and location of the causes of IB was developed, which is divided in three fases. The first, selection, is where the lines with most brief interruptions are selected, during a period of time. The second fase, check-up, is where all data available is collected and organized in information that can be used, gathered in the brief interruptions report. On the third fase, the diagnosis, with the relations between several factors known, are taken actions to identify and eliminate the brief interruptions cause.

At the end it is presented the future work and the conclusions obtained.

Agradecimentos

Tenho que agradecer a todos aqueles que me apoiaram desde o início deste trabalho. Deixo o meu forte agradecimento:

Ao professor Machado e Moura por todo o apoio desde o início deste trabalho.

Ao Eng. Pascoal que desde o primeiro dia que comecei a dissertação me ajudou em tudo o que conseguiu, fazendo tudo o que esteve ao seu alcance.

A todo o pessoal do centro de condução do Porto e em particular ao pessoal da pool, que me receberam da melhor maneira.

Aos meus amigos, que sempre estiveram do meu lado, desde o início do percurso académico.

E por ultimo aos meus pais, irmão e família por tudo o que fizeram por mim.

A todos, muito obrigado!

"Give me six hours to chop down a tree
and I will spend the first four sharpening the axe"

Abraham Lincoln

Conteúdo

1 Introdução **1**
1.1 Problema inicial . . . 1
1.2 Estrutura da dissertação . . . 2

2 Enquadramento **3**
2.1 Introdução . . . 3
2.2 Falhas . . . 3
2.3 Tipos de defeitos . . . 4
2.4 Proteções e religações . . . 5
2.4.1 Proteção MI . . . 6
2.4.2 Proteção MIH . . . 6
2.4.3 Proteção PATR . . . 6
2.4.4 Religações . . . 7
2.5 Hierarquia do conhecimento . . . 7
2.6 Qualidade de serviço . . . 10

3 Recolha dos dados atmosféricos e proteções **13**
3.1 Dados atmosféricos . . . 13
3.1.1 Escolha das estações e qualidade dos dados . . . 14
3.1.2 Cálculo das distâncias . . . 15
3.1.3 Coordenadas das estações meteorológicas e subestações . . . 16
3.1.4 Dados de entrada . . . 16
3.1.5 Processo de recolha . . . 16
3.1.6 Descargas atmosféricas . . . 17
3.2 Proteções . . . 17
3.2.1 Dados de entrada das interrupções . . . 18
3.2.2 Processo de recolha . . . 20

4 Identificação dos modos de falha e causas **23**

5 Análise de dados **29**
5.1 Análise inicial . . . 29
5.1.1 Caracterização e análise por critério . . . 30
5.1.2 Exemplos . . . 35
5.1.3 Considerações . . . 39
5.2 Análise dos períodos entre longas . . . 39
5.2.1 Análise dos modos de falha vs critérios atmosféricos . . . 41
5.2.2 Considerações . . . 41

5.3 Análise das descargas atmosféricas 42

6 Casos Práticos **45**
6.1 Estratégia de análise 47

7 Processo total - Seleção, check-up e diagnóstico **49**
7.1 Seleção 49
7.2 Check-Up 51
7.3 Diagnóstico 51

8 Conclusão e trabalho futuro **55**
8.1 Conclusão 55
8.2 Trabalho futuro 56

Referências **59**

Lista de Figuras

2.1 Representação do esquema de relação de causas, modos de falha e efeitos. 4
2.2 Esquema elétrico de um sistema de proteção. 5
2.3 Hierarquia do conhecimento. 8
2.4 Hierarquia do conhecimento no contexto do trabalho. 9

3.1 Esquema representativo da recolha dos dados atmosféricos. 13
3.2 Mapa com estações meteorológicas disponíveis. 14
3.3 Exemplo dos dados disponíveis de uma estação meteorológica. 16
3.4 Diagrama do processo de recolha de dados atmosféricos. 18
3.5 Diagrama do processo de recolha de interrupções relacionadas com descarga elétrica. 19
3.6 Esquema representativo da identificação das proteções atuadas. 19
3.7 Diagrama do processo de identificação das ordens de abertura. 20
3.8 Diagrama do processo de análise das proteções atuadas. 21

4.1 Relação entre as falhas latentes e ativas. 24
4.2 Relação entre as interrupções breves e as falhas latentes. 25
4.3 Esquema do relacionamento entre IB, falhas e causas. 25

5.1 Exemplo do índice de preponderância. 31
5.2 Distribuição da rajada máxima das interrupções da linha MT A pelos intervalos considerados. 32
5.3 Distribuição das velocidades médias do vento das interrupções da linha MT B pelos intervalos considerados. 32
5.4 Distribuição dos valores da precipitação instantânea das interrupções da linha MT C pelos intervalos considerados. 33
5.5 Distribuição dos valores da precipitação acumulada das interrupções da linha MT D pelos intervalos considerados. 33
5.6 Distribuição dos valores da humidade das interrupções da linha MT E pelos intervalos considerados. 34
5.7 Distribuição da hora de ocorrência das interrupções da linha MT F pelos intervalos considerados. 35
5.8 Distribuição das proteções atuadas nas interrupções da linha MT F pelos intervalos considerados. 36
5.9 Distribuição dos fatores atmosféricos da linha MT G. 37
5.10 Distribuição horária das interrupções da linha MT G. 37
5.11 Distribuição das proteções atuadas da linha MT G. 37
5.12 Distribuição dos fatores atmosféricos da linha MT H 38
5.13 Distribuição horária das interrupções da linha MT H. 38
5.14 Distribuição das proteções atuadas da linha MT H. 39

5.15 Esquema representativo da construção dos PEL. 40

6.1 Exemplo de precipitação da linha MT K. 46
6.2 Exemplo de humidade da linha MT L. 46
6.3 Exemplo de precipitação da linha MT M. 47
6.4 Exemplo da distribuição horária das interrupções da linha MT N. 47

7.1 Processo geral de localização das causas. 50
7.2 Processo geral - Diagnóstico. 52

Lista de Tabelas

2.1 Proteções atuadas na maioria das situações por causa. 7

3.1 Qualidade dos dados atmosféricos. 15

5.1 Causas relacionadas com as interrupções breves. 30
5.2 Escalões para os valores da rajada máxima. 31
5.3 Escalões para os valores da velocidade média do vento. 32
5.4 Escalões para os valores da precipitação instantânea. 33
5.5 Escalões para os valores da precipitação acumulada. 34
5.6 Escalões para os valores da humidade. 34
5.7 Escalões para os módulos da intensidade das descargas atmosféricas. 35
5.8 Escalões das proteções atuadas. 36
5.9 Índices de preponderância obtidos para a linha MT G. 36
5.10 Índices de preponderância obtidos para a linha MT H. 38
5.11 Índices de preponderância usados na análise PEL. 40
5.12 Modos de falha analisados na análise PEL. 41
5.13 Percentagem de PEL com incidência dos dados atmosféricos para os vários modos de falha. 41
5.14 Número de interrupções com descarga atmosférica associada 42
5.15 Descargas atmosféricas divididas por distritos. 43
5.16 Descargas atmosféricas em período seco divididas por distritos. 43
5.17 Descargas atmosféricas em período molhado divididas por distritos. 43
5.18 Número de interrupções de descargas atmosféricas em vários dias específicos. . . 44

6.1 Modos de Falha identificados. 45
6.2 Fatores identificados 45

Abreviaturas e Símbolos

AO	Área Operacional
AT	Alta Tensão
BO	Business Objects
DRC	Direção de Redes e Clientes
END	Energia Não Distribuída
IB	Interrupção Breve
ILD	Interrupção de Longa Duração
MAIFI	Frequência média das interrupções breves do sistema
MT	Média Tensão
PdE	Ponto de Entrega
PTC	Posto de Transformação de Cliente
RL	Religação Lenta
RQS	Regulamento de Qualidade de Serviço
RR	Religação Rápida
SAIDI	Duração média das interrupções longas do sistema
SAIFI	Frequência média das interrupções longas do sistema
SEE	Sistema Elétrico de Energia
TIEPI	Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada

Capítulo 1

Introdução

1.1 Problema inicial

As interrupções breves representam cada vez mais um problema para os consumidores. No passado esse problema não existia, no entanto, atualmente é crítico devido à proliferação de equipamentos eletrónicos. Segundo o RQS a qualidade de serviço é avaliada por vários indicadores, como por exemplo o SAIDI e o MAIFI. Ao melhorar um dos indicadores estaremos a aumentar a qualidade de serviço, precisamente o que acontece ao reduzir a frequência das interrupções breves na rede, em que, estaremos a melhorar o MAIFI. Isto leva a que seja necessário adotar um comportamento pró-ativo na deteção das linhas que apresentam interrupções breves com baixa frequência, mas que ao fim de um período de tempo o somatório é significativo. Assim surge a necessidade de estudar as interrupções breves e a sua relação com vários fatores.

Estes fatores associados a cada interrupção breve são os seguintes:

- Proteção atuada;
- Tempo cronológico (dia/mês e hora);
- Tempo meteorológico (precipitação, vento, humidade e descargas atmosféricas).

Utilizando estes dados pretende-se por um lado estudar a relação entre as interrupções de uma linha e os dados disponíveis, e por outro lado facilitar a localização da causa. Esta informação é importante para que se consiga identificar a origem das interrupções atuando em 2 vertentes:

- Localização:
  - Localizador de defeitos;
  - Basculação de cargas;
  - Indicadores de passagem de defeito;
  - Informação geográfica;
- Modos de falha:

- Contornamentos (falhas de isolamento);
- Aproximação momentânea de condutores;
- Projeção de ramos, por ação do vento;
- Etc.

O desenvolvimento do trabalho terá como âmbito os seguintes pontos:

- **Escolha da amostra** - Construção de uma ferramenta que identifique linhas com interrupções breves acima de determinado valor, num determinado período. É permitido ao utilizador alterar esses parâmetros;
- **Análise do passado** - Será analisado o histórico de interrupções desde o dia 1 de Janeiro de 2015. Serão estudados os fatores associados às interrupções breves e, nas interrupções de longa duração, o modo de falha identificado;
- **Localização da origem do modo de falha** - Com base nas características das interrupções breves localizar a origem do modo de falha para que seja eliminada a causa das interrupções;
- **Eliminação da causa** - Reparar, substituir equipamento, colocar dispositivos dissuasores, etc;
- **Confirmação do fim das interrupções breves** - Confirmar que as interrupções breves terminaram.

1.2 Estrutura da dissertação

Neste ponto da dissertação é importante explicar como será apresentado o trabalho desenvolvido e apresentado.

Em primeiro lugar no capítulo 2 é feito um enquadramento ao tema da dissertação para servir como base do trabalho.

Em seguida no capítulo 3 são apresentados os processos de recolha dos dados atmosféricos e proteções atuadas.

Em seguida é feito um levantamento dos modos de falha identificados e das causas que lhes dão origem, apresentado no capítulo 4.

No capítulo 5 é feita uma primeira análise com o objetivo de conhecer os dados disponíveis e perceber como poderá ser feita a análise. É apresentada a análise PEL, onde são analisadas as interrupções breves que ocorrem nos períodos que precedem as interrupções de longa duração, relacionadas com as causas das avarias e é feita a análise às descargas atmosféricas.

Os casos práticos analisados são apresentados no capítulo 6.

No capítulo 7 é desenvolvido o processo de identificação das causas e eliminação do defeito na rede.

Por fim no capítulo 8 é apresentado o trabalho para efetuar no futuro e são reunidas as conclusões obtidas com esta dissertação.

Capítulo 2

Enquadramento

2.1 Introdução

Uma interrupção breve é uma interrupção do fornecimento de energia elétrica de duração entre 1 segundo a 3 minutos de acordo com o RQS. No entanto, no âmbito do presente trabalho, é necessário alargar este limite de 3 minutos. Há interrupções que não são consideradas breves, mas que na sequência do tempo de reposição ser superior a 3 minutos e pelo facto de não existir um defeito do tipo permanente, devem ser consideradas para este trabalho como sendo interrupções breves. Nestas interrupções o defeito é do tipo fugitivo ou semi-permanente.

Existem também casos em que os canais de comunicação entre o centro de condução e os órgãos telecomandados apresentam falhas de comunicação, e assim, por vezes, não é possível ligar o órgão telecomandado remotamente, após este ter desligado. Estas falhas de comunicação levam a que a duração da interrupção registada seja superior a 3 minutos.

Daqui em diante vamos considerar todas a interrupções com a duração inferior a 10 minutos como interrupções breves.

No período entre 1 de Janeiro de 2015 e 31 de Agosto de 2015 o número de interrupções com duração de 3 minutos a 10 minutos representa 4.6% do total das interrupções que serão consideradas como breves para análise.

2.2 Falhas

Neste trabalho serão adotados os conceitos de modo de falha, causas e efeitos para melhor perceber o que causa as interrupções na rede e como proceder para minimizar o número de interrupções breves.

Em primeiro lugar temos que definir o que é uma falha. Uma falha é a perda ou limitação da funcionalidade de um ativo da rede. Se o ativo perder uma ou várias das características com as quais foi desenvolvido, o ativo está com uma falha. As falhas podem ser de três tipos, nomeadamente:

- **Falha funcional** - É uma falha que implica a perda da funcionalidade do ativo, o que leva a uma interrupção na rede;
- **Falha latente** - É uma falha que está presente no ativo, que é identificada por inspeção. Não leva à perda de funções do ativo imediatamente, mas caso não seja eliminada irá gerar uma interrupção no futuro. Por exemplo um ponto quente;
- **Falha Oculta** - Está no sistema, mas o operador não consegue detetá-la. Quando um equipamento com uma falha oculta é solicitado este não está operacional e pode levar a uma interrupção. Por exemplo, o furto das terras de proteção ou baterias sem carga.

As falhas exprimem-se em modos de falha, que é a maneira, ou modo, pelo qual a falha pode ocorrer. As causas, que podem ser internas ou externas, são os fatores que dão origem à falha. Os efeitos da falha são as funções que são afetadas pela falha, que não podem ser executadas pelo ativo.

A relação entre causas, modos de falha e efeitos está representado na figura 2.1.

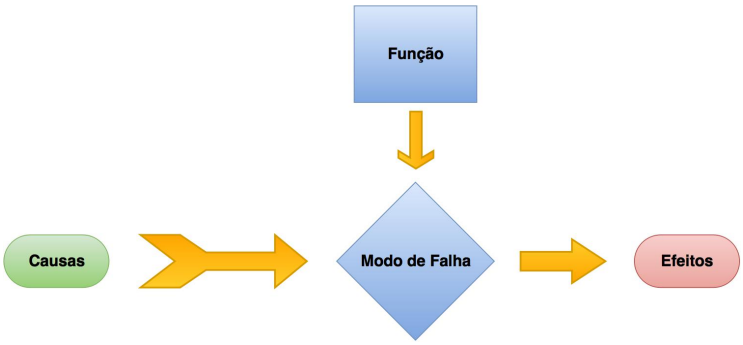

Figura 2.1: Representação do esquema de relação de causas, modos de falha e efeitos.

Podemos ver que as várias causas podem dar entrada da função em modo de falha, e por sua vez o modo de falha leva à ocorrência dos seus efeitos associados.

Vamos agora apresentar um exemplo para melhor perceber os conceitos apresentados. Um dos modos de falha que podemos encontrar na rede MT é o contacto por aproximação dos condutores. Uma das causas raiz deste modo de falha são os estorninhos, que ao levantar voo ao mesmo tempo fazem com que o condutor (fase) oscile e toque noutro condutor, nomeadamente nas linhas com condutores dispostos em galhardete ou esteira vertical. Os efeitos causados são um defeito fugitivo fase-fase. Este defeito faz atuar a proteção máximo de intensidade, que dá ordem de abertura do disjuntor e por sua vez à interrupção do fornecimento de energia elétrica.

