



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação



Estudo e Avaliação dos Impactes da passagem de linhas aéreas para cabos subterrâneos

BRUNO FILIPE SILVA SERÔDIO

(Licenciado)

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica no ramo de Energia.**

Orientador: Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Júri:

Presidente: Doutor Victor Manuel Fernandes Mendes

Vogais:

Doutor João Paulo da Silva Catalão

Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Novembro 2009

Dissertação realizada sob orientação de:
Professor Doutor Eng.º Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Equiparado a Professor Adjunto do
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Automação do
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Aos meus Pais.

Resumo

Esta dissertação pretende identificar e avaliar os principais impactes decorrentes da decisão de passagem de troços de linhas aéreas em Muito Alta Tensão para cabos subterrâneos. Para o efeito é apresentada uma metodologia que incorpora as componentes electrotécnicas, ambiental e arqueológicas do projecto na avaliação de uma solução.

Nos estudos técnicos e económicos de projectos de natureza semelhante as referidas componentes não são usualmente explicitadas e/ou incorporadas na avaliação de uma determinada solução. Deste modo consegue-se reduzir não só o risco na concretização do projecto como antecipar os impactes resultantes de eventuais sobrecustos decorrentes de alterações que as componentes ambientais e arqueológicas normalmente incorporam na solução técnica adoptada.

Um caso real é apresentado como aplicação da referida metodologia, cujo objectivo é optimizar o comprimento do troço da linha Muito Alta Tensão, que é substituído por cabo.

Palavras-Chave

Cabo subterrâneo

Linhas aéreas

Campos eléctricos

Campos magnéticos

Arqueologia

Ambiente

Estudo de Impacte Ambiental

Avaliação de Impacte Ambiental

Abstract

This thesis intends to identify and evaluate the main impacts of the decision of changing airlines in Extra High Voltage, to underground cables.

For this purpose a methodology that incorporates the electrical, environmental and archeological components of the project is presented on the evaluation of a solution.

Usually the technical and economical analyses of projects with similar nature do not include explicitly both environmental and archeological components in the evaluation of a solution. By following this methodology, not only the risk in implementing a project is reduced, but also, anticipate the impacts that both environmental and archeological components have in the implementation of the adopted technical solution.

A case study is presented to illustrate the proposed methodology which has the objective to optimize the length of an Extra High Voltage line that is replaced by underground cable.

Keywords

Underground cable

Airlines

Electric fields

Magnetic fields

Archeology

Environmental

Study of the Environmental Impacts

Evaluation of the Environmental Impacts

Agradecimentos.

Gostaria em primeiro lugar, de agradecer ao Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis, orientador desta dissertação, pela sua disponibilidade, empenho, compreensão e acima de tudo, exigência.

Gostaria de salientar a sua competência e a sua disponibilidade na participação em correções e sugestões, que fizeram com que eu concluísse este trabalho.

Agradeço também à Dr.^a Ana Cristina Pimenta dos Santos, pela total disponibilidade apresentada na rectificação e discussão de assuntos importantes, dentro deste trabalho. Apresento-lhe então, a minha total gratidão pela sua amabilidade e paciência na execução dessas tarefas.

Ào Arqueólogo Jorge Pinho, pelo auxílio disponibilizado para o ensino de assuntos, dos quais desconhecia e como não os dominava, sem a sua ajuda não o teria conseguido.

À Eng.^a Sílvia Monteiro, pela ajuda, muito útil, na parcela ambiental da tese, quer na compreensão, quer com o fornecimento de documentos, muito relevantes, para o estudo desta parcela, na dissertação.

Gostaria também de agradecer à Arqueóloga Luciana Jesus, pela paciência demonstrada, na escolha dos locais sensíveis a nível arqueológico neste trabalho.

Índice

Resumo	iv
Abstract	v
Agradecimentos	vi
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Motivação	3
1.3 Organização do texto	3
1.4 Notação	4
1.5 Glossário	5
CAPÍTULO II -TECNOLOGIAS E TIPOLOGIAS USADAS EM LINHAS AÉREAS E EM CABOS DE MAT	6
2.1 Tecnologias e tipologias usadas em linhas aéreas e em cabos de MAT a nível internacional	7
2.1.2 Considerações técnicas e construtivas.	7
2.1.3 Operação e Manutenção.	23
2.1.4 Aspectos económicos.	26
2.2 Linhas aéreas de MAT em Portugal	30
2.2.1 Tipologias.....	30
2.2.2 Distâncias regulamentares importantes.	32
2.2.3 Ruído.....	33
2.2.4 Aspectos económicos.	33
2.3 Cabos subterrâneos de MAT em Portugal	34
2.3.1 Tipologias.....	34
2.3.2 Distância de enterramento dos cabos.	48
2.3.3 Ruído.....	48
2.3.4 Aspectos económicos.	49
CAPITULO III - IMPACTES AO NÍVEL DOS CAMPOS	50
3.1 Campo eléctrico	51
3.1.1 Introdução	51

3.1.2	Aplicação e simulação para linhas.....	51
3.1.3	Cabos.....	60
3.2	Campo magnético.....	61
3.2.1	Introdução.....	62
3.2.2	Aplicação e simulação para linhas.....	64
3.2.3	Cabos.....	67
CAPÍTULO IV - IMPACTES TÉCNICOS E ECONÓMICOS DAS COMPONENTES AMBIENTAL E ARQUEOLÓGICA NO ESTABELECIMENTO DE UM CABO OU LINHA.....		72
4.1	Introdução.....	73
4.2	Componente ambiental.....	73
4.2.1	Estudo de impacte ambiental.....	73
4.2.2	Fluxograma.....	74
4.2.3	Fase 1- Elaboração de um Estudo de impacte Ambiental.....	76
4.2.4	Fase 2- Apreciação técnica do EIA.....	80
4.2.5	Fase 3- Participação pública.....	81
4.2.6	Fase 4- Decisão.....	82
4.2.7	Estudo de incidências.....	85
4.2.8	Fluxograma.....	85
4.2.9	Fase 1 – Elaboração do Estudo de incidências Ambientais.....	85
4.2.10	Fase 2- Apreciação do Projecto EincA.....	86
4.2.11	Fase 3- Emissão de Parecer Declaração de incidências Ambientais (DincA).....	86
4.2.12	Fase 4- Decisão.....	86
4.3	Componente arqueológica.....	87
4.3.1	A presença da arqueologia na execução da obra de uma linha aérea.....	87
4.3.2	A presença da arqueologia na execução da obra em cabos subterrâneos.....	88
4.4	Proposta para uma função de penalização.....	90
CAPÍTULO V - IMPACTES NA REDE APLICAÇÃO.....		91
5.1	Impacte ao nível do trânsito de energia.....	92
5.1.1	Rede teste.....	92
5.1.2	Metodologia.....	93
5.1.3	Substituição de troço de cabo subterrâneo nos 400KV.....	95
5.1.4	Substituição de troço de cabo subterrâneo na linha AB dos 150KV.....	96
5.1.5	Substituição de troço de cabo subterrâneo na linha CD dos 150KV.....	97
5.1.6	Variações dos níveis de Tensão nos barramentos.....	98
5.1.7	Perdas eléctricas activas.....	104

5.2 Impacte ao nível das correntes de curto-circuito	105
5.2.1 Cálculo da variação do curto-circuito trifásico simétrico franco.....	106
5.3 Aplicação.....	107
5.3.1 Rácio Δ Perdas/ Δ Custo com o aumento do comprimento do cabo.	107
5.3.2 Componente arqueológica.	108
5.3.3 Componente ambiental.....	111
5.3.4 Estudo Final.	113
5.3.5 Conclusão.	119
 CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO.	 120
6.1 Conclusões principais.	121
6.2 Direcções de Investigação.	123
 REFERÊNCIAS.	 124
 ANEXO 1- TIPO DE LINHAS E POSTES.....	 125
Linhas aéreas de 150kV.....	125
Linhas aéreas de 220kV.....	125
Linhas aéreas de 400kV.....	125
Postes.....	126
Tipo de cabos.	134
 ANEXO 2 - DECRETO REGULAMENTAR N.º 1/92- FUNDAÇÕES.	 135
 ANEXO 3 -DECRETO REGULAMENTAR N.º 1/92- ELÉCTRODOS TERRA.	 138
 ANEXO 4- PARÂMETROS A MONITORIZAR NA MEDIÇÃO DO RUÍDO.	 140
 ANEXO 5- CARACTERISTICAS DE ALGUNS MATERIAIS QUE CONSTITUEM AS BAINHAS.145	
 ANEXO 6- ARTIGO A SUBMETER.....	 146

Capítulo I - Introdução.

Neste capítulo, o tema da dissertação é enquadrado no âmbito dos impactes decorrentes da substituição de de um troço de linha aérea por um cabo subterrâneo de Muito Alta Tensão (MAT), sendo indicadas as principais motivações e apresentada a estrutura do trabalho. É ainda, indicada a notação seguida ao longo desta dissertação.

1.1 Enquadramento.

Actualmente existe uma crescente dificuldade no estabelecimento de um corredor em Muito Alta Tensão (MAT) ou no reforço de um existente em virtude da vontade das populações em querer substituir troços de linhas aéreas existentes por cabos subterrâneos.

Embora exista alguma falta de informação sobre o assunto, estudos recentes mostram que grandes partes das populações afirmam que a substituição de linhas aéreas para cabos subterrâneos atenua os campos inerentes a estes não existindo na maioria das vezes contacto com uma informação técnica clara e objectiva sobre o assunto. Um exemplo disso é o facto de não existir em geral a percepção que outros impactes que não ao nível da componente electrotécnica do projecto, como sejam os que dizem respeito às componentes arqueológica e ambiental, têm na decisão de uma transição entre uma linha aérea e um cabo subterrâneo.

Estes impactes de índole arqueológica e ambiental originam também na maioria dos casos, custos não previstos em projectos, já por si dispendiosos. Em Portugal e em vários tipos de obras, que na fase de execução, a descoberta de um achado arqueológico pode originar uma paragem na obra. Neste sentido e como o traçado de uma obra de cabos subterrâneos de muita alta tensão é predominantemente realizada em vias públicas, um achado arqueológico originaria impactes ao nível das populações, tráfego e, também, monetários, pois pressupõe um alargamento da licença camarária e o pagamento contínuo de custos fixos inerentes ao projecto.

1.2 Motivação.

De forma a poder esclarecer a falta de informação no que diz respeito aos vários tipos de impactes que resultam da transição de linha aérea para cabo de MAT, nesta dissertação é estudado o trânsito de energia, a variação do valor de tensão em cada barramento, as perdas activas e as variações das correntes de curto-circuito decorrentes da substituição de troços de linha aérea por cabos MAT.

São igualmente simulados os valores do campo eléctrico e magnético, resultantes do transporte de energia para diversas tipologias de cabos e linhas aéreas de MAT.

Pretende-se também apresentar uma metodologia que inclui outras dimensões do problema como seja a agregação da componente ambiental e arqueológica de um projecto, para além da electrotécnica numa só parcela, podendo desta forma, estudar a sensibilidade dos parâmetros pretendidos de saída, ajudando assim, no futuro, à execução de tabelas de decisão para este tipo de projectos. Neste projecto são escolhidas como saída as perdas activas totais da rede.

1.3 Organização do texto.

O texto da dissertação está organizado em seis capítulos. No Capítulo 2 são apresentadas tecnologias e tipologias usadas actualmente em linhas aéreas e em cabos de MAT.

No Capítulo 3 são analisados impactes ao nível dos campos eléctricos e magnéticos.

No Capítulo 4 destina-se a avaliar os impactes técnicos e económicos das componentes ambientais e arqueológica no estabelecimento de um cabo ou linha.

No Capítulo 5 são apresentados os impactes numa rede com a substituição de troços de linhas aéreas para cabos de MAT em dois níveis de tensão, que para o efeito, é apresentado um caso real e uma metodologia que inclui a componente ambiental e arqueológica na avaliação técnica e económica de uma solução.

No Capítulo 6 conclui a dissertação, no qual se enuncia uma síntese do estudo e se apresentam as principais conclusões da investigação desenvolvida sobre o tema, sendo ainda apontadas algumas direcções em que pode ser desenvolvida investigação de interesse relevante relacionada com o tema desta dissertação.

1.4 Notação.

No texto a identificação de referências bibliográficas é apresentada entre parêntesis rectos []. Optou-se por não alterar as figuras que foram retiradas de outras fontes bibliográficas, especialmente em inglês, pelo que as suas legendas se encontram em inglês e o gráfico original também se mantém de forma a proteger os autores.

De seguida é apresentada uma lista abreviada das siglas mencionadas no texto. Não se pretende que seja uma lista exaustiva no que respeita aos símbolos utilizados, dado que os mesmos são definidos aquando da sua introdução ao longo do texto.

Siglas:

- AIA – Avaliação de impacte Ambiental.
- CCDR- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional.
- DGA- Direcção Geral do Ambiente.
- DIA- Declaração impacte Ambiental.
- DRA- Direcção Regional do ambiental.
- DTS- Distributed Temperature Sensing (Sensor de temperatura distribuido).
- EIA- Estudo de Impacte Ambiental.
- EUA- Estados Unidos da América.
- Einca- Estudo de incidências Ambientais.
- FEM- Força eletromotriz.
- ICNB - Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade.
- ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- IGESPAR,IP- Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, IP.
- IPAMB- Instituto de Promoção Ambiental.
- IPPAR- Instituto Português do Património Arquitectónico.
- LTB- Limitadores de tensão de blindagens.
- MAOTDR- Ministro do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional.
- MAT- Muito Alta Tensão.
- NP- Norma Portuguesa.
- OMS- Organização Mundial da Saúde.
- PD- Partial Discharge (descarga parcial).
- PE- Policloreto de plietileno.
- PVC- Polietileno vinilo.
- REN- Redes Energéticas Nacionais.
- RNT- Rede Nacional de Transporte.
- XLPE- Polietileno reticulado.

1.5 Glossário.

Entivação – Protecção normalmente em madeira, que é colocada na vala, após a sua abertura para colocação da infraestrutura, tendo como principal finalidade a protecção mecânica dos trabalhadores que estão no seu interior. Uma entivação bem efectuada consegue também prevenir a queda de objectos que estão no solo para o interior da vala.

Flecha- Segundo o Decreto regulamentar n.º 1/92 a flecha é definida como:

Distância entre o ponto do condutor ou do cabo de guarda onde a tangente é paralela à recta que passa pelos pontos de fixação e a intersecção da vertical que passa por esse ponto com esta recta, supostos o condutor ou o cabo de guarda não desviados pelo vento.

Sabendo que este regulamento define as instalações superiores à tensão nominal de 40000V como sendo de 3ª Classe e para esta mesma classe se a tensão nominal for superior a 100kV logo a flecha máxima tem que ser determinada, em regime permanente para temperaturas superiores a 75 °C sem sobrecarga do vento. Em relação à flecha mínima esta terá que ser determinada para temperaturas -5 °C fora das zonas de gelo e -10 °C nas zonas de gelo.

Capítulo II -Tecnologias e tipologias usadas em linhas aéreas e em cabos de MAT.

Neste capítulo, pretende-se comparar as tipologias e tecnologias usadas em linhas aéreas e em cabos subterrâneo, quer a nível internacional quer a nível nacional.

Pretende-se, também, apresentar as diferenças mais marcantes ao nível da instalação das infra-estruturas, das distâncias regulamentares, do ruído causado ou dos aspectos económicos entre linhas aéreas e cabos de MAT.

2.1 Tecnologias e tipologias usadas em linhas aéreas e em cabos de MAT a nível internacional.

O uso de linhas aéreas para o transporte de energia eléctrica sempre foi o método mais privilegiado, sendo a implementação massiva desta tecnologia devida às suas grandes vantagens. A primeira e mais óbvia vantagem é o seu custo relativamente às outras tecnologias quer sejam cabos subterrâneos ou subaquáticos. Pode apontar-se também o facto da sua execução para o mesmo comprimento poder levar cerca de um terço do tempo em comparação com as restantes tecnologias.

A utilização desta tecnologia só é posta em causa devido a certas exterioridades que podem passar pela ornamentação de território ou mesmo por divergências camarárias.

Embora a comparação entre o custo do projecto de cabos de MAT e o da linha aérea, seja difícil de contabilizar, pois terá que ser feito caso para caso e todos os projectos têm características internas diferentes até para a mesma tensão. Pode-se afirmar no entanto, que o projecto de cabos tem um custo mais elevado que o das linhas aéreas e a opção entre a escolha entre um desses projectos terá que ser pesada e comparar o custo/benefício, mais que não seja um benefício em termos sociais pelo impacto visual causado pelas linhas.