2.3 Tipos de defeitos

Existem vários tipos de defeitos que importa distinguir para o seguimento do trabalho. São 3 os tipos de defeitos existentes:

- **Defeitos fugitivos** - Estes defeitos provocam a atuação das funções de proteção e a sua eliminação não necessita de nenhuma intervenção no local. São eliminados com uma religação rápida;

- **Defeitos semi-permanentes** - São defeitos que provocam a atuação das funções de proteção, cuja supressão não necessita de nenhuma intervenção no local. Incidem no mesmo local com intervalos de tempo curtos e sob o efeito da mesma causa. Este defeito é eliminado por uma sequência de religações lentas;

- **Defeitos permanentes** - Provocam a atuação das funções de proteção e para ser eliminados requerem a intervenção no local do defeito. Este defeito origina o disparo definitivo após uma sequência de religações lentas.

2.4 Proteções e religações

Em primeiro lugar é necessário definir como é feita a proteção de um sistema elétrico de energia e posteriormente o que é designado por proteção atuada. A representação do esquema elétrico do sistema de proteção de um SEE está representado na figura 2.2.

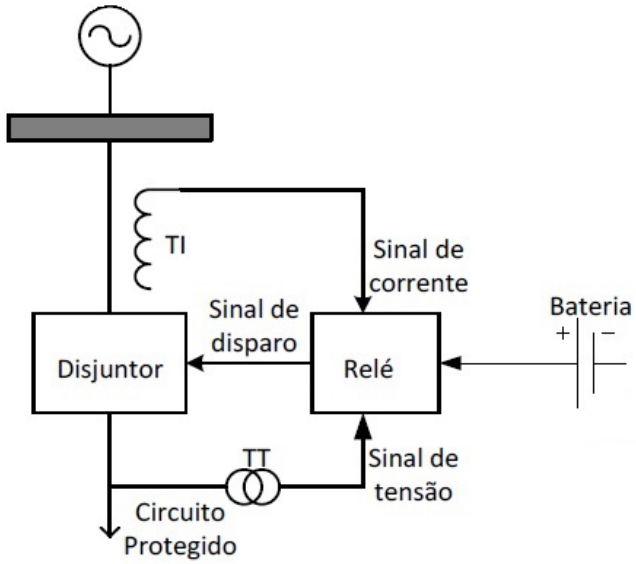

Figura 2.2: Esquema elétrico de um sistema de proteção.

Quando ocorre um defeito o disjuntor é o órgão responsável pela interrupção da corrente na linha elétrica. Para abrir, o disjuntor recebe um sinal de disparo que é emitido pelo relé, que está previamente programado.

O relé para funcionar devidamente necessita de ter conhecimento da tensão e corrente na linha, valores que recebe por comunicação dos transformadores de tensão (TT) e transformadores de corrente (TI) presentes na subestação.

A bateria permite uma alimentação contínua ao sistema de proteção para que este nunca esteja fora de serviço, o que seria muito perigoso para a rede.

Quando ocorre um defeito sucede-se a seguinte sequência de eventos:

- Na presença de defeito a tensão e corrente da linha sofrem variações;
- Os TI e TT detetam a variação de corrente e tensão e enviam esses sinais para o relé;
- O relé avalia os sinais enviados pelo TI e TT e caso determine que o serviço deve ser interrompido é emitido o sinal de disparo ao disjuntor;
- O relé dá inicio ao ciclo de religações programado.

Na condução quando se fala de proteção atuada é referida a função de proteção que deu origem ao sinal de disparo enviado pelo relé ao disjuntor.

As funções de proteção analisadas neste trabalho são: máximo de intensidade, MI, máximo de intensidade homopolar, MIH e proteção amperimétrica de terras resistentes, PATR, também designada de PTR.

São agora explicadas ao pormenor estas funções de proteção, que daqui em diante serão definidas apenas como proteção.

2.4.1 Proteção MI

A proteção MI é a proteção designada de máximo de intensidade. Esta proteção atua por um aumento anormal da magnitude de corrente na linha que está a proteger. Tem como objetivo detetar e proteger a rede de defeitos fase-fase.

2.4.2 Proteção MIH

Esta proteção é designada de proteção de máximo de intensidade homopolar. Atua com o aparecimento de uma diferença nas magnitudes das correntes das 3 fases da linha a proteger. Tem como objetivo detetar e proteger a rede de defeitos fase-terra pouco resistivos.

2.4.3 Proteção PATR

A proteção PATR que significa proteção amperimétrica de terras resistentes, tem como objetivo detetar defeitos fase-terra muito resistivos que não são detetados pela proteção MIH.

Como as proteções MI, MIH e PTR têm associados diferentes tipos de defeitos é possível relacionar as causas com as proteções atuadas.

Essas relações estão presentes na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Proteções atuadas na maioria das situações por causa.

Causa	MI	MIH	PTR
Condutores que se tocam	X		
Arco mal regulado		X	X
Árvores que tocam nas linhas		X	X
Cascas, ramos e paus de ninhos		X	X
Isolamento da rede exterior		X	X
Caixas terminais	X	X	X
Aves	X		
Nidificação cegonhas		X	

2.4.4 Religações

Importa agora abordar as religações. Uma religação é uma manobra automática de abertura, seguida do fecho do disjuntor. Dentro das religações há 2 grupos:

- **Religações rápidas (RR)** - É uma religação em que o tempo de isolamento é inferior a 0,4 segundos;
- **Religações lentas (RL)** - É uma religação em que o tempo de isolamento é da ordem das dezenas de segundos e não superior a 120 segundos.

A função de religação pode ter programadas religações rápidas e religações lentas. Sendo que podem ser possíveis até 1 RR e 2 RL. A religação rápida é sempre executada antes da religação lenta.

O modo de funcionamento habitual na rede MT é uma religação rápida seguida de 1 ou 2 religações lentas.

2.5 Hierarquia do conhecimento

A hierarquia do conhecimento é um modelo que representa as relações estruturais entre dados, informação, conhecimento e sabedoria, representada na figura 2.3.

A informação está definida em termos de dados, o conhecimento em termos de informação e a sabedoria é definida em termos de conhecimento.

Esta estrutura facilita a obtenção de sabedoria sobre um problema em estudo pois permite a quem está a resolver o problema saber em que fase está e o que precisa de ser trabalhado. Em primeiro lugar apenas estão disponíveis dados, que podem ser trabalhados em informação. Só após ter a informação bem estruturada é que se passa a ter conhecimento e chega-se ao estado de sabedoria quando já estão bem definidos vários conhecimentos.

Quando se passa de dados para sabedoria passa-se de um nível objetivo para um nível subjetivo.

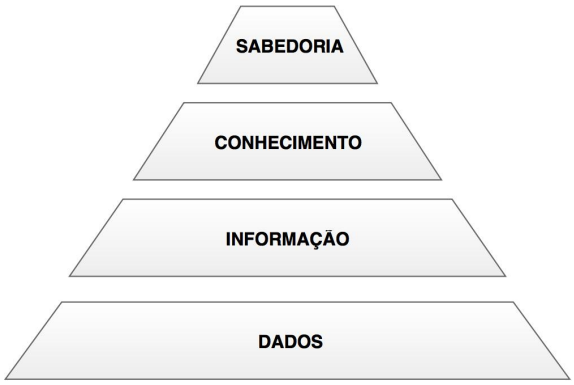

Figura 2.3: Hierarquia do conhecimento.

Dados são elementos que não estão interpretados, como por exemplo:

- Hoje é quarta-feira;
- 24 ^{o}C;
- 185 km/h;
- 24 euros;
- A velocidade máxima de rajada é de 80 km/h.

Informação são dados que têm significado num contexto próprio, após serem processados. Por exemplo:

- Estão 24 ^{o}C no Porto;
- O carro passou no pórtico a 185 km/h;
- O disco custa 24 euros;
- Quando ocorreu a interrupção a velocidade máxima de rajada nessa hora foi de 80 km/h.

Conhecimento traduz uma interpretação formal das relações entre os dados e a informação e entre várias informações, como exemplos temos:

- Se a temperatura é de 24 ^{o}C e está sol não vai chover;
- Como o carro passou a 185 km/h o condutor vai ser multado;
- Como todas as interrupções breves desta linha ocorreram com a presença de precipitação e com a proteção atuada MIH, o modo de falha é uma falha de isolamento na rede exterior.

Por fim temos a sabedoria, que é a integração e a evolução de múltiplos domínios de conhecimento ao longo do tempo. A sabedoria também permite prever tendências e novas teorias. Dois exemplos podem ser:

- Como as temperaturas vão ser baixas e a velocidade do vento alta prevê-se um aumento do consumo de energia da cidade para aquecimento;
- Quando a proteção atuada é sempre MI e as horas do disparo são coincidentes com a luz do dia a causa das interrupções poderão ser aves.
- Se a proteção atuada é sempre MIH, as interrupções ocorrem no mês de Março (mês de nidificação das cegonhas) e as horas dos disparos são coincidentes com a luz do dia as interrupções poderão ser causadas por paus de ninhos de cegonha.

No trabalho a desenvolver a estrutura do conhecimento que temos é a que está representada na figura 2.4. Nesta figura podemos ver o que é feito atualmente e o que será implementado no futuro.

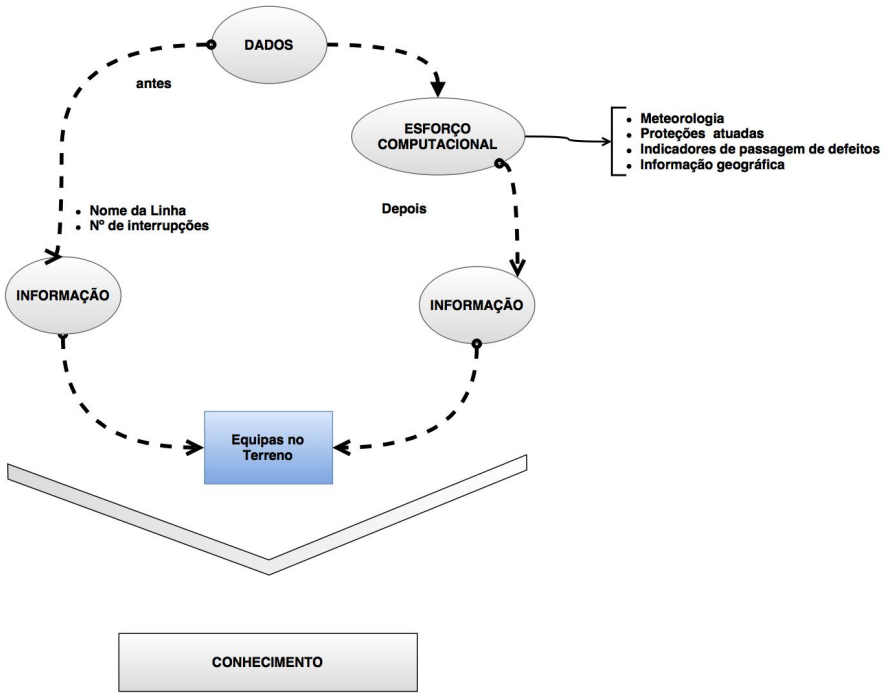

Figura 2.4: Hierarquia do conhecimento no contexto do trabalho.

Neste momento existem dados disponíveis no centro de condução que são transmitidos diretamente, na forma de dados, às equipas no terreno. No futuro, através de um processo de esforço computacional, os dados são transformados em informação. Isto vai levar a que as equipas no terreno tenham mais informação disponível para identificar as causas das interrupções breves. Esta dinâmica vai posteriormente levar ao conhecimento.

Este esforço computacional vem melhorar muito a informação passada para as equipas no terreno porque o volume de dados disponíveis é muito elevado. Se os dados não forem tratados e processados previamente em informação, arriscamo-nos a enviar demasiados dados para as equipas, que não conseguem assim obter os benefícios que os dados podem trazer.

Neste momento há um desperdício de informação contida nos dados, que será aproveitada para melhorar a qualidade de serviço.

Temos assim definida a hierarquia do conhecimento. Neste trabalho este conceito é muito importante. Temos muitos dados disponíveis e temos como objetivo a partir destes dados chegar à sabedoria. Esta hierarquização do conhecimento vem apoiar a construção de sabedoria a partir de dados.

2.6 Qualidade de serviço

A qualidade de serviço do fornecimento de energia elétrica nas redes de distribuição MT é definido com base em vários indicadores. Os valores exigidos dos indicadores para garantir a qualidade de serviço variam de acordo com as zonas de qualidade de serviço.

Em Portugal Continental existem 3 zonas de qualidade de serviço que se definem da seguinte forma:

- **Zona A** - Capitais de distrito com mais de 25 mil clientes;
- **Zona B** - Localidades com um número de clientes compreendido entre 2500 e 25000;
- **Zona C** - Os restantes locais.

O operador da rede de distribuição procede, em cada ano civil, à caracterização da continuidade de serviço da respetiva rede, devendo para o efeito, calcular os seguintes indicadores para todas as zonas de serviço:

- **SAIDI MT** - Duração média das interrupções longas do sistema na rede MT

  Representa a duração média das interrupções longas verificadas nos PdE da rede de distribuição MT num determinado período de tempo estabelecido (trimestre ou ano civil), dado por (em minutos):

$$SAIDI\ MT = \frac{\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{x} DI_{ijMT}}{k} \tag{2.1}$$

  em que:

  - DIijMT – Duração da interrupção longa i no PdE j (PTD ou PTC), em minutos;
  - k – Quantidade total de PdE da rede de distribuição MT (PTC e PTD);
  - x – Número de interrupções longas no PdE j, no período considerado.

- **SAIFI MT** - Frequência média das interrupções longas do sistema na rede MT

Representa o número médio de interrupções longas verificadas nos PdE da rede de distribuição MT, num determinado período de tempo estabelecido (trimestre ou ano civil), dado por:

$$SAIFI\ MT = \frac{\sum_{j=1}^{k} FI_{jMT}}{k} \tag{2.2}$$

em que:

- FIjMT – Número de interrupções longas nos PdE da rede de distribuição MT (PTD e PTC), no período considerado;
- k – Quantidade total de PdE da rede de distribuição MT (PTC e PTD).

- **MAIFI MT** - Frequência média das interrupções breves do sistema na rede MT

  Representa o número médio de interrupções breves verificadas na rede MT, nos PdE, num determinado período de tempo estabelecido (trimestre ou ano civil), dado por:

$$MAIFI\ MT = \frac{\sum_{j=1}^{k} BI_{jMT}}{k} \tag{2.3}$$

em que:

- BIjMT – Número de interrupções breves nos PdE, no período considerado;
- k – Quantidade total de PdE da rede de distribuição MT.

- **TIEPI MT** - Tempo de interrupção equivalente da potência instalada na rede MT

  Representa o tempo de interrupção equivalente, referente a interrupções longas, da potência instalada, num determinado período de tempo estabelecido (trimestre ou ano civil), calculado pela seguinte expressão (em minutos):

$$TIEPI\ MT = \frac{\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{x} DI_{ij} \times PI_j}{\sum_{j=1}^{k} PI_j} \tag{2.4}$$

em que:

- DIij – Duração da interrupção longa i no PdE j, em minutos;
- PIj – Potência instalada no PdE j, em kVA;
- k – Quantidade total de PdE da rede de distribuição;
- x – Número de interrupções longas no PdE j.

- **END** - Energia não distribuída

  Representa o valor estimado da energia não distribuída, nos pontos de entrega, devido a interrupções longas, dado pela expressão seguinte (em MWh):

$$END = \frac{TIEPI\ MT \times ED}{T} \tag{2.5}$$

  em que:

  - TIEPI MT – Tempo de interrupção equivalente da potência instalada na rede MT, em horas;
  - ED – Energia distribuída à rede de MT do operador da rede de distribuição, em MWh, calculada a partir da energia entregue pelo operador da rede de transporte e pelos produtores ligados às redes de distribuição, deduzida dos consumos dos clientes ligados à rede de AT;
  - T – Período de tempo considerado, em horas.

Após análise dos indicadores de qualidade de serviço, verifica-se que um dos indicadores que será melhorado com este trabalho é o MAIFI. Este indicador tem como parâmetro o número de interrupções breves na rede e um dos focos deste trabalho é precisamente reduzir no número de interrupções breves.

Como estaremos também a prevenir a ocorrência de interrupções de longa duração ao identificar defeitos nas linhas antes que originem ILD também iremos melhorar os outros indicadores da qualidade de serviço, nomeadamente o SAIDI e o SAIFI.