2.1.2 Considerações técnicas e construtivas.

Em 2007 um questionário feito a membros de estudo do comité, que consiste em representar as redes eléctricas europeias e não só.

Este comité decidiu no seu estudo, agrupar níveis de tensão em 5 intervalos respectivamente:

- 50 a 109 kV
- 110 a 219 kV
- 220 a 314 kV
- 315 a 500 kV
- 501 a 764 kV

A divisão foi feita desta forma pois assim tentaram agrupar o mais próximo possível tipologias e princípios de operação. A recolha dos dados foi feita no mês de Dezembro de 2007. Os resultados encontram-se ilustrados nas figuras 1 e 2.

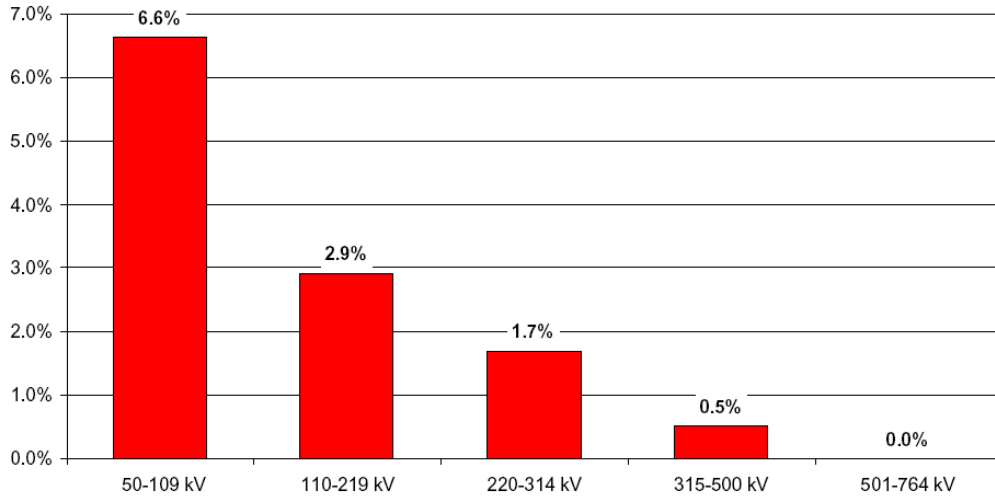


Fig. 1 - Percentagem do comprimento total do circuito que é subterrâneo para os 5 níveis de tensão [1].

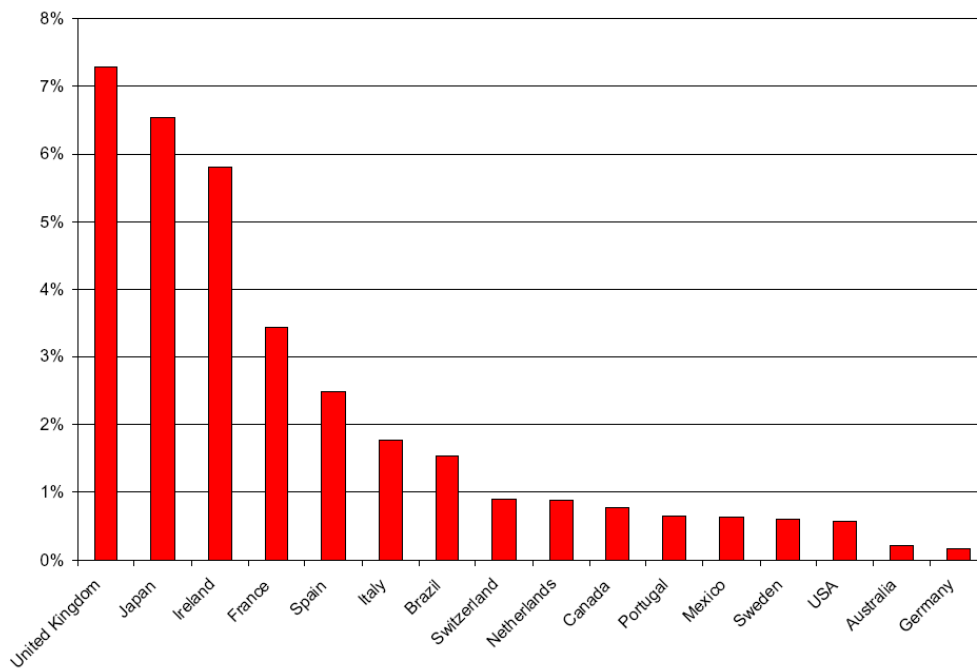


Fig. 2 - Percentagem dos comprimentos de cabos subterrâneos em AC para o nível de tensão 220-314 kV [1].

Este estudo também incidiu sobre um pormenor técnico interessante, nomeadamente o uso de isolamento em papel dobrado versus isolamento polimerizado extrudido, apresentando-se o resultado desse estudo na figura 3.

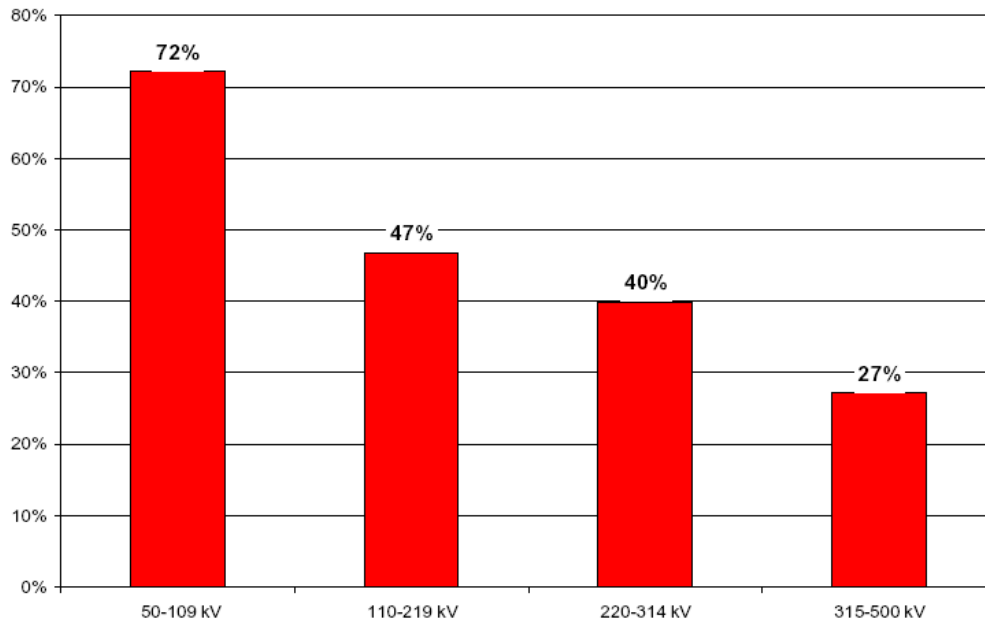


Fig. 3 - Percentagem dos cabos subterrâneos que usam isolamento polimerizado extrudido [1].

O decréscimo da proporção do isolamento extrudido reflecte o incremento do desenvolvimento para os cabos de níveis de tensão maiores. Os cabos de tensões mais baixas foram desenvolvidos primeiro, logo à medida que essa tecnologia aumenta irão ser usado em cabos de tensão mais elevada. Outra razão prende-se com o facto de que os cabos de 50kV já são usados desde 1960 com esta tecnologia, ao invés os cabos de 400 a 500kV só começaram a ser usados por volta do ano 2000.

Outro dado fornecido pelo estudo mostra-nos que a percentagem do uso de linhas aéreas é maior que a utilização dos cabos subterrâneos e, como se pode verificar na figura 1, para o nível de 50-109kV atinge uma percentagem de 93%, sendo que esta percentagem aumenta para 100% no nível 501-764 kV.

A razão principal do uso de cabos subterrâneos em vez de linhas aéreas prende-se com o facto do constrangimento do espaço, por exemplo, dentro de zonas com elevada densidade populacional ou dentro de subestações. Existem também as restrições técnicas, como é o caso de travessias em rios ou mesmo atravessamentos do mar. O facto de os cabos serem normalmente considerados como a segunda hipótese está essencialmente ligado com o factor custo, que por sua vez vai sendo mais importante à medida que o nível de tensão envolvido aumenta.