Capítulo 3

Recolha dos dados atmosféricos e proteções

3.1 Dados atmosféricos

A obtenção dos dados atmosféricos é feita num módulo independente para facilitar o processo de recolha. São introduzidos os dados de cada interrupção, nomeadamente, o número da ocorrência, a data, a hora, o código e o nome da linha MT. Podemos ver esta parte do processo esquematizado na figura 3.1.

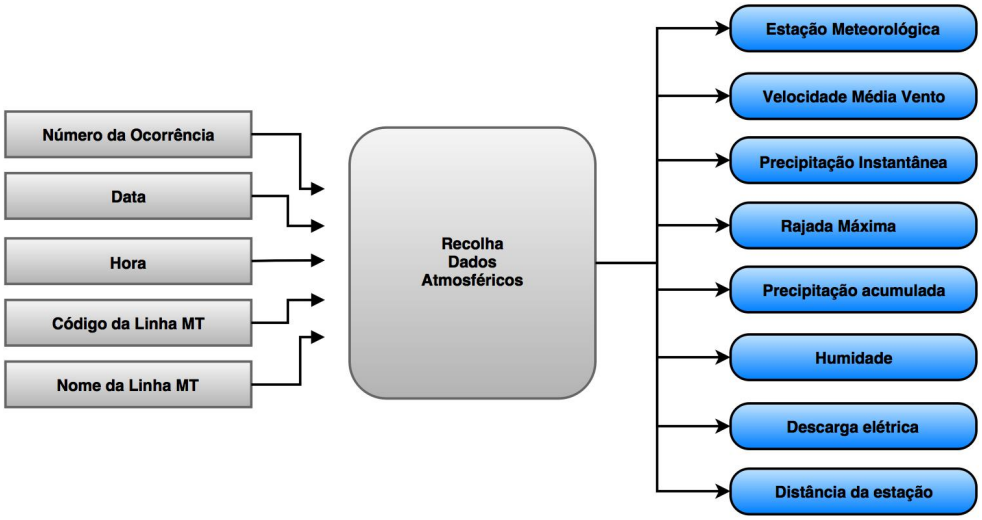

Figura 3.1: Esquema representativo da recolha dos dados atmosféricos.

Após corrido este módulo são obtidos os seguintes dados para cada interrupção: nome da estação meteorológica, temperatura, velocidade média do vento, velocidade da rajada do vento, precipitação instantânea, precipitação acumulada, humidade, distância da estação meteorológica à subestação que alimenta a linha MT e coordenadas.

A recolha dos dados atmosféricos é feita no site wunderground [10]. Neste site estão disponíveis os dados meteorológicos de inúmeras estações meteorológicas espalhadas pelo país. Este site apresenta ainda um mapa com a localização geográfica das estações, visível na figura 3.2.

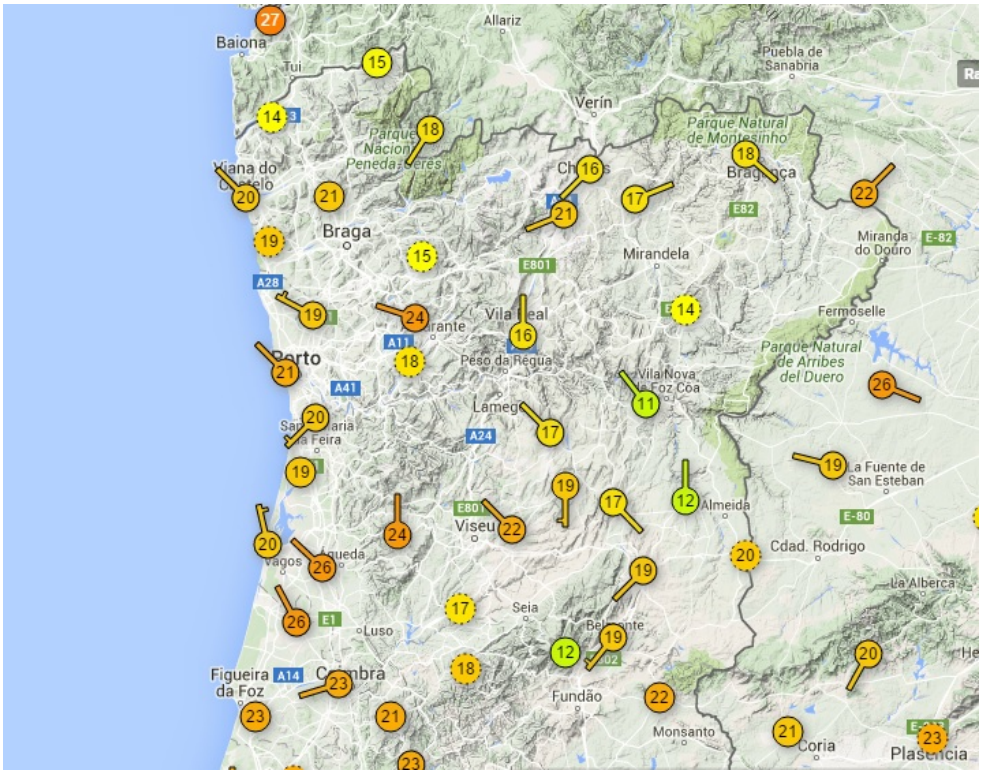

Figura 3.2: Mapa com estações meteorológicas disponíveis.

3.1.1 Escolha das estações e qualidade dos dados

A escolha da estação em que fazemos a recolha é muito importante para a qualidade dos dados obtidos. Quanto mais próxima a estação meteorológica estiver da linha, mais precisa será a informação. Como algumas linhas chegam a ter comprimentos de 100 km, incluindo os ramais, temos que definir qual será o ponto geográfico a considerar para associar à linha. Este ponto geográfico será utilizado para calcular a distância entre a linha MT e a estação meteorológica. Como todas as linhas partem de uma subestação, vamos definir para ponto geográfico de cada linha a subestação de origem da linha.

Há estações que apresentam falhas nos dados de alguns dias. Para resolver este problema foram definidos 3 níveis de recolha de dados, para cada linha, correspondendo a cada nível uma estação meteorológica.

Para ser possível efetuar o cálculo da distância da estação meteorológica à subestação de origem são necessárias as coordenadas geográficas, tanto das subestações como das estações meteorológicas. Para definir a qualidade dos dados meteorológicos, em relação à distância entre a linha e a estação meteorológica em que é feita a recolha dos dados, é calculada a distância a que

a estação meteorológica está da subestação da linha MT. De acordo com a distância é definida a qualidade da recolha de acordo com a tabela 3.1, numa escala de A a E em que a distância é dada em quilómetros. Os dados com melhor qualidade correspondem à letra A e os dados com a pior qualidade correspondem à letra E.

Tabela 3.1: Qualidade dos dados atmosféricos.

Qualidade	Distância (km)
A	[0;10]
B	]10;20]
C	]20;30]
D	]30;40]
E	]40;∞[

Os 3 níveis de recolha estão organizados por linhas, ou seja, para cada linha temos associadas 3 estações meteorológicas. A seleção das estações para os 3 níveis de recolha tem como critério de seleção a proximidade geográfica das estações meteorológicas disponíveis à subestação de origem da linha. É confirmado se têm disponíveis todos os dados meteorológicos necessários, tais como a velocidade do vento, a velocidade de rajada máxima de vento, etc. É também tida em conta a disponibilidade temporal do histórico para que este esteja disponível num longo período de tempo. Após a recolha de dados estes são analisados para validar as estações escolhidas, havendo algumas que, apresentando deficiências nos dados, são excluídas.

3.1.2 Cálculo das distâncias

Para o cálculo da distância entre dois pontos, como a estação meteorológica e a subestação, são necessárias as coordenadas geográficas dos dois pontos. Definindo R como o raio da Terra e assumindo que é 6372.795477598 km calculamos a distância entre os dois pontos com a seguinte fórmula:

$$d(A,B) = R \times acos\,[sin(latA) \times sin(latB) + cos(latA) \times cos(latB) \times cos(longA - longB)] \quad (3.1)$$

Em que:

- LatA – Latitude do ponto A;
- LongA - Longitude do ponto A;
- LatB - Latitude do ponto B;
- LongB - Longitude do ponto B.

3.1.3 Coordenadas das estações meteorológicas e subestações

As coordenadas geográficas de todas as estações meteorológicas consideradas e subestações AT/MT e MT/MT são registadas para que a sua consulta seja rápida e eficaz. As coordenadas geográficas das subestações já estão disponíveis e as coordenadas geográficas das estações meteorológicas estão disponíveis no site de recolha dos dados. Elas foram registadas para todas as estações meteorológicas consideradas.

3.1.4 Dados de entrada

Para obter os dados meteorológicos das interrupções é necessário introduzir um conjunto de dados de cada interrupção, que são:

- Número da ocorrência;
- Data;
- Hora;
- Código da linha MT;
- Nome da linha MT.

3.1.5 Processo de recolha

O Processo de recolha dos dados meteorológicos para cada interrupção está representado na figura 3.4.

O processo começa por procurar a estação primária associada, com a data do incidente, a hora e a estação. Depois é feita a importação dos dados meteorológicos do dia do incidente. Caso haja dados disponíveis passa-se para a recolha dos vários parâmetros. Se não houver são importados os dados da estação secundária e feita a recolha. Caso ainda não haja dados disponíveis, é efetuado o mesmo para a estação terciária.

Weather History Table
October 7, 2015

Download

Time	Temperature	Dew Point	Humidity	Wind	Speed	Gust	Pressure	Precip. Rate.	Precip. Accum.
12:00 AM	12.3 °C	11.7 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	2.5 mm
12:05 AM	12.3 °C	11.7 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	0 mm
12:10 AM	12.2 °C	11.6 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	0 mm
12:16 AM	12.2 °C	11.5 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	0 mm
12:21 AM	12.1 °C	11.5 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	0 mm
12:26 AM	11.9 °C	11.1 °C	95 %	NW	0 kph	0 kph	1020.2 hPa	0 mm	0 mm
12:31 AM	11.7 °C	11.1 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.5 hPa	0 mm	0 mm
12:36 AM	11.7 °C	11.1 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.5 hPa	0 mm	0 mm
12:41 AM	11.6 °C	11 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.5 hPa	0 mm	0 mm
12:46 AM	11.7 °C	11.1 °C	96 %	NW	0 kph	0 kph	1020.5 hPa	0 mm	0 mm

Figura 3.3: Exemplo dos dados disponíveis de uma estação meteorológica.

Os dados disponíveis, para cada estação, estão disponíveis da forma exemplificada na figura 3.3. Na figura podemos ver que temos disponível grande variedade de dados. No entanto apenas são importados os seguintes parâmetros:

- Humidade;
- Velocidade média do vento;
- Velocidade de rajada do vento;
- Precipitação instantânea;
- Precipitação acumulada.

Após fazer a recolha dos dados meteorológicos do dia da interrupção é recolhida a velocidade média do vento. Para a velocidade média do vento, foi definido registar a velocidade média do vento num período entre 1 hora antes e depois da interrupção. Para a rajada máxima nesse intervalo de 2 horas é procurado o valor máximo.

Para a precipitação instantânea é feita a média dos registos no período entre uma hora antes e uma hora depois da hora da interrupção. Para a precipitação acumulada é registado o valor máximo encontrado no mesmo período.

No final é calculada a distância da subestação da linha correspondente e a estação meteorológica e passa-se para a seguinte interrupção.

3.1.6 Descargas atmosféricas

Para fazer a recolha das ocorrências de descargas atmosféricas recorre-se aos dados (data, hora, e coordenadas geográficas). A recolha das descargas atmosféricas é feita de acordo com o processo exemplificado na figura 3.5.

Em primeiro lugar os dados das interrupções são ordenados por data. Para cada interrupção é verificada se a data não é superior à data do ficheiro pois se for é necessário abrir o novo ficheiro. Em seguida é verificado se no minuto de ocorrência da interrupção houve uma descarga atmosférica, se houve é calculada a distância e registada a distância entre o local da descarga atmosférica e a subestação da linha. Em seguida passa-se para a próxima interrupção.

3.2 Proteções

A identificação das proteções que dão ordem de abertura aos disjuntores é feita num módulo independente à semelhança da recolha dos dados atmosféricos. Exemplificando este processo na figura 3.6, é necessário introduzir os mesmos dados de entrada da recolha dos dados atmosféricos, nomeadamente, o código, a data e a hora da interrupção, o código e o nome da linha que sofreu a interrupção. Na saída deste módulo vamos saber quais as proteções atuadas, nomeadamente,

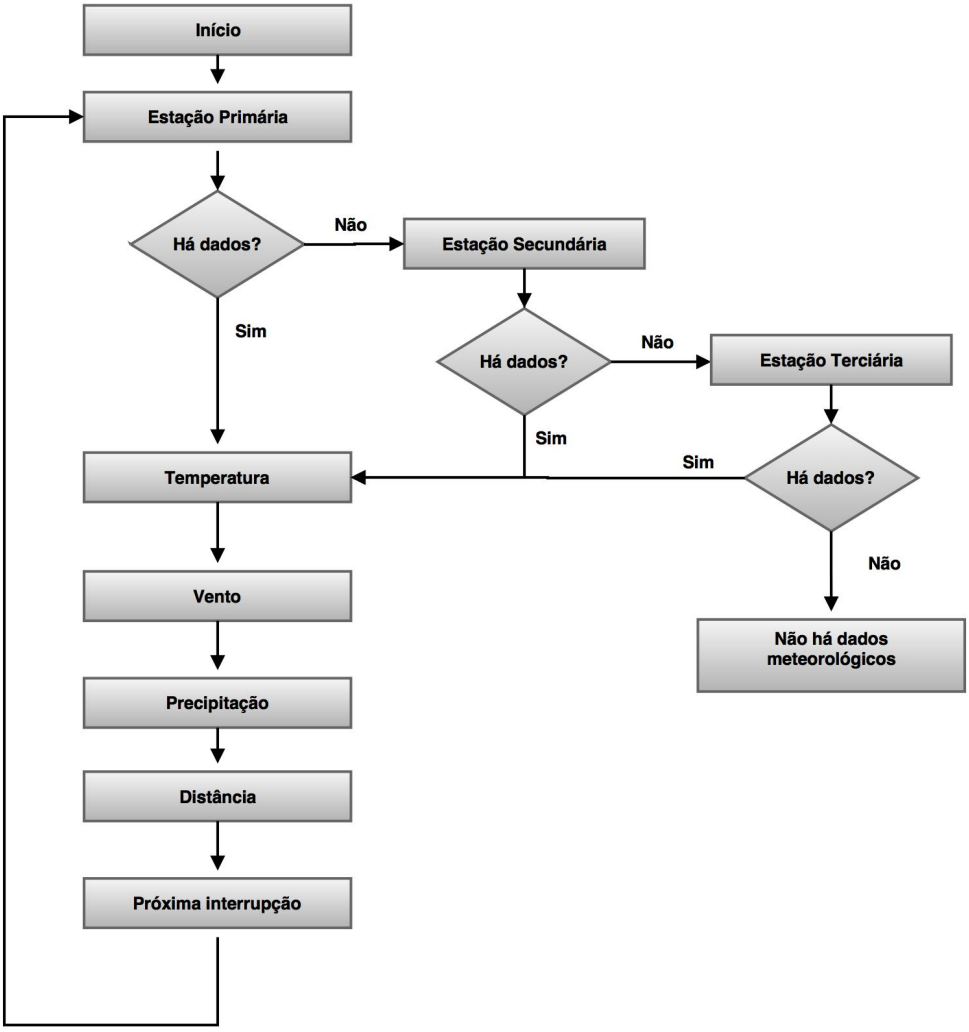

Figura 3.4: Diagrama do processo de recolha de dados atmosféricos.

máximo de intensidade, máximo de intensidade homopolar ou proteção amperimétrica de terras resistentes.

A ordem de abertura aos disjuntores pode ser feita de 2 formas: com o arranque das proteções caso seja a proteção MI ou MIH, ou por sinalização de disparo para as proteções MI, MIH ou PTR, consoante o programa de religações definido.

3.2.1 Dados de entrada das interrupções

Os dados de entrada para a identificação das proteções atuadas, são os seguintes:

- Número de ocorrência;
- Data da ocorrência;
- Hora da ocorrência;

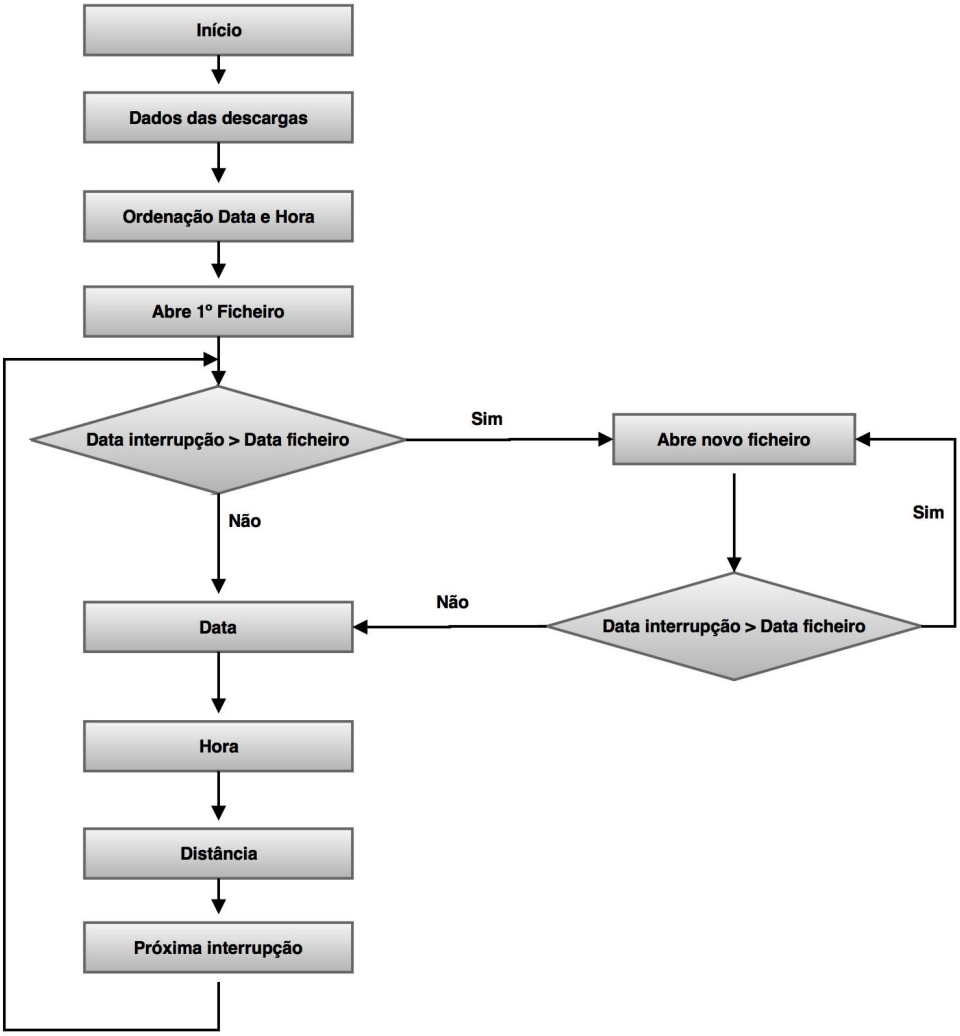

Figura 3.5: Diagrama do processo de recolha de interrupções relacionadas com descarga elétrica.

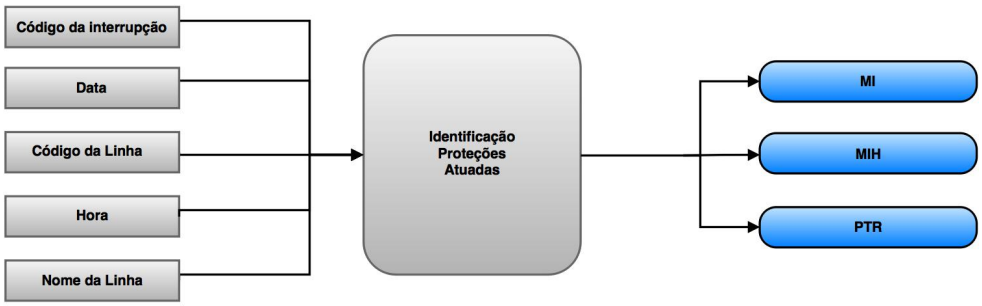

Figura 3.6: Esquema representativo da identificação das proteções atuadas.

- Código da linha MT;
- Nome da linha MT.

3.2.2 Processo de recolha

O processo de identificação das proteções que dão as ordens de abertura a disjuntores está esquematizado na figura 3.7.

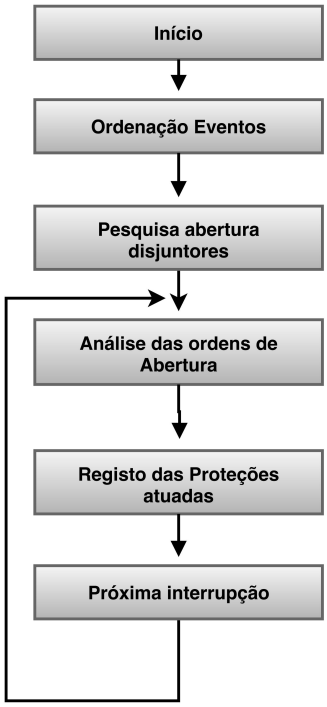

Figura 3.7: Diagrama do processo de identificação das ordens de abertura.

Inicialmente os eventos são ordenados por instalação, painel, dia e hora. Em seguida é efetuada a identificação dos eventos que estão na origem da abertura dos disjuntores. Depois para cada interrupção é efetuada a análise das ordens de abertura, explicada na figura 3.8 e a seguir descrita. São registadas as proteções atuadas e em seguida passa-se para a interrupção seguinte.

A análise das ordens de abertura que corresponde ao bloco "Análise das ordens de abertura" na figura 3.7 está esquematizado na figura 3.8. Para cada evento de abertura de disjuntor são analisados os eventos do minuto anterior. Em primeiro lugar é verificado se houve uma ordem de disparo e é registada a proteção. Caso não haja ordem de disparo são verificadas quais a proteções que registam arranque. As aberturas de disjuntores podem ser acionadas pelos arranques de proteções consoante o programa de religações que está definido para cada uma das linhas MT. Por fim são registadas as proteções, ou proteção, que deram a ordem de abertura.

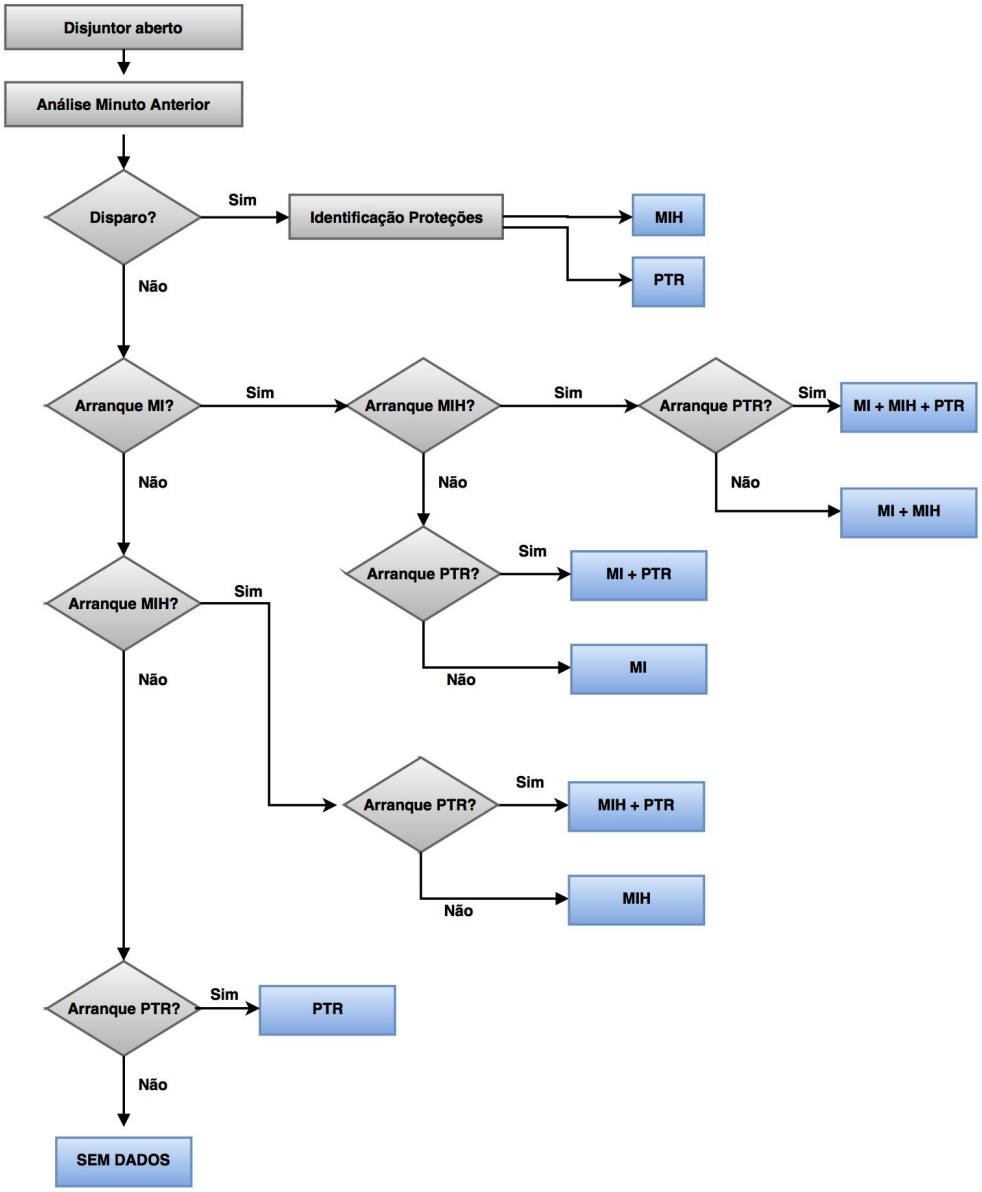

Figura 3.8: Diagrama do processo de análise das proteções atuadas.

Capítulo 4

Identificação dos modos de falha e causas

Neste ponto do trabalho torna-se necessário listar os modos de falha associados às avarias da rede MT e as causas que lhes dão origem com base nas interrupções de longa duração que ocorreram no período de 1 de Janeiro de 2015 a 31 de Agosto de 2015.

Esta listagem é necessária para fazer depois a associação das várias causas aos modos de falha e posteriormente identificar as ações que se podem tomar para prevenir os modos de falha atuando nas causas que os originam.

Na análise das interrupções breves a organização desta informação vem melhorar a identificação do elemento que está a causar as IB e fazer a sua reparação.

Por exemplo se o modo de avaria for o sobreaquecimento e rutura de um transformador de potência, substituir e reparar o transformador não é suficiente, temos que descobrir a causa e eliminá-la. Neste caso a causa pode ser a utilização acima dos limites e enquanto a causa não for eliminada teremos recorrentemente o transformador a entrar em modo de falha.

Em primeiro lugar é feita uma listagem dos modos de falha relacionados com as interrupções breves. Listados em seguida:

- Contacto entre condutores;
- Contacto de árvores com condutores;
- Contacto de arco com apoio;
- Falha de acessórios;
- Objetos estranhos na rede;
- Falha de isolamento (rede MT interior);
- Falha de isolamento (rede MT Exterior);

Como causas foram identificadas as seguintes:

- Aves;
- Vento;
- Humidade;
- Precipitação;
- Descargas atmosféricas;
- Diagrama de cargas;

Em primeiro lugar tem-se que descrever o ciclo, para os ativos, que relaciona a falha latente e a falha ativa. Esta relação está representada na figura 4.1, na qual podemos ver todo o ciclo de uma falha, num ativo.

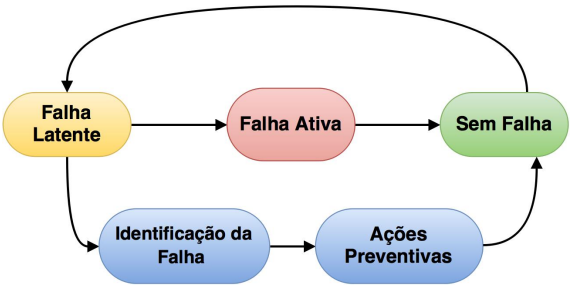

Figura 4.1: Relação entre as falhas latentes e ativas.

Em primeiro lugar o ativo não apresenta falhas, fase colorida de verde. Por variadas razões o ativo passa a sofrer de uma falha latente. À medida que o tempo passa é mais provável que a falha latente se altere para uma falha ativa, fase colorida de vermelho. Que irá dar origem à interrupção de serviço.

No entanto, se a falha latente presente no ativo for detetada e identificada é possível tomar ações preventivas e reparar a falha latente. Assim o ativo não vai sofrer de uma falha ativa. Previne-se assim a interrupção que resultaria da falha.

A questão que se coloca a seguir é como se podem identificar as falhas latentes? É aqui que entram as interrupções breves. Como está exemplificado na figura 4.2, as interrupções breves são um indicio de que poderá haver uma falha latente nos ativos. Ou seja, se a linha está a ter interrupções breves é porque poderá apresentar uma falha latente.

A caracterização da falha latente é muito importante para fazer depois a sua deteção no terreno. Isto porque há algumas linhas com comprimento superior a 100 km, e outras com muitos postos de transformação, que são elementos que podem estar na origem das IB. Ainda que não se consiga determinar em específico qual a falha latente, restringir o grupo de falhas latentes possíveis é uma melhoria na deteção da falha latente no terreno.

Mas como se pode identificar quais são as falhas latentes de que a linha pode estar a sofrer? A resposta para esta pergunta é dada através das causas identificadas. Se identificarmos as causas podemos perceber quais são os modos de falha possíveis e assim podemos eliminar a falha latente.

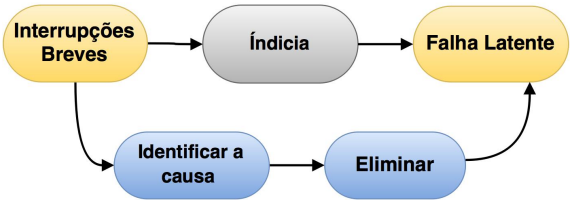

Figura 4.2: Relação entre as interrupções breves e as falhas latentes.

Por exemplo se a análise identifica o modo de falha "contacto de árvores com os condutores"com causa vento, justifica-se efetuar o percorrido apenas no traçado que a linha atravessa zonas arborizadas.

Agora torna-se oportuno identificar 3 relações entre os conceitos já abordados.

A primeira relação é entre causas e modos de falha. Os modos de falha são precedidos da ocorrência das causas que lhe estão associadas, ou seja, os equipamentos só entram em determinado modo de falha se existirem as causas que lhe dão origem. Se a análise identificar o modo de falha que o ativo pode incorrer no futuro, modo de falha futuro, podemos intervir na eliminação das causas e evitar a interrupção de longa duração, quando se iniciam as IB.

A segunda relação é a que existe entre as IB e uma ILD. Há casos em que quando os ativos sofrem uma ILD, esta é precedida de uma série de IB, que se manifestam em conjunto com o aparecimento da causa do modo de falha.

A terceira relação é a relação já enunciada entre as falhas latentes e as falhas ativas. Agrupando estas 3 relações num esquema obtemos o esquema da figura 4.3.

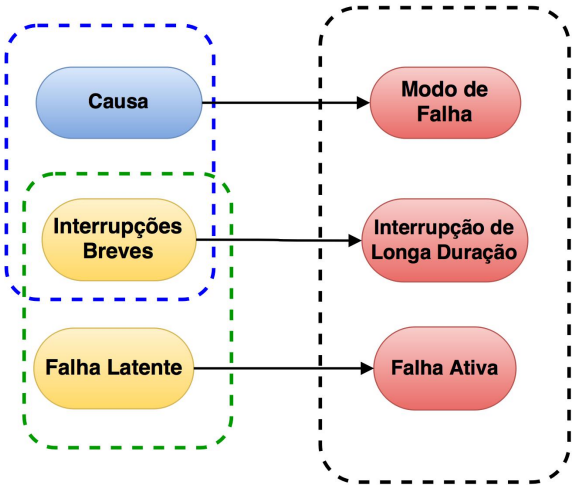

Figura 4.3: Esquema do relacionamento entre IB, falhas e causas.