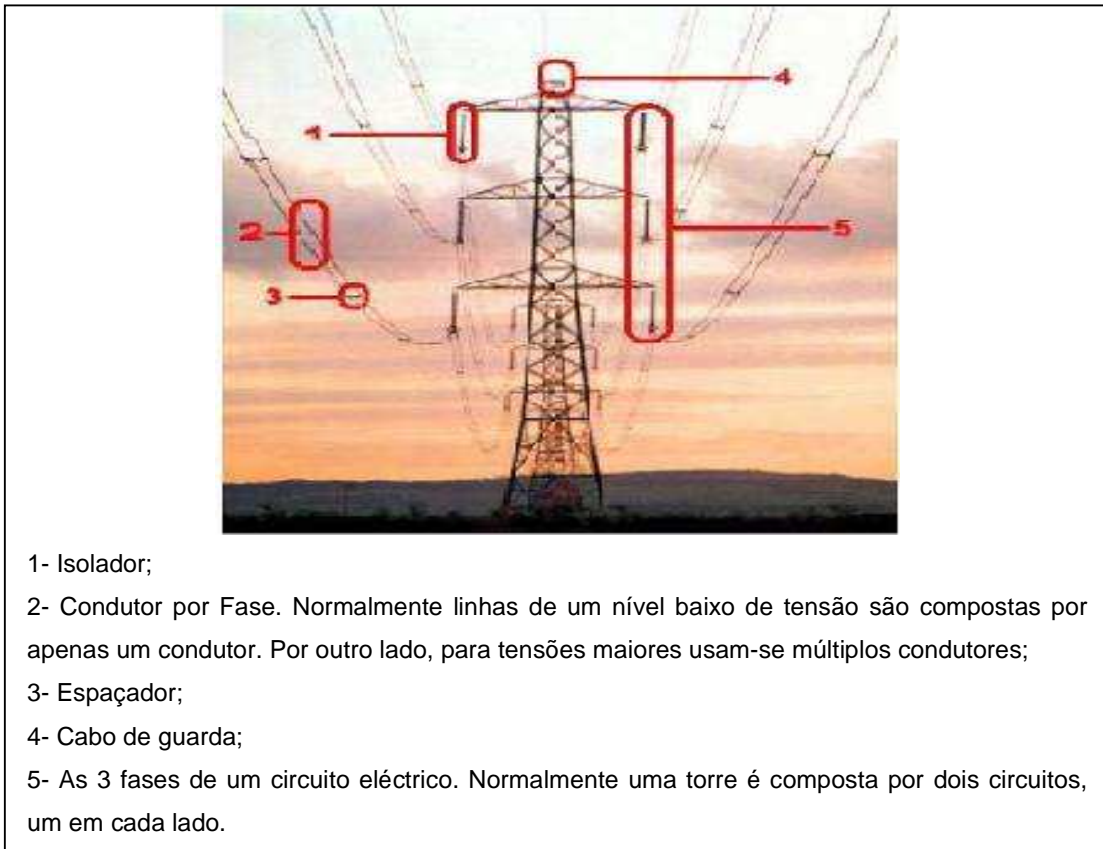
O estudo sobre questões técnicas neste documento incidiu sobre três tópicos:

- Isolamento eléctrico do condutor;
- Transferência de calor de forma a evitar sobreaquecimentos;
- Aspectos construtivos necessários para instalação do circuito.

2.1.2.1 Isolamento Eléctrico.

As linhas aéreas para muito alta tensão (MAT) estão por norma inseridas entre torres de aço que por sua vez estão assentes sobre fundições de betão. As linhas por sua vez são presas em isolamentos suspensos. Se o traçado do projecto tiver que efectuar uma ligeira angulatura, esse isolamento terá que sofrer um reforço com base num apoio em ângulo.

Uma linha de 400kV é apresentada na figura 4 em que o ar que a rodeia providencia o isolamento necessário para a instalação.



1- Isolador;

2- Conductor por Fase. Normalmente linhas de um nível baixo de tensão são compostas por apenas um condutor. Por outro lado, para tensões maiores usam-se múltiplos condutores;

3- Espaçador;

4- Cabo de guarda;

5- As 3 fases de um circuito eléctrico. Normalmente uma torre é composta por dois circuitos, um em cada lado.

Fig. 4 - Composição de uma torre de 400kV para linha aérea numa torre de aço [1].

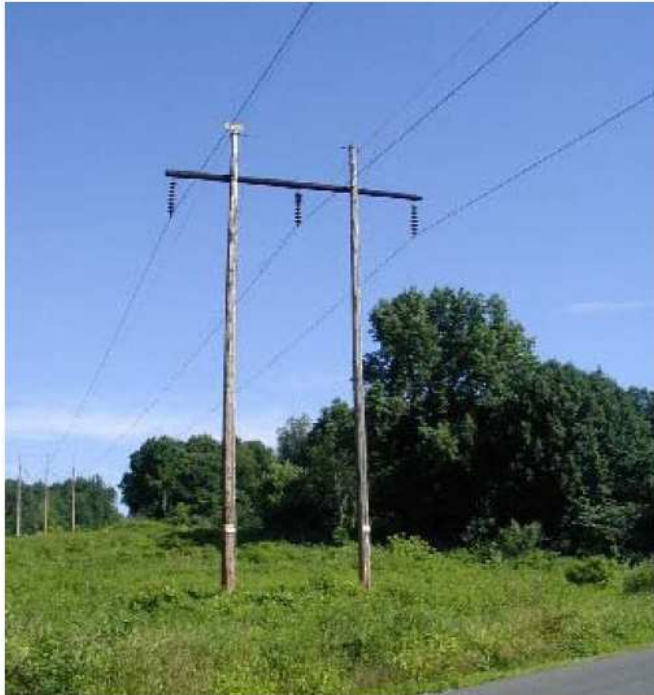


Fig. 5 - Circuito simples de uma linha aérea suportada por postes de madeira em esteira horizontal [1].

Os cabos subterrâneos terão que ter um material isolante que permita o seu funcionamento seguro a elevados níveis de tensão.

Tradicionalmente os cabos deste tipo estão isolados em papel impregnado em óleo (Fig. 7) e este é transportado para o cabo através de condutas de óleo, sempre pressurizado, para manter um alto nível de isolamento.

Outro tipo de isolamento em papel é o do tipo cabos "PIPE TYPE" em que o seu funcionamento consiste em manter as três fases dentro de um tubo de aço sob pressão envolvido em nitrogénio ou óleo de forma a melhorar as propriedades dieléctricas.

O condutor e o isolamento eléctrico têm de ser protegidos contra danos e corrosão, sendo essa protecção feita pela bainha metálica que normalmente é feita em alumínio e cobre. A bainha por vezes pode fazer parte do ecrã metálico e inclui fios para facilitar o escoamento para a terra em caso de um defeito no cabo. Para estar protegida contra danos mecânicos e corrosão, a bainha leva um acabamento final em material plástico forte.

Nas figuras 6 e 7 mostra-se a constituição de cabos de MAT em polietileno e envolvido em óleo.

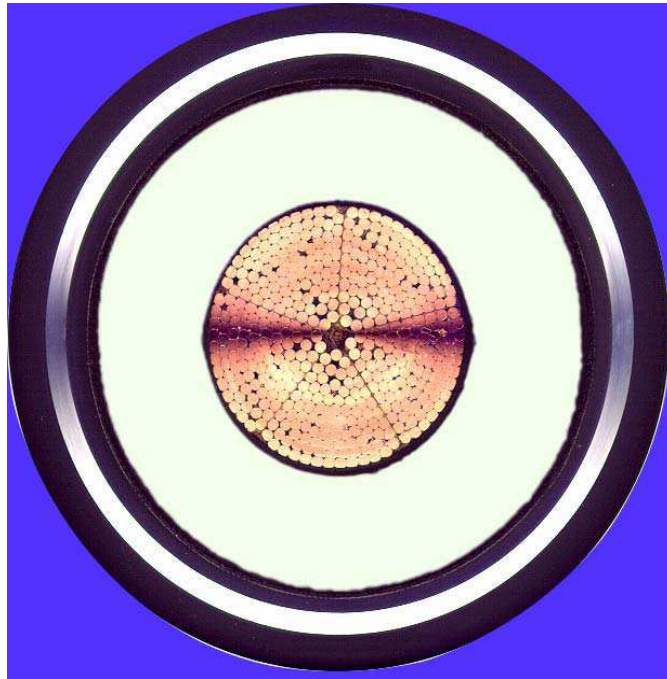


Fig. 6 - Constituição de um cabo em polietileno [1].