Após referir as relações horizontais existentes no esquema importa também referir as relações verticais que existem, para melhor perceber o problema.

Podemos ver que do lado direito existe uma relação direta entre os três conceitos. Quando o ativo sofre de uma falha ativa, entra em modo de falha e uma avaria permanente.

Já do lado esquerdo temos uma relação um pouco diferente: uma entre as interrupções breves e a causa e a outra relação é entre as interrupções breves e a falha latente.

Temos como objetivo impedir o ativo de ter uma avaria ativa, que implica uma ILD, e os dados que temos para analisar são as interrupções breves e as suas características. Com esta análise identificam-se as causas e os modos de falha futuro associados e podemos assim intervir na rede para que os elementos que constituem a linha não cheguem a entrar em modo de falha.

Por exemplo se o modo de falha é a aproximação e contacto entre condutores, e a causa são os estorninhos, as IB apenas vão-se manifestar quando há atividade dos estorninhos, que é de dia. Logo se as IB ocorrem apenas durante o dia, há uma forte probabilidade de serem os estorninhos, a causa do modo de falha.

Há causas que são aleatórias e que levam a defeitos permanentes. A sua ocorrência implica imediatamente a entrada em modo de falha pelo que não faz sentido serem analisadas. São exemplos o vandalismo ou um cabo danificado numa escavação. Não é possível extrair qualquer relação destes exemplos com as interrupções breves.

Torna-se assim evidente que apenas será interessante no âmbito deste trabalho que as causas a ser analisadas são aquelas que levam à ocorrência de falhas latentes ou que apresentam defeitos fugitivos ou semipermanentes.

Temos assim identificadas as causas que interessa analisar no âmbito deste trabalho. Podemos assim com as características das IB descobrir quais são as causas que estão a provocar as falhas.

Agora importa ainda diferenciar as causas em termos da sua origem. É necessário perceber se a origem das causas está na própria rede, ou em fatores externos à rede.

Fazemos então essa divisão em seguida:

- Causas que estão na própria rede (elementos da rede com falha latente):
  - Corrosão, desgaste ou envelhecimento de equipamentos (precipitação/humidade);
  - Isoladores (precipitação/humidade);
  - Arcos (vento);
  - Seccionadores (precipitação/humidade);
  - DST (precipitação/humidade).
- Causas externas à rede, que em contacto com a rede provoca um curto-circuito (não há avaria na rede):
  - Descargas atmosféricas;
  - Ramos;
  - Aves;
  - Árvores;

Outro aspeto que importa realçar é a distinção da correção das causas de interrupções breves, como por exemplo a substituição de um isolador perfurado ou o corte de uma árvore, daquelas cuja correção implica um investimento na rede, que só pode ser feito a médio/longo prazo, como é o exemplo da alteração da disposição dos condutores, em zonas com a presença de estorninhos.

Entre um e outro caso, a resolução do problema é diferente, sendo o primeiro caso muito mais fácil de resolver, enquanto que o segundo pode implicar alterações na rede de distribuição, com investimentos avultados, que têm que passar por um processo de aprovação.

Capítulo 5

Análise de dados

5.1 Análise inicial

Como primeira abordagem ao problema identificado foi feita a análise de um período reduzido de tempo para ter um primeiro contacto com os fatores identificados. E também para perceber como analisar os fatores e como se relacionam entre si. O período considerado foi o primeiro trimestre de 2015. Os fatores identificados para relacionar com as interrupções breves são:

- Tempo meteorológico
  - Vento;
  - Precipitação;
  - Humidade;
  - Descargas atmosféricas.
- Tempo cronológico
  - Hora do dia;
  - Dia/mês.
- Proteções atuadas
  - MI (Máximo de intensidade);
  - MIH (Máximo de intensidade homopolar);
  - PTR (Proteção terras resistentes).

O ponto de partida é o relatório das interrupções que ocorreram no período em estudo. Nesta lista com todas as interrupções são identificadas as causas que poderão estar relacionadas com as interrupções breves que estão listadas na tabela 5.1. São consideradas todas as interrupções com menos de 10 minutos de duração, inclusive.

Tabela 5.1: Causas relacionadas com as interrupções breves.

Código de Causa	Causa
226	Neve ou gelo
227	Neve ou gelo de intensidade excecional
328	Contornamentos por condensação
341	Defeito de isolamento
343	Mau contacto de fase
349	Faixas de protecção insuficientes
350	Condutores desregulados
360	Utilização acima das características
702	Aves
705	Animais não aves
780	Corpos estranhos na rede
800	Desconhecidas
820	Chuva
821	Vento
833	Nevoeiro
835	Trovoada

Para as interrupções analisadas foram obtidos os dados atmosféricos e as proteções atuadas correspondentes, usando os processos de recolha exemplificados no capítulo 3.

Em seguida todas as interrupções foram organizadas por linhas. São registados para cada linha MT o seu código, o número de interrupções, os dados atmosféricos e as proteções atuadas de cada interrupção. Em seguida as linhas são ordenadas segundo o nº de interrupções. A análise dos dados atmosféricos e das proteções atuadas é feita individualmente para cada um dos critérios.

5.1.1 Caracterização e análise por critério

5.1.1.1 Índice de preponderância

Para analisar alguns dos critérios será desenvolvido um método denominado por "índice de preponderância". Este índice é uma referência da localização de cada fator na escala definida para cada um. Este índice é adimensional e assim sendo não apresenta unidades.

Este método começa com a definição da escala dos valores a analisar. Como exemplo vamos admitir que estamos a analisar a velocidade média do vento de 41 interrupções. A escala é dividida em 6 intervalos, em que é atribuído um valor de 1 a 6 a cada intervalo. Para cada interrupção, é atribuído o valor de 1 a 6 de acordo com o valor da velocidade média do vento na escala. Neste exemplo podemos observar que há 17 interrupções com valor atribuído 6, 16 interrupções com o valor atribuído 5, 2 interrupções com valor atribuído 4 e 6 interrupções com valor atribuído 3. Fazendo a média ponderada dos valores atribuídos obtemos um indicador da zona onde se encontram os valores na escala. Por exemplo para estes disparos a média é de 5.07 que está identificada pela seta na figura 5.1. O valor do índice representa a distribuição na escala dos valores analisados.

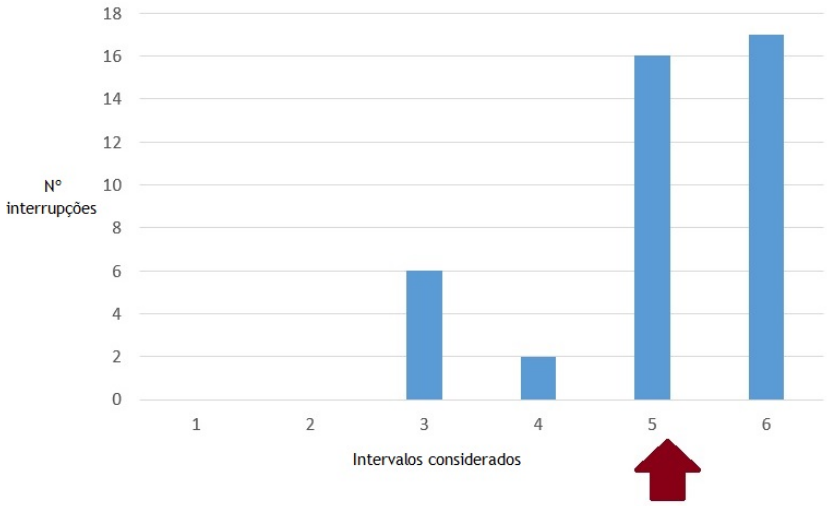

Figura 5.1: Exemplo do índice de preponderância.

Neste exemplo o índice de 5.07 significa que as velocidades médias da velocidade do vento das interrupções tiveram valores altos.

5.1.1.2 Vento

Para analisar o fator vento os valores da velocidade média e rajada máxima do vento de cada interrupção são ordenados por linhas. Para cada linha os valores de rajada máxima são organizados por níveis correspondentes à tabela 5.2 e usado o método descrito anteriormente.

Tabela 5.2: Escalões para os valores da rajada máxima.

Intervalos (km/h)	Valor atribuído
0-10	1
11-20	2
21-30	3
31-40	4
41-50	5
>50	6

Como exemplo está na figura 5.2 disponível o gráfico com as velocidades de rajada das interrupções da linha MT A com um índice de preponderância de 5.22.

Para a velocidade média do vento foi seguido o mesmo procedimento mas com os valores dos intervalos diferentes, apresentados na tabela 5.3.

Para exemplificar as velocidades médias do vento são usadas as interrupções da linha MT B, apresentadas no gráfico da figura 5.3 que tem um índice de preponderância de 1.875.

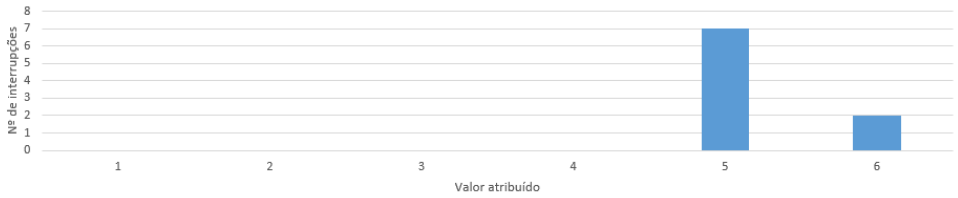

Figura 5.2: Distribuição da rajada máxima das interrupções da linha MT A pelos intervalos considerados.

Tabela 5.3: Escalões para os valores da velocidade média do vento.

Intervalos (km/h)	Valor atribuído
0-5	1
6-10	2
11-15	3
16-20	4
21-25	5
>25	6

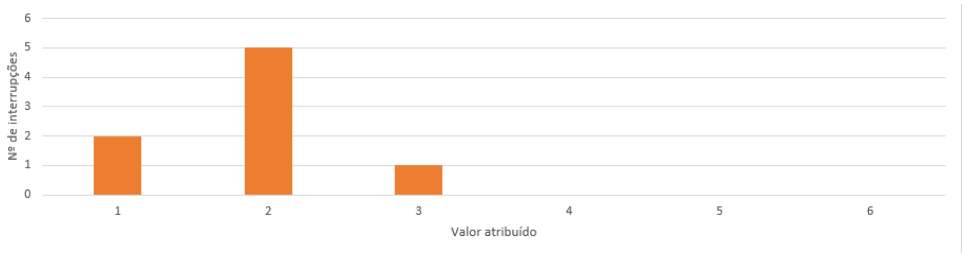

Figura 5.3: Distribuição das velocidades médias do vento das interrupções da linha MT B pelos intervalos considerados.

5.1.1.3 Precipitação

A Precipitação é analisada usando o mesmo método do índice de preponderância descrito acima, apenas variando os intervalos, identificados na tabela 5.4.

Tabela 5.4: Escalões para os valores da precipitação instantânea.

Intervalos (mm)	Valor atribuído
0	1
0.1-1	2
1.1-3	3
3.1-5	4
5.1-10	5
>10	6

Como exemplo para a precipitação instantânea é apresentado o gráfico na figura 5.4 com os valores da precipitação da linha MT C com um índice de preponderância de 2.66.

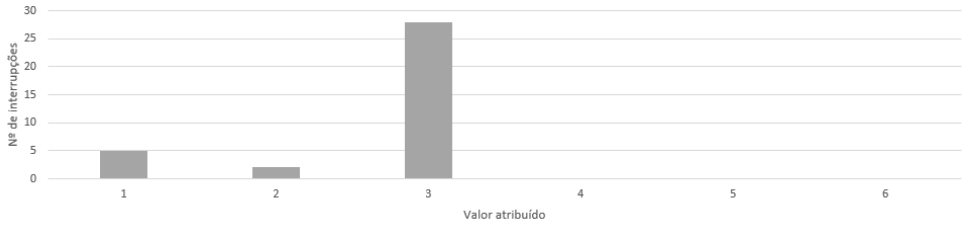

Figura 5.4: Distribuição dos valores da precipitação instantânea das interrupções da linha MT C pelos intervalos considerados.

Para a precipitação acumulada foram usados os intervalos presentes na tabela 5.5. Está também na figura 5.5 disponível o gráfico com os valores da precipitação acumulada das interrupções da linha MT D com um índice de preponderância de 3.5.

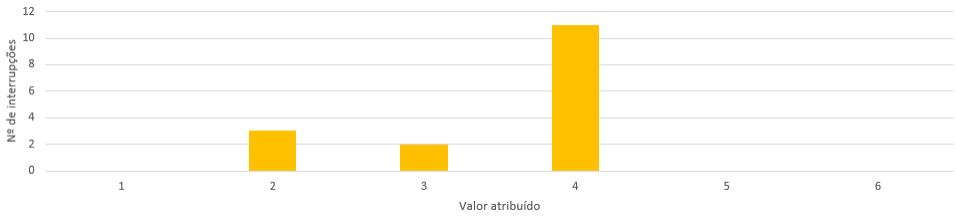

Figura 5.5: Distribuição dos valores da precipitação acumulada das interrupções da linha MT D pelos intervalos considerados.

5.1.1.4 Humidade

Para a humidade é usado o mesmo método com os intervalos presentes na tabela 5.6. Apesar de a escala ir de 0 a 100%, na prática em Portugal a humidade nunca apresenta valores inferiores

Tabela 5.5: Escalões para os valores da precipitação acumulada.

Intervalos (mm)	Valor atribuído
0	1
0.1-5	2
5.1-10	3
10.1-20	4
20.1-30	5
>30.1	6

a 50%.

Está exemplificada na figura 5.6 com os valores de humidade das interrupções da linha MT E com um índice de preponderância de 4.7.

Tabela 5.6: Escalões para os valores da humidade.

Intervalos (%)	Valor atribuído
0-20	1
21-40	2
41-60	3
61-75	4
76-90	5
>91	6

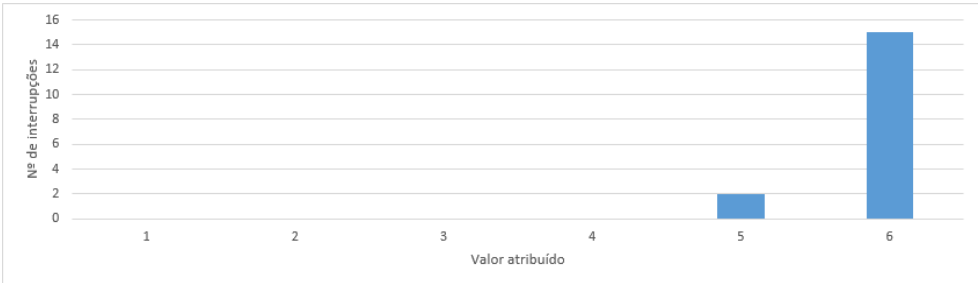

Figura 5.6: Distribuição dos valores da humidade das interrupções da linha MT E pelos intervalos considerados.

5.1.1.5 Descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas podem ser negativas ou positivas. Como o que é relevante é a intensidade da descarga, podemos considerar apenas o módulo da intensidade das descargas. O método de análise é o usado anteriormente e a tabela com os intervalos considerados está presente na tabela 5.7.

Tabela 5.7: Escalões para os módulos da intensidade das descargas atmosféricas.

Intervalos (kA)	Valor atribuído
Não há	1
0-10	2
11-20	3
21-40	4
41-80	5
>81	6

5.1.1.6 Tempo cronológico

A análise do tempo cronológico não é feita com o método do índice de preponderância. Esta análise é feita visualmente agrupando as interrupções por hora que ocorreram obtendo assim as interrupções que ocorreram a cada hora diária. Cada período horário decorre entre o minuto 0 e 59 de cada hora. Com os dados é construído um gráfico. Ao ser analisado visualmente, é verificado se há um comportamento horário das interrupções. Temos como exemplo a distribuição horária das interrupções da linha MT F na figura 5.7 em que podemos ver que todas as interrupções ocorreram entre as 13:00 e as 16:59 horas.

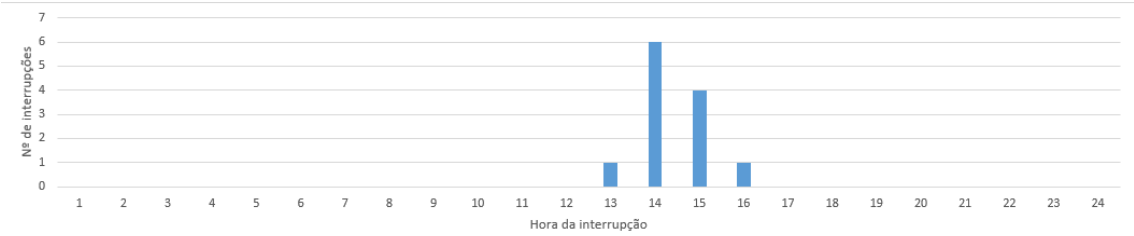

Figura 5.7: Distribuição da hora de ocorrência das interrupções da linha MT F pelos intervalos considerados.

5.1.1.7 Proteções

Para fazer a identificação das proteções atuadas as interrupções são organizadas por linha elétrica. De acordo com a proteção atuada, podem ser agrupados nos seguintes grupos, indicados na tabela 5.8. As proteções atuadas nas interrupções da linha MT F são apresentadas na figura 5.8.

Após as proteções atuadas estarem organizadas pelos intervalos é verificado o rácio entre o intervalo com mais interrupções e a soma de todas as interrupções. Este rácio permite saber se o disparo é sempre acionado pelas mesmas proteções.

5.1.2 Exemplos

Para ter uma visão geral de todos os fatores em conjunto vamos analisar 2 linhas MT que registaram IB, durante um período de tempo. As linhas selecionadas são as linhas MT G e H.

Tabela 5.8: Escalões das proteções atuadas.

Proteções atuadas	Valor atribuído
Não identificada	1
MI	2
MIH	3
PTR	4
MIH + MI	5
MI + PTR	6
MIH + PTR	7
MI + MIH +PTR	8

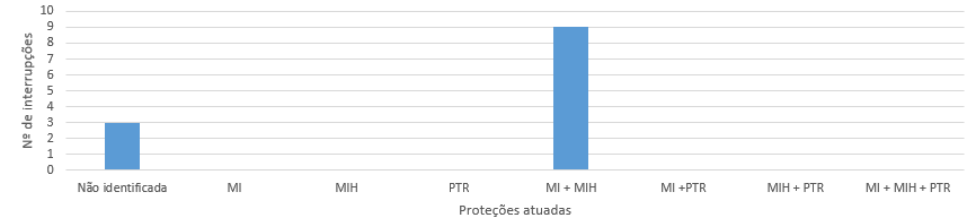

Figura 5.8: Distribuição das proteções atuadas nas interrupções da linha MT F pelos intervalos considerados.

5.1.2.1 Linha MT G

Para esta linha foram recolhidos os fatores atmosféricos e feita a análise descrita anteriormente. Após a análise obtiveram-se para os vários fatores os índices de preponderância presentes na tabela 5.9.

Tabela 5.9: Índices de preponderância obtidos para a linha MT G.

Proteções atuadas	Índices de preponderância
Velocidade de rajada do vento	5.8
Velocidade média do vento	5.5
Precipitação instantânea	1
Precipitação Acumulada	1
Humidade	3.9
Descargas atmosféricas	1

No gráfico da figura 5.9 podemos ver a distribuição dos valores da rajada máxima e velocidade média do vento, precipitação instantânea e acumulada, humidade e trovoada.

Esta linha teve no total 8 interrupções. Podemos observar que para 7 das 8 interrupções há a presença de vento forte, superior a 50 km/h. Em termos de precipitação e trovoada não há incidência destes fatores, tal como a humidade. Verifica-se a relação dos fatores atmosféricos com o índice de preponderância. Para a rajada máxima e velocidade média do vento o índice de preponderância é alto, 5.8 e 5.5, respetivamente. Para a humidade é de 3.9. Para a precipitação instantânea e acumulada, e trovoada o índice de preponderância é baixo, com valor de 1. O gráfico

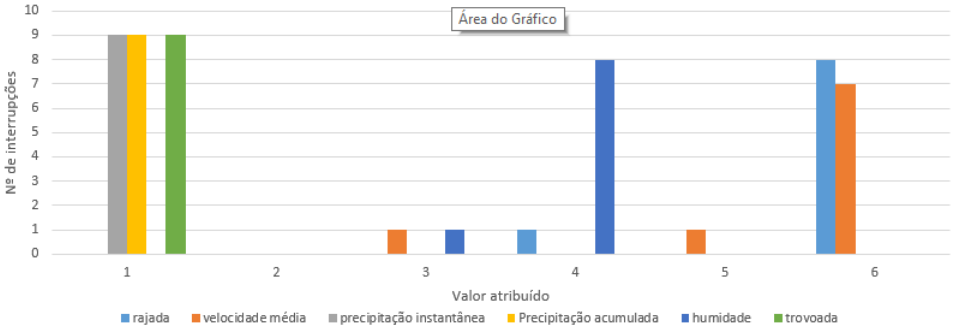

Figura 5.9: Distribuição dos fatores atmosféricos da linha MT G.

com a distribuição horária para esta linha está representada na figura 5.10, onde estão presentes as interrupções distribuídas por hora de ocorrência.

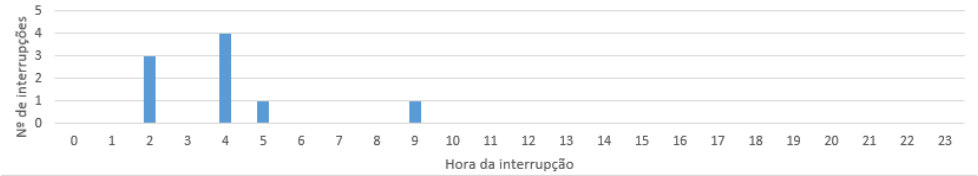

Figura 5.10: Distribuição horária das interrupções da linha MT G.

Podemos verificar que a maior parte das interrupções breves ocorre no período noturno. As proteções atuadas para as interrupções desta linha estão presentes no gráfico da figura 5.11.

Figura 5.11: Distribuição das proteções atuadas da linha MT G.

As proteções atuadas maioritariamente nesta linha são MIH e PTR, o que sugere um defeito do tipo fase-terra. Ao analisar as interrupções longas que ocorreram nesta linha, no período, existem duas interrupções longas. Numa delas a causa foram ramos nas linhas e na outra uma queda de árvore. Como a incidência de vento é significativa e o traçado da linha MT atravessa uma zona com árvores, poderá haver uma relação do vento com as interrupções breves nesta linha.

5.1.2.2 Linha MT H

Foram recolhidos os fatores atmosféricos para as interrupções desta linha e feita a sua análise. Da análise obtêm-se os índices de preponderância, presentes na tabela 5.10. No gráfico da figura 5.12 podemos ver a distribuição dos valores da rajada máxima e velocidade média do vento, precipitação instantânea e acumulada, humidade e trovoada.

Tabela 5.10: Índices de preponderância obtidos para a linha MT H.

Fatores atmosféricos	Índices de preponderância
Velocidade de rajada do vento	2.3
Velocidade média do vento	2.9
Precipitação instantânea	4
Precipitação Acumulada	3.4
Humidade	5
Descargas atmosféricas	1

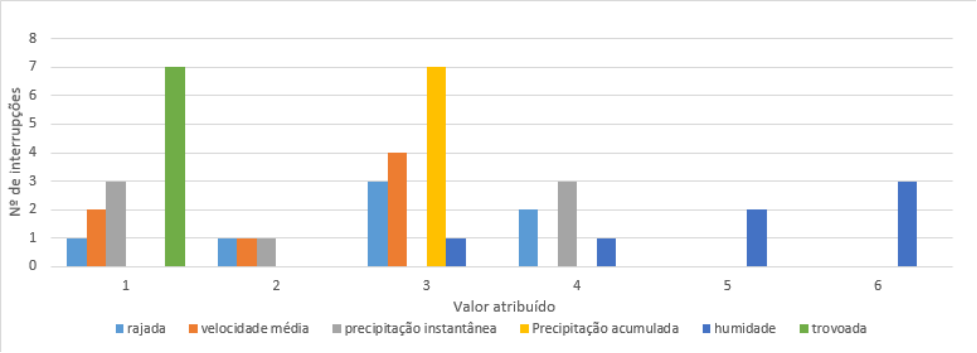

Figura 5.12: Distribuição dos fatores atmosféricos da linha MT H

Podemos observar que para esta linha temos incidência de precipitação, tanto instantânea como acumulada. Também há uma presença elevada de humidade. Confirma-se pelos índices de preponderância, para a precipitação instantânea temos um índice de 4, para a precipitação acumulada temos um índice de 3.4 e para a humidade temos um índice de 5. O gráfico com a distribuição horária das interrupções desta linha está presente na figura 5.13.

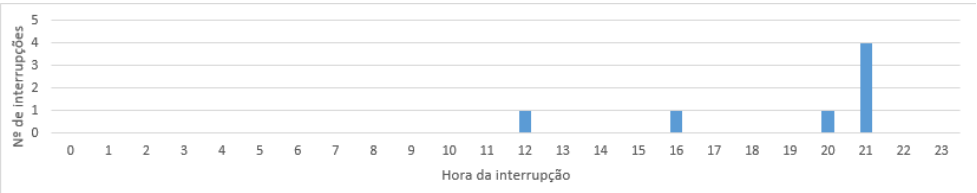

Figura 5.13: Distribuição horária das interrupções da linha MT H.

Podemos observar que 5 das 7 interrupções ocorrem entre as 20:00 e as 21:59 horas. As proteções atuadas, no momento das interrupções, estão presentes no gráfico da figura 5.14.

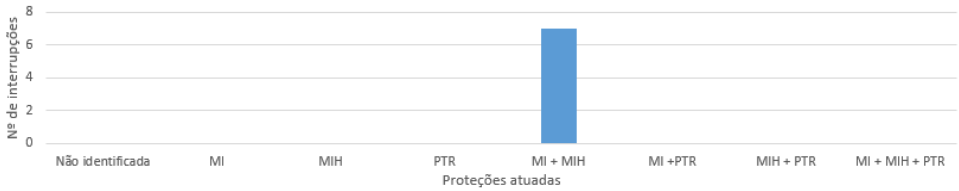

Figura 5.14: Distribuição das proteções atuadas da linha MT H.

Podemos observar que as proteções atuadas maioritariamente nesta linha são MI e MIH.

5.1.3 Considerações

No período analisado há linhas que tiveram várias interrupções de longa duração. Quando a linha tem uma interrupção longa é reparada a avaria associada à interrupção. Estas reparações eliminam o defeito que estava a causar as interrupções breves, que pode alterar o padrão das linhas em termos de fatores atmosféricos registados nas interrupções breves. Assim ao analisar todas as interrupções breves de cada linha em conjunto estamos a camuflar os padrões que precedem as avarias e a dificultar a análise.

A solução para este problema é analisar em conjunto apenas as interrupções breves que ocorreram em cada período entre as interrupções de longa duração.

Com esta análise é possível identificar linhas que sofrem com os vários fatores considerados, que podem ser relacionados com as causas do defeito. Por exemplo linhas que atravessam zonas arborizadas e que sofrem a ação do vento. É também possível identificar as linhas MT mais problemáticas desde o início do ano, sendo a linha MT I com 48 interrupções breves e a linha MT J com 41 interrupções breves.

5.2 Análise dos períodos entre longas

Após fazer a análise inicial e analisar as causas que dão origem às interrupções breves, é necessário ter em conta as interrupções de longa duração. Isto porque as ILD têm origem num defeito do tipo permanente. O defeito permanente só é corrigido com a reparação da avaria associada, o que leva a que a causa das IB seja eliminada. Assim os padrões dos fatores associados às IB, posteriores às ILD, alteram-se.

Para ter em conta as ILD vamos fazer a análise das IB que ocorrem nos períodos entre 2 ILD. É assim definido um PEL (Período entre longas), como o conjunto de IB que ocorrem no período entre a ocorrência de 2 ILD. Esta análise é feita com o intuito de identificar quais os fatores associados predominantes nas IB que precedem cada modo de falha.

Para esta análise foram utilizadas as interrupções de 1 de Janeiro a 31 de Agosto de 2015.

Os períodos PEL são construídos de acordo com o processo da figura 5.15.

As interrupções são ordenadas por linha e por ordem cronológica. Se a interrupção é de outra linha fecha o período atual e abre um novo período. Se a interrupção é de longa duração é fechado

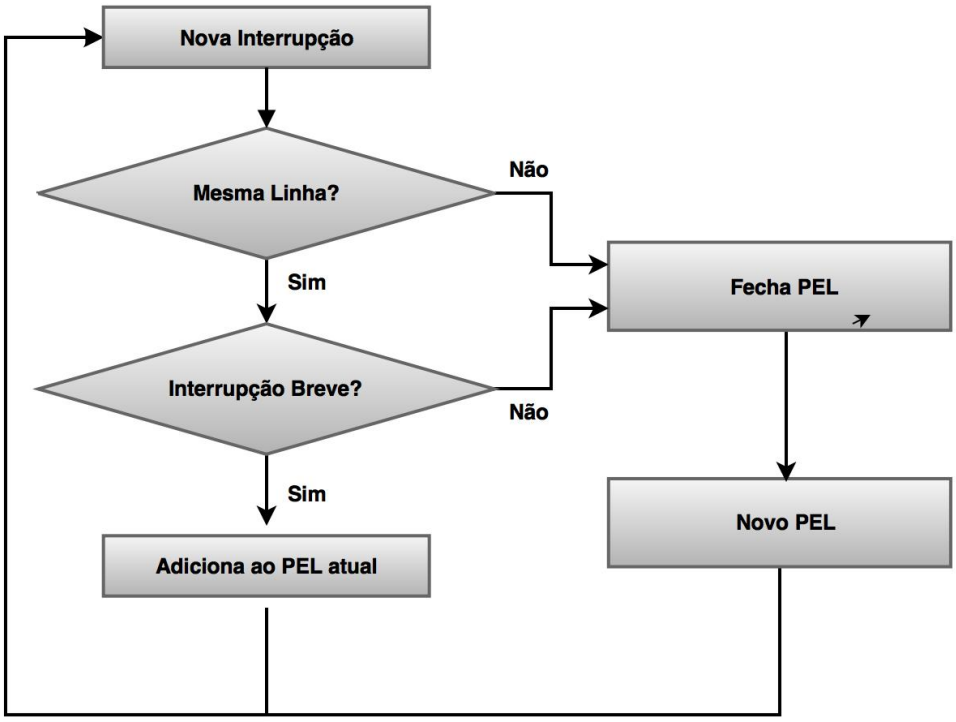

Figura 5.15: Esquema representativo da construção dos PEL.

o período e iniciado um novo. Sempre que se fecha o período é também registada a interrupção longa associada ao período, caso exista.

Após obter todos os períodos de interrupções, quer seja entre longas, ou aqueles em que não há nenhuma interrupção longa associada é necessário filtrar os períodos e ficar apenas com os PEL.

Foram selecionados para análise apenas os PEL com 3 ou mais IB sendo identificados 370 PEL.

É feita uma análise para cada um dos critérios para cada um dos PEL usando a metodologia do índice de preponderância descrita no capítulo 5 e usando os indicadores da tabela 5.11, para de forma automática, identificar se os vários fatores atmosféricos são predominantes.

Tabela 5.11: Índices de preponderância usados na análise PEL.

Critério	Indicador
Rajada máxima do vento	3.8
velocidade média do vento	3.4
Precipitação instantânea	1.8
Precipitação acumulada	1.8
Humidade	5

O critério horário e proteção atuada nesta análise não são analisados pois para estes critérios não é possível fazer uma análise quantitativa e automática.