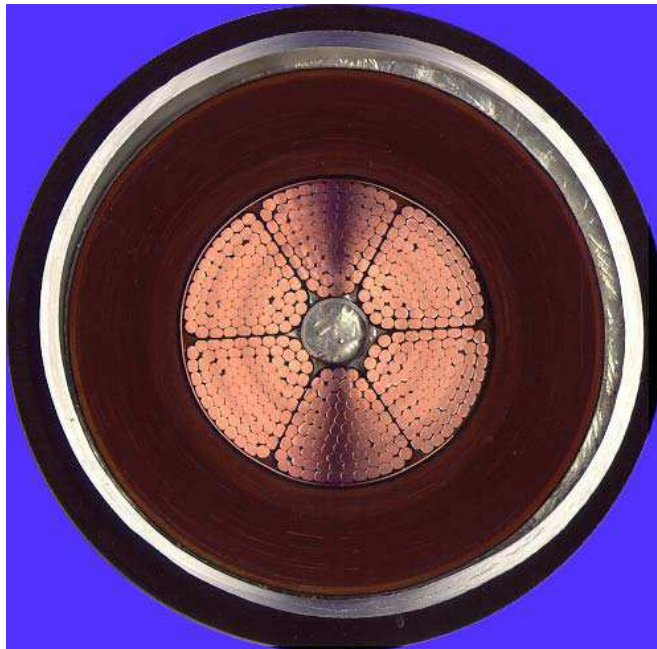


Fig. 7 - Constituição de um cabo envolvido em óleo [1].

2.1.2.2 Transferência de calor.

Uma proporção significativa dos custos adicionais e complexidade implementadas nas instalações de cabos subterrâneos envolvem o facto de se tentar dissipar o máximo de calor do interior dos cabos.

Para um cabo subterrâneo existem igualmente a perda no condutor bem como perdas adicionais através de correntes induzidas na bainha e perdas de isolamento no dieléctrico. As perdas no dieléctrico são proporcionais ao quadrado da tensão no cabo e esta perda surge apenas por este cabo estar em tensão sem ser percorrido por uma corrente útil, ou seja, não está a alimentar uma carga. Por esta razão as perdas no dieléctrico são, por vezes, denominadas como “no-load loss”, ou seja, perdas sem carga.

Na figura 8 são ilustradas as componentes de perdas num cabo subterrâneo.

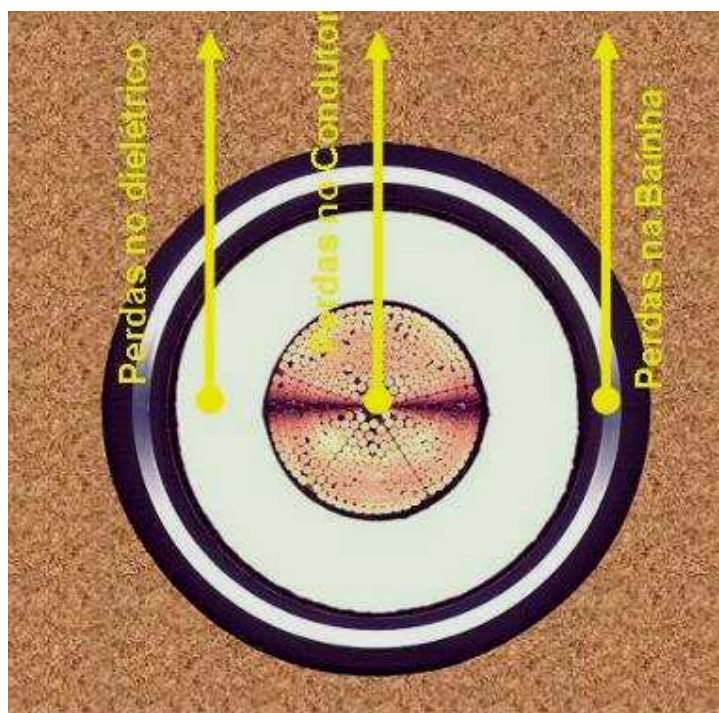


Fig. 8 - Perdas num Cabo Subterrâneo [1].

Para prevenir a degradação do isolamento do cabo este está designado para trabalhar a temperaturas superiores a 90°C. Nas linhas aéreas os condutores operam a temperaturas semelhantes, mas neste caso estão limitados ao arco feito pela flecha, de forma a poder manter as distâncias regulamentares, sendo que normalmente para 400kV a distância de afastamento é aproximadamente 8m.

Um cabo subterrâneo não só tem perdas adicionais comparativamente a linhas aéreas, mas também uma fraca dissipação de calor, por isso é importante tentar manter as perdas dos

cabos o mais pequenas possíveis, principalmente para circuitos de grandes potências. Normalmente isto é feito aumentando a secção do condutor do cabo subterrâneo comparativamente ao seu equivalente para linhas aéreas, uma vez que desta forma consegue-se reduzir a resistência eléctrica interna do condutor.

De seguida é representada o tamanho relativo de um cabo subterrâneo de 400kV comparativamente com um condutor de linha aérea com uma capacidade de transporte semelhante.

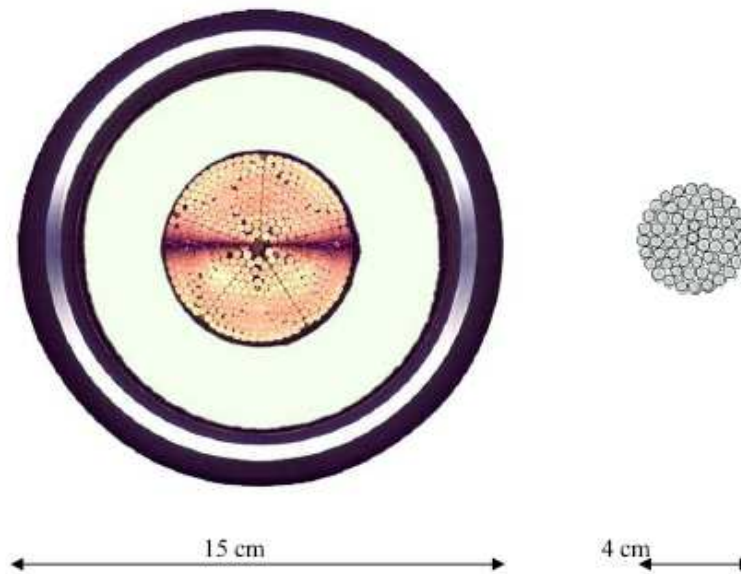


Fig. 9 - Diferença de diâmetros dos condutores das linhas aéreas e dos cabos subterrâneos [1].

Para uma linha aérea a grande parcela de energia dissipada advém do facto da resistência interna do condutor e por sua vez esta perda de energia é convertida em calor e proporcional ao quadrado da corrente que percorre o condutor. O ar que as rodeia normalmente providencia o isolamento em relação à terra mas também tem a função de arrefecer o condutor. Num cabo subterrâneo o isolamento eléctrico actua como um isolamento térmico e impede a transferência do calor do condutor para o exterior do mesmo.

O calor é gerado devido às várias perdas e essa energia tem que passar pela estrutura do cabo para o solo e só posteriormente para a atmosfera, podendo o solo apresentar um grande impedimento sobretudo se for seco.

Outra medida que pode ser tomada para reduzir as perdas por temperatura é o uso de condutores de cobre com baixa resistência, normalmente para linhas aéreas utilizam-se condutores de alumínio de forma a reduzir o peso. Estas medidas aumentam obrigatoriamente o peso do cabo subterrâneo em relação ao condutor da linha aérea. A tabela seguinte

compara o peso, o diâmetro e a resistência eléctrica das linhas aéreas e do cabo subterrâneo com uma capacidade similar, sendo que para obter igualdade na capacidade de transporte é necessário, por exemplo, usar uma secção de 2500 mm² para cabos subterrâneos em cobre comparativamente a uma secção do condutor para linhas aéreas de 821 mm² em alumínio.

Tabela 1 - Características dos condutores dos cabos subterrâneos com os condutores das linhas aéreas.