5.2.1 Análise dos modos de falha vs critérios atmosféricos

Os modos de falha que serão analisados estão presentes na tabela 5.12.

Tabela 5.12: Modos de falha analisados na análise PEL.

Modos de falha
Arcos que tocam nos apoios
Árvores que tocam nos condutores
Falhas de isolamento em DST's
Falhas de isolamento em isoladores
Ramos suspensos nos condutores ou apoios
Falhas de isolamento em seccionadores

Para cada modo de falha é analisada a percentagem de períodos em que há incidência dos fatores atmosféricos. As percentagens obtidas são apresentados em seguida para cada modo de falha e estão presentes na tabela 5.13.

Tabela 5.13: Percentagem de PEL com incidência dos dados atmosféricos para os vários modos de falha.

Modo de falha	Vento	Precipitação	Humidade
Arcos que tocam nos apoios	33%	63%	40%
Árvores que tocam nos condutores	23%	73%	37%
Falhas de isolamento em DST's	6%	61%	56%
Falhas de isolamento em isoladores	18%	49%	27%
Ramos suspensos nos condutores ou apoios	60%	80%	80%
Falhas de isolamento em seccionadores	13%	69%	44%

Observando os modos de falha e os fatores associados às IB podemos perceber que há uma relação forte da precipitação e humidade com as IB e uma baixa relação das IB com o vento.

5.2.2 Considerações

Foi encontrada uma relação das IB com a precipitação e a humidade. Esta relação pode ser justificada com o facto de a água ser condutora e a sua presença levar a que haja uma diminuição do isolamento dos equipamentos, o que leva à ocorrência de contornamentos. Quando ocorre o contornamento o arco seca a zona danificada do elemento e ao repor a linha em serviço não há novo contornamento.

Muitas vezes os elementos da rede ficam danificados mas permitem à rede manter-se em serviço após a reposição do serviço, com uma falha latente. Por exemplo um isolador perfurado sujeito a condições meteorológicas normais não sofre contornamentos, no entanto, quando se dá a presença de precipitação ocorrem contornamentos pela perfuração do isolador. Assim concluímos que a presença de chuva é um fator a ter em conta na ocorrência de interrupções breves.

Pelos resultados podemos verificar que o vento não é um fator determinante nas interrupções breves. Isto pode ser explicado devido ao efeito que o vento tem nos elementos. Exerce força

mecânica e, ou o elemento aguenta e nada acontece ou o elemento parte e dá origem a uma ILD. No entanto é um fator muito importante a ter em conta em zonas de árvores devido à flexibilidade dos ramos e a possibilidade de tocarem nos condutores.

5.3 Análise das descargas atmosféricas

Uma vez que as descargas atmosféricas ocorrem instantaneamente é necessário fazer uma análise apenas das descargas atmosféricas e posteriormente da sua relação com a precipitação.

Foram analisadas as interrupções que ocorreram no período de 1 de Janeiro de 2015 até 31 de Agosto de 2015. Para estas interrupções foram identificadas as descargas que ocorreram no minuto da interrupção, calculada a distância da subestação à descarga e também foi obtida a precipitação instantânea e acumulada correspondentes a todas as interrupções analisadas.

De todas as interrupções breves com uma descarga atmosférica associada foi apenas considerada como causa a descarga atmosférica apenas aquelas em que a distância da descarga atmosférica à subestação é inferior a 150 km.

Vamos agora definir e distinguir dois conceitos, descarga atmosférica em período seco e descarga atmosférica em período molhado. Descarga atmosférica em período seco é a descarga atmosférica em que não há precipitação quando ocorre a descarga. Descarga atmosférica em período molhado é a descarga atmosférica em que há precipitação quando ocorre a descarga.

Após fazer a análise dos dados obtiveram-se os resultados da tabela 5.14.

Tabela 5.14: Número de interrupções com descarga atmosférica associada

	Período Seco	Período Molhado	Total
Nº de interrupções	266	361	627
Percentagem	42%	58%	100%

Em primeiro lugar pode-se observar que há mais incidentes com descargas atmosféricas em período molhado com 58% das interrupções. É agora feita a sua distribuição geográfica. As interrupções com descargas atmosféricas associadas foram agrupadas por distritos e os resultados estão presentes na tabela 5.15.

Podem-se assim identificar quais os distritos que estão mais sujeitos às descargas atmosféricas. Podem-se identificar os distritos de Bragança, Vila Real, Viseu, Coimbra e Aveiro com 77% das descargas.

Posteriormente foi feita a divisão em descargas atmosféricas em período seco e descargas atmosféricas em período molhado e foram obtidos os resultados presentes nas tabelas 5.16 e 5.17, respetivamente.

Na tabela 5.16 podemos observar que a maior parte das descargas atmosféricas em período seco ocorreram nos distritos de Vila Real, Bragança, Viseu e Castelo Branco com 69% das interrupções.

Tabela 5.15: Descargas atmosféricas divididas por distritos.

Distrito	Nº de descargas	Percentagem
Bragança	144	23%
Vila Real	106	17%
Viseu	86	14%
Coimbra	82	13%
Aveiro	64	10%
Guarda	51	8%
Castelo Branco	46	7%
Porto	24	4%
Braga	13	2%
Viana do Castelo	11	2%

Tabela 5.16: Descargas atmosféricas em período seco divididas por distritos.

Distrito	Nº de descargas	Percentagem
Vila Real	70	26%
Bragança	59	22%
Viseu	29	11%
Castelo Branco	26	10%
Aveiro	23	9%
Guarda	20	8%
Coimbra	16	6%
Porto	15	6%
Braga	6	2%
Viana do Castelo	2	1%

Tabela 5.17: Descargas atmosféricas em período molhado divididas por distritos.

Distrito	Nº de descargas	Percentagem
Bragança	85	24%
Coimbra	66	18%
Viseu	57	16%
Aveiro	41	11%
Vila Real	36	10%
Guarda	31	9%
Castelo Branco	20	6%
Porto	9	2%
Viana do Castelo	9	2%
Braga	7	2%

Na tabela 5.17 podemos verificar que a maior incidência das descargas atmosféricas em período molhado é nos distritos de Bragança, Coimbra, Viseu e Aveiro com 69% das descargas atmosféricas em período molhado.

O efeito da ocorrência de precipitação depois das descargas atmosféricas em período seco é um aspeto a considerar na operação da rede pois é provável que estas descargas tenham danificado componentes da rede, como isoladores ou DST's, que vão levar a contornamentos quando houver a presença de precipitação.

Em seguida foi feita uma análise diária para os dias assinalados como os dias que tiveram mais descargas atmosféricas e os resultados estão presentes na tabela 5.18.

Tabela 5.18: Número de interrupções de descargas atmosféricas em vários dias específicos.

	Nº Interrupções devido à descarga	Nº total de interrupções	Percentagem
15/abr	41	105	39%
04/mai	47	485	10%
04/jun	28	53	53%
05/jun	41	76	54%
06/jun	0	18	0%
07/jun	89	141	63%
08/jun	48	124	39%
09/jun	99	142	70%
10/jun	24	41	59%
14/jun	17	73	23%

Podemos observar uma grande incidência das descargas atmosféricas nestes dias críticos, apenas 4 de Maio, 6 de Junho e 14 de Junho apresentam baixa percentagem de incidentes com descargas relacionadas.

Capítulo 6

Casos Práticos

Da análise dos casos práticos analisados contabilizaram-se 22 casos. Após a sua análise foram identificados os modos de falha associados e estão esquematizados na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Modos de Falha identificados.

Falha	Número de casos
Falhas de isolamento em isoladores	6
Falhas de isolamento em celas	1
Falhas de isolamento em seccionadores	3
Contacto de árvores com condutores	1
Aves que provocam curto-circuitos	4
Inconclusivos	7
Total	22

Dos modos de falha identificados importa agora dividi-los de acordo com a sua origem, se externa ou interna à rede. Como modos de falha externos, temos o contacto de árvores com condutores e as aves que provocam curto-circuitos, com 5 casos no total. Como modos de falha internos temos as falhas de isolamento nos isoladores, celas e seccionadores com um total de 10 casos.

Podemos já perceber pela análise prática que há uma maior incidência dos modos de falha internos.

Para cada modo de falha foram identificados os critérios predominantes e foram obtidos os resultados da tabela 6.2.

Tabela 6.2: Fatores identificados

Modo de falha	Vento	Precipitação	humidade	Horário
Falhas de isolamento em isoladores		X	X	
Falhas de isolamento em celas			X	
Falhas de isolamento em seccionadores		X		
Contacto de árvores com condutores	X	X		
Aves que provocam curto-circuitos				X

Observando a tabela 6.2 pode-se verificar que os problemas de isolamento com isoladores ou seccionadores têm associado à sua ocorrência a precipitação.

Quando há incidência do fator vento estamos perante árvores que encostam às linhas.

Se o fator incidente for a humidade, a falha tem origem em isoladores ou celas danificados.

O fator horário é associado às aves quando as interrupções ocorrem apenas nas horas em que há luz do dia.

Para exemplificar a falha isolamento de isoladores vamos apresentar o gráfico da precipitação de um dos casos, a linha MT K presente na figura 6.1.

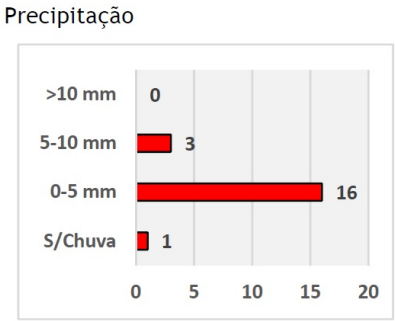

Figura 6.1: Exemplo de precipitação da linha MT K.

Quando a falha de isolamento é em celas, ou seja isolamento no interior de instalações, temos uma incidência muito forte da humidade estando para a linha MT L representado o gráfico da humidade na figura 6.2.

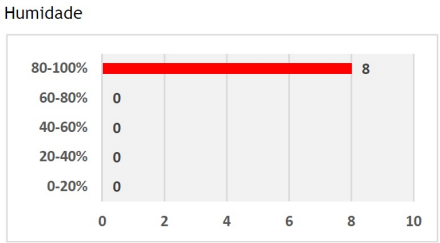

Figura 6.2: Exemplo de humidade da linha MT L.

Para a falha de isolamento em seccionadores tem-se como exemplo a linha MT M em que temos a predominância de precipitação, figura 6.3.

Por ultimo é apresentado o exemplo da distribuição horária da linha MT N em que a causa são aves que provocam curto-circuitos, figura 6.4.

É importante também referir que há uma diferença importante entre falhas de isolamento interiores e exteriores. Quando temos falhas de isolamentos exteriores a precipitação é o indicador mais importante. No entanto quando a falha de isolamento é interior o fator mais importante é a

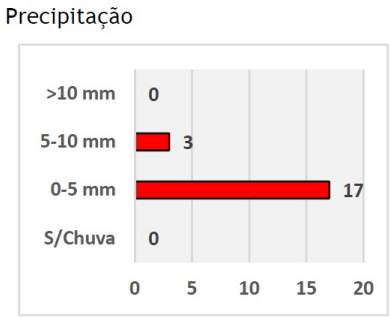

Figura 6.3: Exemplo de precipitação da linha MT M.

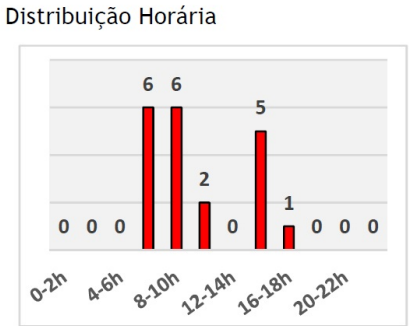

Figura 6.4: Exemplo da distribuição horária das interrupções da linha MT N.

humidade. Por isso se o fator predominante é precipitação o defeito está em equipamentos exteriores, e se o fator predominante for a humidade o defeito estará em equipamentos instalados no interior das instalações.

6.1 Estratégia de análise

Para a análise dos casos em observação é necessário ter em conta se há indicação de uma forte relação de um fator analisado com as IB, se não há nenhuma relação com os fatores analisados ou se há uma relação com vários fatores analisados.

Caso a análise indique uma relação forte com um fator não há duvidas, e é considerado que esse fator está associado com as IB.

As dúvidas surgem quando não há uma evidencia forte com um fator, e aqui há duas possibilidades: caso não haja indicação de nenhum fator relacionado com as IB, deve-se obter informação noutras fontes; Caso haja fortes relações com mais do que um fator é necessário fazer uma análise mais aprofundada para despistar os fatores que não têm relação. Isto é feito analisando o período entre as IB para verificar se há fatores atmosféricos que ocorrem durante períodos em que não há IB. Assim os fatores que ocorrerem nos períodos entre as IB não estão relacionados com as mesmas.

Capítulo 7

Processo total - Seleção, check-up e diagnóstico

Neste capítulo é apresentado o processo de deteção, seleção das linhas em análise e diagnóstico.

As fases gerais do processo estão apresentadas na figura 7.1. No esquema podemos ver as 3 fases em que o processo se desdobra:

- Seleção;
- Check-Up;
- Diagnóstico.

7.1 Seleção

Na primeira fase, Seleção, é feita a seleção das linhas com "sintomas de doença", ou seja, que apresentam IB, que serão sujeitas à análise de Check-up. São recebidos os dados das ocorrências do BO e selecionadas as linhas que se enquadram nos critérios escolhidos para a seleção. Normalmente, são escolhidos como critérios as linhas com mais de 2 IB na semana N, que se refere à semana atual, ou mais de 3 IB nas semanas N e N-1, ou ainda mais de 5 IB nas semanas N, N-1 e N-2.

Alargar a análise para as semanas anteriores é muito importante. Isto porque há 2 comportamentos distintos das interrupções das linhas que apresentam várias interrupções.

Um dos comportamentos são as IB que ocorrem num determinado período de tempo curto (normalmente pode ser um a dois turnos, consecutivos, de 8 horas). Estes casos são facilmente detetados pelos operadores e é logo dado o seguimento do processo de deteção de avaria.

O outro comportamento das IB que temos é quando estas ocorrem espaçadas ao longo do tempo o que leva a que não sejam percecionadas diretamente pelo operador. Apenas são detetadas, se se fizer uma análise à ultima semana, por exemplo. Nestes casos se não for feita uma análise

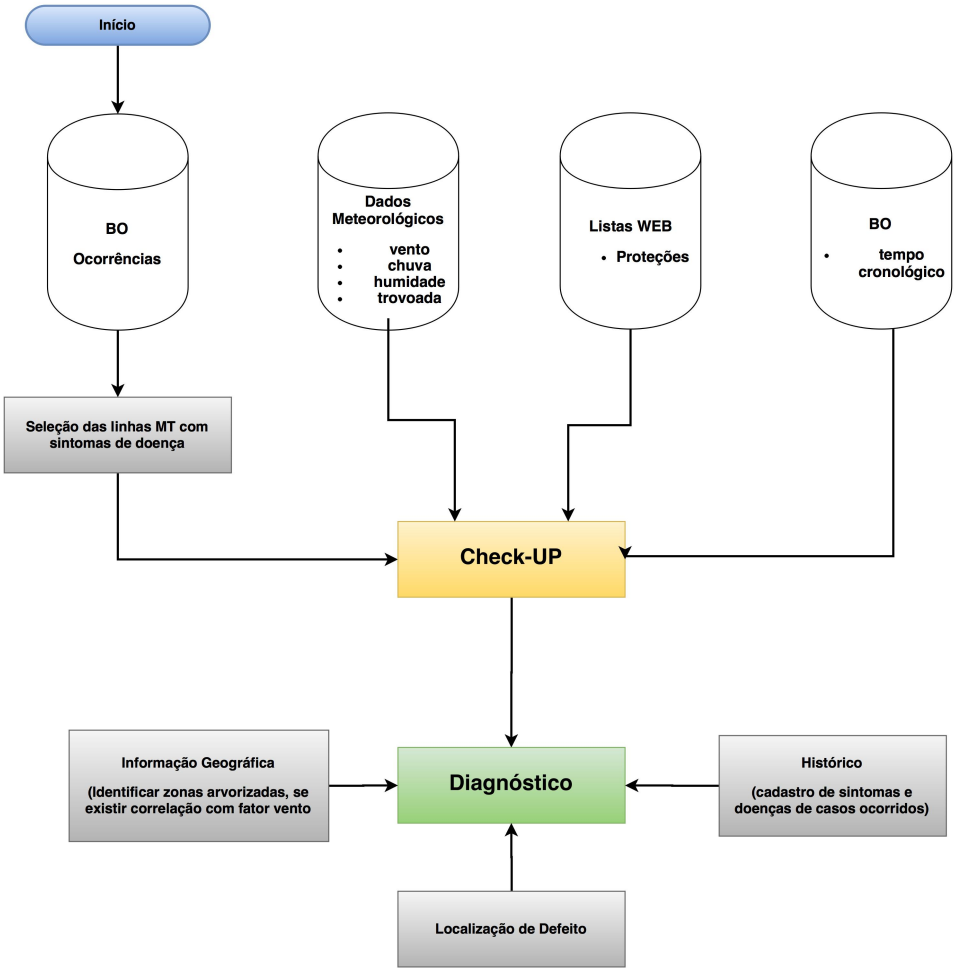

Figura 7.1: Processo geral de localização das causas.

semanal não são detetadas e não são tomadas medidas para intervir nas causas das interrupções, num curto espaço de tempo.