	Material	Área (mm ²)	Diâmetro (mm)	Massa por comprimento (kg/m)	Resistência por km (Ω/km)
Linha Aérea	Liga de Alumínio	821	37,3	2,3	0,039
Condutor do cabo subterrâneo (isolado)	Cobre	2500	56,4	22	0,009
Cabo subterrâneo			144	33	

Geralmente se o circuito eléctrico é operado a tensões elevadas então maior é a potência que pode transmitir, isto advém do facto de a fiabilidade de serviço ter que ser garantida para cargas de grandes potências e da interrupção de serviço afectar uma grande quantidade de consumidores domésticos e numerosos consumidores industriais. À medida que a potência do cabo aumenta, o seu tamanho e a complexidade na construção também aumentam.

A figura 10 mostra a combinação normalmente usada entre potência máxima de transporte e tensão em jogo para cabos de MAT.

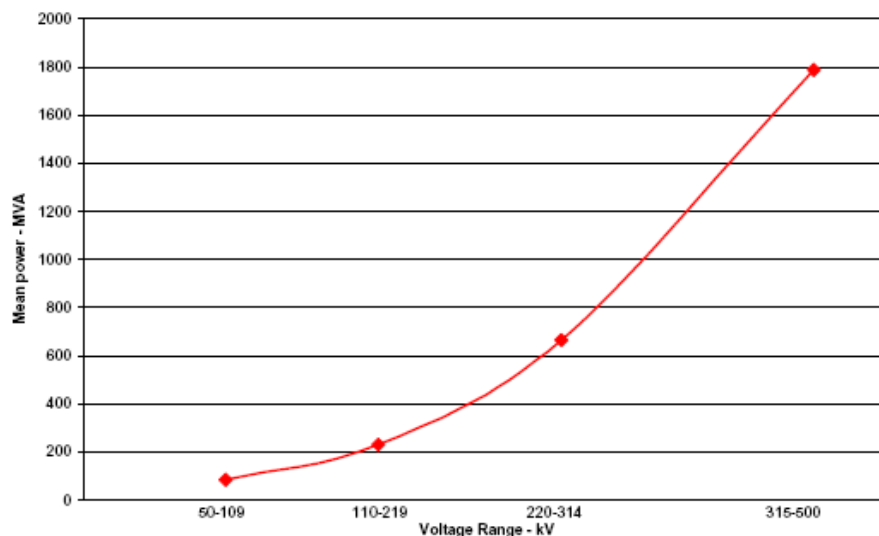


Fig. 10 - Relação entre tensão e potência máxima de transporte [1].

Saber a potência de transporte máxima que circula no condutor pode ser uma ferramenta para o cálculo da potência de perdas no transporte de energia.

2.1.2.3 Aspectos construtivos necessários para instalação do circuito.

A parte mais significativa em termos de custo de projecto é colocar os cabos subterraneamente, sendo que este custo varia, não só com a facilidade de acesso ao longo da estrada, figuras 11, mas também com o nível de tensão ou potência em jogo.

Em áreas urbanas, o custo da instalação tende a ser mais elevado do que em meio rural, pois nas cidades existe uma forte possibilidade do traçado do projecto intersectar outras infra-estruturas como é o caso do gás, telecomunicações, água, etc, como mostra a figura 11 a).



11 a).

11 b).

Fig. 11 - Vala para instalação de um cabo subterrâneo a 110 kV (Figura 11 a). Instalação de um cabo subterrâneo a 132 kV Genoa, Itália (Figura 11 b) [1].

Estas restrições impossibilitam que as valas possam ser abertas com o auxílio de meios mecânicos, passando a ser abertas maioritariamente à mão. Por norma as paredes das entivações têm que ser bem fixas para se poder trabalhar em segurança. A figura 12 mostra tipos de entivação usada em valas para passagem de cabos eléctricos.



Fig. 12 - Tipos de entivação usado em valas para passagem de cabos eléctricos [1].

Outras restrições prendem-se com o facto de não só a obra ter que manter o tráfego da zona o menos congestionado possível, mas também, por vezes, com o ajuste das horas de trabalho com o intuito de reduzir o impacto nos habitantes locais.

O comprimento total de vala aberta ao mesmo tempo pode ser reduzido com o auxílio da construção de uma conduta prévia para a passagem de cabos, estas condutas podem ser de material plástico ou metal. Desta forma podem-se abrir pequenos comprimentos de cada vez e, posteriormente, após a infra-estrutura estar completa, puxar-se o cabo no interior destas, como mostra a figura 13, sendo este método mais eficiente para cabos mais pequenos, leves e com dissipação reduzida de calor.

Para minimizar ainda mais o impacto do projecto, os cabos podem ser instalados em túneis fundos, galerias técnicas. Contudo e embora este método seja bastante dispendioso, por vezes, em algumas cidades é a forma mais prática.



Fig. 13 - Puxe de um cabo de MAT dentro de um tubo de PVC [1].

No espaço rural ou em espaços abertos, os custos da instalação podem ser largamente reduzidos, pois as máquinas para abrirem as valas podem ter mais espaço para trabalhar e, por vezes, pode-se, se o solo o possibilitar, evitar entivação nas valas, como é representado na figura 14.

Embora nos espaços rurais o custo da instalação ser por vezes mais reduzido, esta situação pode-se alterar se esta for de grande escala, pois pode implicar custos adicionais no que diz respeito á preservação da natureza, como por exemplo cursos de água e flora considerada importante.



Fig. 14 - Passagem de um cabo de MAT em terreno aberto [1].

A largura das valas está directamente ligada ao nível de tensão dos cabos, uma vez que quanto maior a tensão de projecto do cabo, maior a potência a que opera, o que vai originar maiores perdas com o aumento de potência, logo maior tem que ser o espaçamento entre cabos e logicamente tem que ser dada uma maior atenção à dissipação de calor.

Cada instalação tende a manter as três fases o mais próximo possível. Neste sentido, enquanto em média e baixa tensão os cabos tendem a ser instalados em trevo, como mostra a figura 15, para potências mais elevadas a necessidade de manter uma melhor dissipação nos cabos obriga a um espaçamento maior entre eles, sendo geralmente usada a formação em esteira, que advém do compromisso entre temperatura e restrições eléctricas. Quando estão em jogo dois circuitos independentes, como é o caso das linhas aéreas, o objectivo para se poder ter um bom arrefecimento é tentar manter cada circuito o mais afastado possível do outro. Neste caso das linhas aéreas o espaçamento normalmente usado é o suficiente para que cada condutor não seja afectado pela presença de corrente no outro.

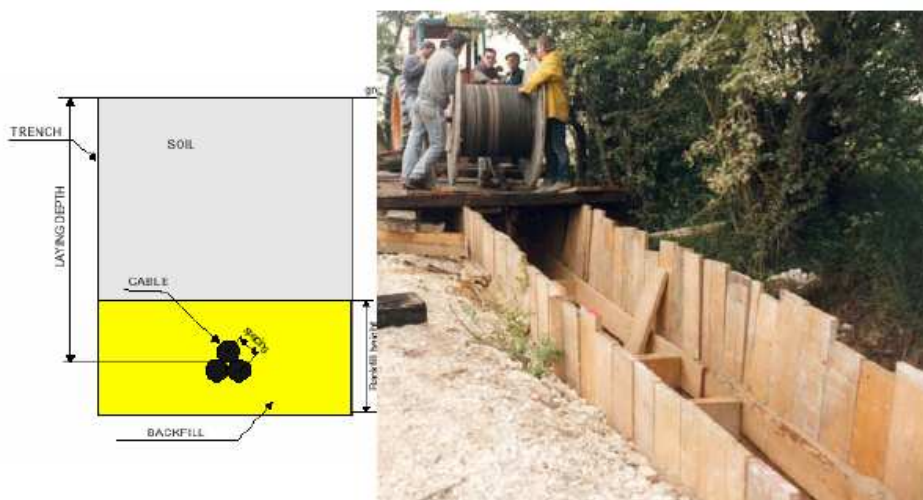


Fig. 15 - Passagem de um cabo de alta tensão (66-90kV) [1].