A lista das linhas selecionadas é ordenada por uma ordem de mérito, que indica ao utilizador as que deverão ser analisadas em primeiro lugar. Podem ser utilizados dois critérios: a linha com maior frequência de IB, num determinado período temporal (três semanas), ou a linha com maior número de PTC, já que as IB são prejudiciais para a maioria dos clientes (principalmente os clientes MT).

7.2 Check-Up

Se fizermos a analogia de considerar a rede de distribuição como uma pessoa, as interrupções breves poderão ser consideradas como "espirros". Na prática não nos impede de trabalhar, mas causam imenso desconforto, e condicionam a vida normal de qualquer pessoa. No caso da rede de distribuição, o fornecimento de energia elétrica é garantido, mas as interrupções breves causam desconforto aos clientes e a diminuição da qualidade de serviço.

É esta a ideia inerente à segunda fase, o Check-up. Nesta fase são obtidos os dados que caracterizam as IB, como os dados atmosféricos, proteções atuadas e o tempo cronológico. Assim, como resultado do Check-up é emitido um relatório com todas as características das IB da linha em análise.

Com o check-up feito passa-se para a fase de diagnóstico em que as entradas são informação geográfica da linha, o localizador de defeitos, o histórico e as informações recolhidas no Check-Up.

Com estas informações são identificados padrões e as causas que poderão estar relacionadas com as interrupções das linhas. As causas possíveis permitem identificar os modos de falha possíveis e assim proceder à identificação da causa raiz.

7.3 Diagnóstico

Com base no conhecimento passado, face a determinados sintomas (relações estabelecidas entre disparos e condições meteorológicas/tempo cronológico/protecções), poderemos fazer uma análise para identificar a origem dos "espirros". Se nada se fizer, a rede de distribuição poderá transitar para um estado de doença: interrupção de longa duração. E isso é o que se pretende evitar.

As ações tomadas fazem parte da terceira fase, o diagnóstico. Após termos o check-up, em que há o tratamento dos dados das características das IB e a emissão do relatório, passa-se agora para a tomada de ações, que fazem parte da terceira fase do processo: o diagnóstico.

Nesta fase os inputs são o relatório IB emitido no Check-up. As características da última interrupção de longa duração com causa identificada. As ILD que são aleatórias e não estão relacionadas com as IB são ignoradas. Um exemplo é uma ILD cuja causa raiz seja rutura de

condutores, por abate de árvores, que certamente não está relacionada com as IB que poderão ocorrer nessa linha.

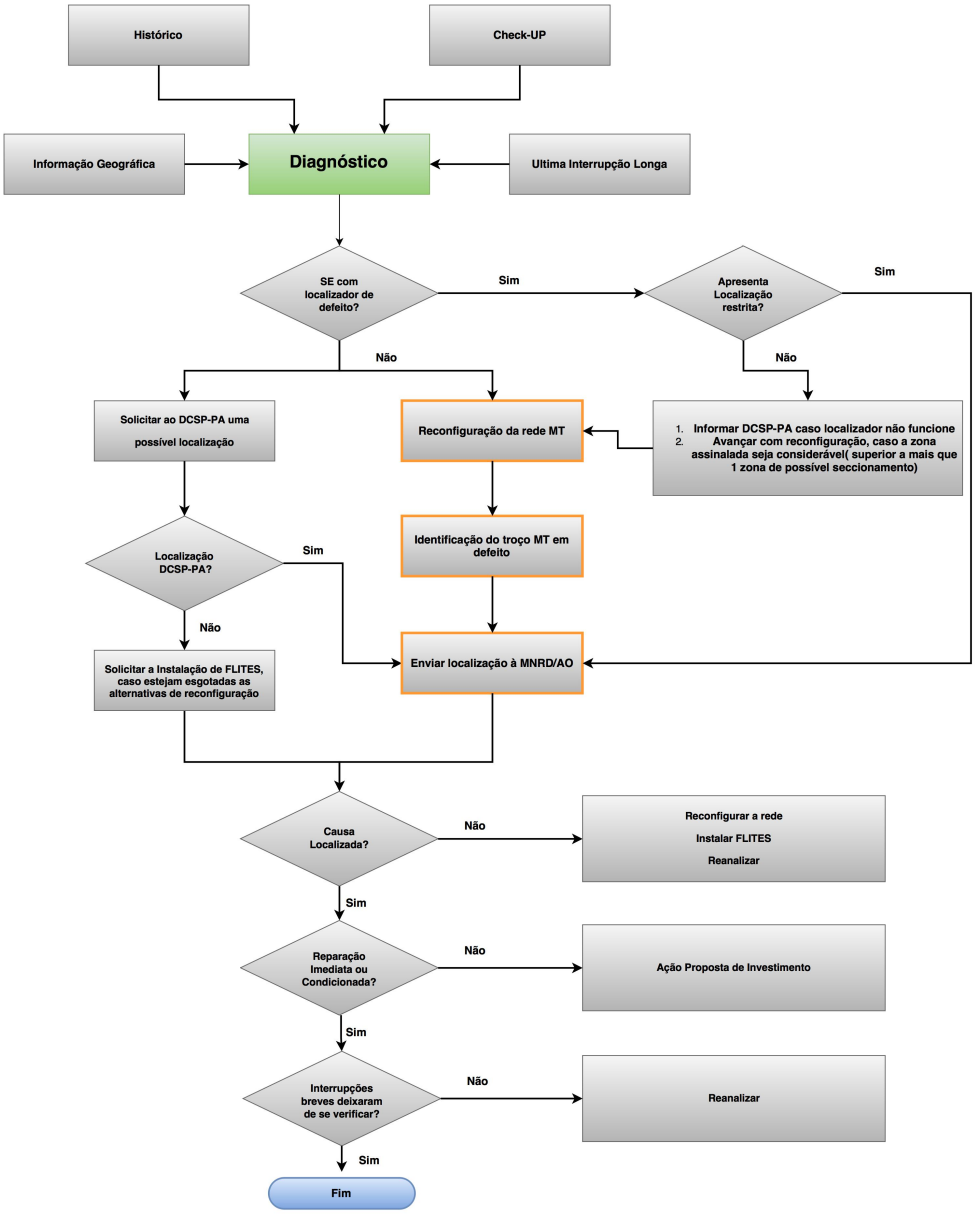

Figura 7.2: Processo geral - Diagnóstico.

A informação geográfica da linha também faz parte do input do diagnóstico. Esta informação é importante para conhecer as zonas da linha que atravessam zonas arborizadas, por exemplo. O último input que falta mencionar é o histórico de ocorrências que permite saber os problemas que a linha teve e os padrões associados.

Com estas informações todas há possibilidade de fazer a análise e identificar as causas possíveis de acordo com o conhecimento adquirido. Caso se identifique um fator atmosférico predominante, apenas se deve proceder a basculações de cargas quando é previsível a ocorrência desse

fator atmosférico predominante (Em condições atmosféricas normais não interessa estar a alterar a configuração da rede MT).

Quando se procede à localização do defeito é necessário verificar se a subestação tem localizador de defeitos. Se tiver e apresentar uma localização restrita deve-se imediatamente enviar a localização às equipas no terreno. Caso a SE não tenha localizador de defeito ou a localização não seja conclusiva deve-se proceder a reconfigurações da rede MT para restringir a zona de avaria.

Quando o troço em defeito é identificado deve-se proceder à comunicação às equipas do terreno do troço em defeito para efetuarem um percorrido na rede. Se as alternativas de localização estiverem esgotadas sem que se consiga identificar uma área restrita do defeito deve-se solicitar a instalação de FLITES.

O processo termina quando após a eliminação da causa das interrupções, se confirma que mais nenhuma interrupção ocorre.

O caso da linha MT K é um bom exemplo, em que foram substituídos elementos de rede, mas as interrupções breves continuaram. Só com a recente substituição de um isolador, a causa foi eliminada.

Na pesquisa do local da avaria estão também disponíveis outras funcionalidades que permitem obter informação adicional sobre as IB. Uma destas funcionalidades são os indicadores de passagem de defeito, quer dos OCR equipados com essa funcionalidade, quer dos PT telecomandados, que permitem saber onde se localiza o defeito em relação à sua posição na rede.

Outra funcionalidade é a informação geográfica que visualizando a rede por imagens de satélite permite identificar áreas arborizadas.

É fundamental recorrer a todos os dados disponíveis para localizar a causa antes de ser solicitada a pesquisa ao terreno, já que é difícil localizar o defeito na rede.

Capítulo 8

Conclusão e trabalho futuro

8.1 Conclusão

A metodologia adotada na análise das interrupções breves vem trazer uma mudança de comportamento na sua deteção e eliminação das causas. Antes o comportamento adotado era reativo. Atualmente, com a introdução desta análise é adotado um comportamento pró-ativo em que assim que uma linha começa a ter IB, é iniciado o processo de deteção da causa.

Por vezes há linhas que apresentam 2 ou 3 interrupções por semana que antes não eram facilmente percecionadas, mas agora, são detetadas e analisadas imediatamente.

Com a introdução na análise das IB dos dados atmosféricos, tempo cronológico e proteções atuadas foi conseguida uma melhoria na caracterização das causas das IB. Com a introdução dos dados atmosféricos sabemos qual é o fator atmosférico predominante quando ocorreram as IB e assim perceber qual é a sua causa.

De acordo com o fator atmosférico que é predominante temos diferentes causas associadas. Se o fator atmosférico for a precipitação temos como causas possíveis falha de isolamento, como por exemplo, em isoladores e seccionadores. Se houver humidade, o modo de falha poderá ser a falha de isolamento no interior das instalações. Assim é possível saber se o defeito é no interior ou exterior das instalações. Caso o fator predominante seja a precipitação sem humidade a falha de isolamento é no exterior, e caso seja o contrário a falha de isolamento é no interior das instalações.

Passando para o outro fator atmosférico analisado, o vento, se for o fator predominante, temos como causa associada partes móveis, dos ativos ou exteriores aos ativos. Como exemplo podem ser condutores ou arcos mal regulados ou ramos de árvores a tocar nos condutores. Analisado em conjunto com a informação geográfica da linha é possível identificar as zonas da linha com arvoredo sendo estas o local a ser inspecionado em primeiro lugar.

Outro fator que foi tomado em conta foi a hora de ocorrência das IB. Este fator também permite obter algumas conclusões sobre a causa das IB. Se as IB ocorrerem todas coincidindo com a luz do dia, a causa associada são aves, que pelas suas ações provocam defeitos fugitivos na linha.

A identificação das aves é reforçada pelas proteções atuadas, uma vez que, quando o defeito é causado por aves a proteção atuada é a proteção MI. Isto porque as aves provocam defeitos

fase-fase, sem componente homopolar, que são detetados por aquela proteção.

Se a proteção atuada foi MIH o defeito foi fase-terra, o que indica que houve alguma coisa em contacto com a linha, que permitiu a passagem de corrente à terra. Quando o defeito é muito resistivo a proteção MIH não deteta o defeito, ficando essa função atribuída à proteção PATR.

Concluímos também que as causas podem ser internas, ou externas à rede. Se forem internas à rede, por exemplo uma cadeia de isoladores rachada, o defeito é eliminado com a substituição do ativo. O que pode ser feito imediatamente pelas equipas do terreno. Quando as causas são externas a eliminação da causa exige a alterações na rede, o que tem que ser feito com projeto, o que pode demorar algum tempo. Um exemplo são a alteração da disposição dos condutores para eliminar os defeitos do tipo fase-fase causados pelos estorninhos.

Com o desenvolvimento desta aplicação é agora possível em poucos minutos transformar dados em informação. Algo que antes exigia um grande esforço e que durava horas ou dias.

As IB indiciam uma falha latente na rede o que indica que se nada for feito a falha poderá evoluir de latente para ativa, o que levará à interrupção do fornecimento de energia elétrica por avaria. Se a falha latente for detetada e eliminada antes de ocorrer a avaria, que dá origem a uma interrupção de longa duração, vão ser evitadas reclamações de clientes e melhorada a qualidade de serviço.

8.2 Trabalho futuro

Com a realização desta dissertação não se deixa este tema completamente explorado, pelo contrário, é apenas a primeira abordagem. Além disso tornou possível identificar muitos aspetos a ter em conta no futuro.

Em primeiro lugar é sugerido que se faça a alteração da coordenada da subestação, que permite calcular as distâncias das estações meteorológicas às linhas, para um ponto médio da linha como se fosse o "centro de gravidade"geográfico. Isto vai levar a que a recolha seja mais precisa pois o início da linha está localizado na subestação. Se a linha tiver grandes comprimentos, de 100 km por exemplo, uma distância pequena da estação meteorológica à subestação implica uma grande distância aos ramais mais longínquos. Este problema é resolvido se em vez da subestação for considerado um ponto médio que se encontre no meio da linha.

É também necessário estender a análise aos fatores atmosféricos nos dias em que não há interrupções, para assim se verificar a predominância de certo fator atmosférico nas interrupções breves de uma linha. Se nos períodos em que cessam as interrupções esse fator atmosférico não se faz sentir, vem reforçar a relação deste fator atmosférico com as interrupções. Pelo contrário se o fator atmosférico se faz sentir nos períodos em que as IB cessam, podemos concluir que não há uma relação desse fator atmosférico com as IB.

Poderá existir um filtro que indique as linhas que estão a ter IB com determinadas condições meteorológicas. Por exemplo, se a previsão para o dia seguinte for de chuva, interessa-nos identificar as linhas que poderão vir a ter IB e para quais se deve estar em alerta no sentido de localizar a causa das interrupções.

A temperatura é um fator atmosférico a considerar no futuro pois as variações de temperatura, principalmente no período da manhã, levam a que haja condensação, que pode conduzir a contornamentos. No entanto é necessário desenvolver mais estudos nesta matéria.

No futuro deverão ser incorporadas as linhas AT na análise.

Deverá ter-se em consideração os incêndios pois levam ao deterioramento de equipamentos da rede, por exemplo, rutura de cadeias de isoladores.

Referências

[1] J. Gers e E. Holmes. *Protection of Electricity Distribution Networks*. 2007.

[2] Muthiah Geethanjali. *Artificial Intelligence for power system protection*. 2012.

[3] R. L. Ackoff. *From Data to Wisdom*. 1989.

[4] Chaim Zins. *Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge*. 2007.

[5] Nikhil Sharma. *The Origin of the Data Information Knowledge Wisdom Hierarchy*. 2008.

[6] *Regulamento de qualidade de serviço do setor elétrico*. 2013.

[7] EDP distribuição. *Guia de Classificação de Incidentes na rede elétrica de distribuição*. 2009.

[8] EDP distribuição. *Guia geral de proteção e Automação da RND*. 2009.

[9] EDP distribuição. *Instalações AT e MT - Subestações de distribuição*. 2007.

[10] *Wunderground*. URL: http://www.wunderground.com.