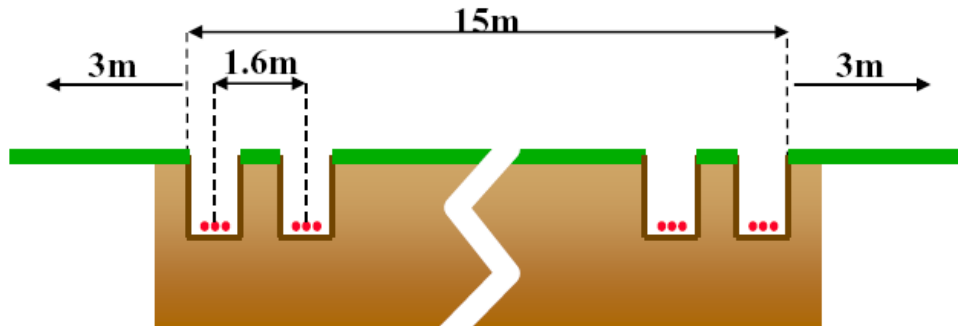


Fig. 16 - Espaço necessário para a passagem de 2 linhas de 400kV (2 cabos por fase) [1].



Fig. 17 - Escavações para a passagem de cabos de 400kV Nunthorpe-Newby no Reino Unido [1].

Como se pode verificar a largura da vala da instalação dos 400kV (figura 16) é bem maior do que a de alta tensão. Para grandes potências (acima de 4800MVA) é recomendado dois cabos por fase, a figura 16 e 17 mostra esse tipo de instalação. Para manter os dois circuitos termicamente independentes, a instalação tem que ser a mais espaçada possível entre as duas linhas. Em termos construtivos o espaço entre as valas é útil pois permite o acesso temporário de uma estrada. Desta forma, consegue-se evitar alguns impactos no ambiente e preservá-lo cada vez mais, sendo que este factor tem que ser cada vez mais importante na actuação das empresas. Ao colocarem as terras ao lado da vala, em vez de as transportarem,

consegue-se reduzir o número de camiões que por lá transitam e também quase assegurar que a camada de terreno que está por cima é repostada no mesmo sítio. Contudo, a desvantagem é que na construção é utilizada uma área maior de terreno. A figura 17 representa este tipo de casos.

Após a construção tem que ser possível aceder aos cabos o mais breve possível caso haja um defeito. As habitações por cima destes cabos não são permitidas, uma vez que também limitam a capacidade de dissipação de calor.

2.1.2.3.1 Junções.

A tecnologia necessária para junção do cabo tende a ser mais complexa e dispendiosa com o incremento da tensão em jogo. O esforço criado no isolamento dos cabos de 60kV é de uns poucos kV/mm. De forma a manter reduzido o tamanho e o peso dos cabos de 400kV de XLPE, este cabo é posto em serviço a um alto esforço, cerca de 12 kV/mm. O aumento do esforço origina um aumento de custo na sua fabricação e também uma junção mais sofisticada e, obviamente, uma maior atenção durante a sua execução.

As junções nos cabos são muito mais complexas que por vezes o cabo em si, sendo feitas no local em vez de ser em fábrica, o que origina uma fiabilidade inferior à dos cabos. Tendem igualmente a ser mais pesadas e menos flexíveis que os cabos de menor tensão, originando menores comprimentos de cabo e mais junções por km.

Após a junção, o cabo é normalmente sujeito a um teste de alta tensão para provar a qualidade da sua junção. Para tensões de 500 e 400kV, o equipamento necessário para este teste é bastante grande e, por vezes, é preciso a mobilização prévia de meios para se efectuar o teste.

Para uma linha aérea, apenas é necessário conectar o condutor, o que normalmente é conseguido através de um encaixe de compressão.

2.1.2.3.2 Transições.

No extremo de cada cabo subterrâneo, uma transição é aplicada para controlar o campo eléctrico. Os factores que influenciam o design, a instalação e os testes às transições são em tudo muito semelhantes com os das junções da figura abaixo.



Fig.18 - Transições instaladas nas torres, 90kV [1].

Quando a ligação de um cabo subterrâneo é feita a uma linha aérea, a ligação de um cabo totalmente isolado com um condutor aéreo é feita através de uma terminação, sendo que a sua implementação depende somente da tensão do circuito. Para tensões maiores as terminações podem estar localizadas e suportadas através da estrutura da linha aérea.

Para tensões intermédias (110-275 kV), as terminações poderão ser instaladas em plataformas montadas nas torres. Como mostra a figura seguinte:



Fig.19 - Transições instaladas em plataformas nas torres, 110kV [1].

A 400kV e a 500kV o tamanho e o peso das terminações e afastamento necessários obrigam ao uso de uma transição segura no solo como mostra a figura seguinte:

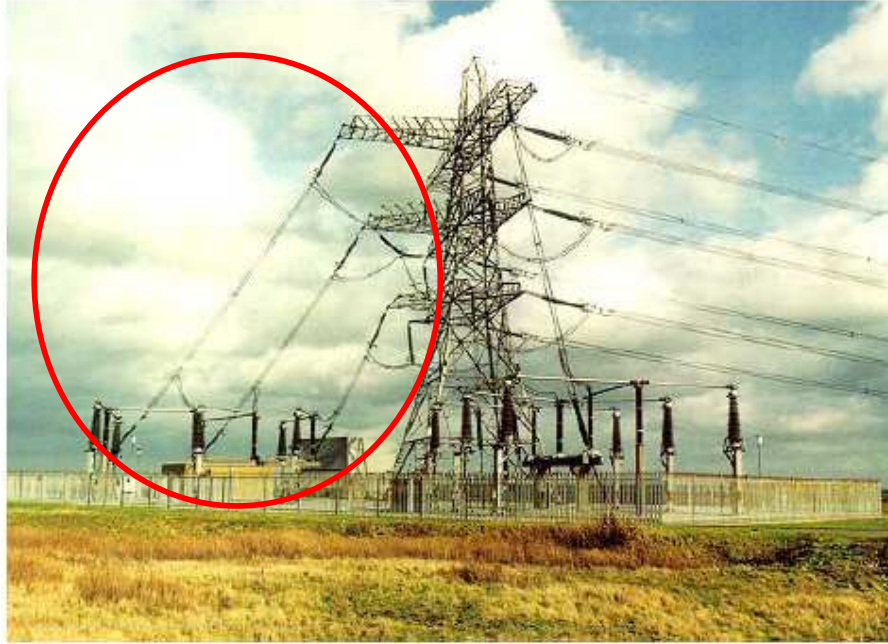


Fig. 20 - Transições instaladas numa subestação, junto às torres, 400kV [1].

Esta passagem pode exigir uma área total de 2500m^2 dependendo da potência envolvida e do equipamento usado.

A torre para a linha aérea é mais robusta neste sítio devido ao facto das terminações das linhas e das forças mecânicas nestes pontos serem desequilibradas.

2.1.2.3 Protecção de defeitos.

Quando ocorre um defeito numa linha aérea é habitual que a causa da mesma seja por exemplo uma descarga eléctrica natural.

É prática natural a tentativa de reenergizar a bobine do disjuntor o mais rápido possível, o que é feito instantaneamente ou com um atraso entre 1s a 20s. Quando existe um defeito num cabo subterrâneo é considerado quase como um defeito permanente, pois o rearme do circuito não é efectuado.

Num sistema híbrido constituído por linhas aéreas e cabos subterrâneos, o fecho automático pode ser tentado, mas tem que se ter em atenção o risco de danos, como explosão ou incêndio. Este processo é facilitado colocando um equipamento que detecte se o defeito é na parte do cabo ou na linha aérea, podendo-se, assim, efectuar o fecho automático se o defeito se encontrar na parte da linha aérea.

2.1.2.3.4 Ligações especiais.

Quando estamos perante uma situação em que as bainhas dos cabos estão conectadas à terra nas duas extremidades, existe a passagem de ainda mais corrente nas bainhas o que origina ainda mais perdas, pelo que para este facto são usados métodos especiais de conexão.

2.1.2.3.5 Compensação da parte capacitiva.

Um cabo subterrâneo actua, por vezes, como um condensador quando é alimentado com tensão alternada, carregando e descarregando repetidamente. Esta carga do cabo ou as correntes reactivas que circulam entre o centro do condutor e a bainha metálica prejudicam o trânsito de energia ao longo do cabo.

Para um cabo de 400kV a corrente de carga é 10 a 40 vezes maior que o seu equivalente na linha aérea. Para grandes comprimentos é necessário instalar compensação reactiva (normalmente indutâncias na forma de reactâncias shunt).

Este equipamento e, logicamente, a sua aparelhagem e conexão são adicionais ao custo da passagem dos circuitos subterraneamente. Por razões práticas é preferível instalar as reactâncias shunt na subestação ou então na plataforma de passagem.

2.1.3 Operação e Manutenção.

Após a instalação da infra-estrutura estar concluída, esta terá que passar por uma processo de operação e manutenção. Dentro deste processo, poderão ser abordados os seguintes temas:

- Monitorização;
- Reparação de defeitos;
- Manutenção periódica;
- Segurança no transporte;
- Segurança.

2.1.3.1 Monitorização.

As operações rotineiras de monitorização a linhas aéreas eram raramente efectuadas, mas com a necessidade do aumento no trânsito de energia por linhas existentes, estes sistemas têm vindo cada vez mais a ser implementados.

Para cabos envolvidos a óleo ou a gás pressurizado, esse material que o rodeia tem que ser monitorizado para um funcionamento em segurança, o que pode ser feito com simples calibres de pressão associados com alarmes de baixa de pressão ou para instalações mais recentes usando transdutores de pressão.

Para cabos em XLPE, a monitorização é feita ao nível das junções e transições através de sistemas “partial discharge” (PD), em que a detecção é relativamente simples, mas a sua detecção e a avaliação dos dados é um método complexo. No entanto, este tipo de monitorização pode melhorar a confiança nos cabos pois consegue-se assim dar um aviso prévio da sua degradação.

As medidas de temperatura podem ser dadas simplesmente por sensores como termocouples que podem ser colocados no solo e na bainha do cabo em pontos específicos. Melhores medidas de temperatura podem ser feitas usando sensores de temperatura distribuído (DTS) onde um cabo de fibra óptica é usado para medir continuamente a temperatura ao longo do percurso. Estas medidas podem ser usadas em tempo real por meio de um software, de forma a poder serem dadas avaliações a curto prazo para os cabos subterrâneos.

2.1.3.2 Reparação de defeitos.

Um defeito nas linhas aéreas pode ser rapidamente encontrado através de meios de visionamento, quer sejam pessoas ou, em casos urgentes e em que, por vezes, os terrenos não o permitem doutra forma, com o auxílio de meios aéreos.

A reparação dessas linhas é relativamente simples e na maior parte dos casos pode voltar a ser posta em funcionamento em poucos dias, contudo grandes catástrofes envolvem, normalmente, múltiplos circuitos e podem levar várias semanas para serem reparadas.

Os danos nos cabos subterrâneos, normalmente, afectam somente um circuito e se o dano não é feito por uma escavação, então a sua localização é difícil de encontrar com recurso de meios eléctricos, pelo que, tipicamente, a sua resolução pode levar várias semanas.

2.1.3.3 Manutenção periódica.

O custo da manutenção anual pode variar consoante o país em que se encontra, uma vez que para cada país podem existir diferentes práticas de manutenção.

Alguns países testam anualmente as bainhas dos cabos para confirmar a sua integridade, enquanto outros não. Esses testes podem ser dispendiosos, mas podem ter o retorno a longo prazo. Cabos com isolamento a óleo requerem uma maior manutenção que cabos com isolamentos extrudidos. Por outro lado, as inspecções anuais a linhas aéreas podem ser feitas com estes em serviço, simplesmente, por deslocação terrestre e, por vezes, aérea. A maior parte dos defeitos que surgem nas linhas acontecem quando a observação é posta de lado e também pelo simples facto de se evitar a subida aos postes para ver o estado do equipamento no topo dos mesmos. Para prevenir corrosão é prática usual pintar as torres com intervalos regulares.

2.1.3.4 Segurança no Transporte.

A questão se o cabo subterrâneo ou a linha aérea tem uma melhor fiabilidade no transporte não é uma matéria sensível, pois ambos os sistemas são intrinsecamente muito fiáveis se bem projectados e se tiverem uma boa manutenção.

Em zonas com climas temperados, a linha aérea é uma boa opção em termos de continuidade de serviço em relação aos cabos subterrâneos, pois não está sujeita a danos de escavação de terceiros.

Em zonas com climas com condições extremas a situação muda, uma vez que o vento, a neve e o gelo podem causar extensos danos na linha aérea enquanto o cabo é imune a esses problemas. Danos causados por quedas de árvores podem também ser problemáticos, principalmente para linhas de baixas tensões, sendo que para tensões mais elevadas esses riscos vão diminuindo, pois o tamanho das torres vão aumentando.

Em zonas com grande probabilidade de existir terremotos, os cabos subterrâneos estão sujeitos a prováveis danos severos devido à vibração e ao desabamento de terras lateralmente. Nas duas décadas passadas houve três grandes terremotos em que os danos nos cabos subterrâneos eram esperados. Na Califórnia (EUA) houve um terremoto no LOMA Prieta (1989) afectando área de San Francisco Bay e também o terremoto de Northridge (1994) que afectou a área de Los Angeles. Nestes dois casos não se verificou danos em cabos. Em 1995 o terremoto de Hyogoken-Nanbu afectou severamente a área em torno de Kobe, Japão. Uma falha principal do cabo ocorreu, quando o óleo escapou de um cabo isolado a óleo, instalado numa conduta. Além disso, existiram também duas falhas que afectaram instalações menores (um cabo isolado a gás e um cabo submarino, tendo sido ambos reparados).

Estes casos sugerem um investimento nos sistemas projectados para os cabos de forma a poderem suportar forças sísmicas para minimizar os danos sofridos. O custo depende do tipo do fenómeno sísmico esperado e da resistência inerente do sistema de cabo a forças mecânicas. Nos casos em que um cabo subterrâneo sofre um dano é provável que exijam um período mais longo para a reparação do que numa linha aérea equivalente.

2.1.3.5 Segurança.

As linhas aéreas são estruturas facilmente visíveis e raramente danos não intencionais por terceiros são verificados. Contudo, se as distâncias de segurança não forem verificadas e as pessoas se aproximarem muito das linhas podem ocorrer acidentes mortais. A queda de condutores ou postes pode ser um perigo a ter em conta em condições extremas.

É prática comum que os cabos subterrâneos, por não estarem prontamente visíveis, sejam danificados por escavações, provocando, assim, maiores danos no cabo. Este tipo de situações tem vindo a diminuir à medida que a actuação dos sistemas de protecção é rápida e a localização destes tendem a limitar a propagação do fogo e materiais perigosos. Na maioria dos países é obrigatório fazer os levantamentos dos croquis das outras infra-estruturas envolventes para se evitarem acidentes.

2.1.4 Aspectos económicos.

2.1.4.1 Redução de custos dos cabos subterrâneos.

A necessidade de se aplicar a monitorização neste tipo de cabos origina um aumento do custo efectivo na sua instalação, pelo que actualmente já estão disponíveis um leque de soluções que permitem diminuir o diferencial existente entre as linhas aéreas e os cabos subterrâneos.

Melhorias no desenho do cabo estão a originar cabos mais leves e comprimentos cada vez maiores, estando as diferenças significativas no uso de bainhas “com folha laminada” em vez de bainhas sem emenda fina de metal. A presença de um esforço eléctrico elevado origina o aumento da espessura do isolamento dos cabos. O uso de menos material reduz o número de junções levando a uma redução de custos e a tempos de instalação mais curtos.

O custo da instalação pode ser reduzido também através de técnicas mecânicas de escavação. Para cabos de menor tensão, a vala pode ser aberta, o cabo pode ser colocado e pode ser aterrada numa só passagem. Para cabos de maior tensão é obrigatório que estes sejam puxados no interior de condutas. Um novo método de puxe de cabo tem sido tentado, no qual assim que o cabo é puxado, a água é bombeada através da conduta providenciando fluabilidade ao mesmo, facilitando desta forma o puxe do mesmo. O uso de condutas pré-lubrificadas pode reduzir a fricção e, logicamente, a força aplicada no puxe é reduzida.

Técnicas que envolvem mecanismos para colocar cabos são maioritariamente aplicadas a cabos leves, de baixa potência ou em meio rural, não podendo ser usadas se existirem travessias de outras infra-estruturas ou também se é exigido um tapamento especial para melhorar a dissipação de calor do cabo. Existe também um limite de peso nos cabos para este tipo de colocação e pode não ser possível a colocação em épocas de chuva.

2.1.4.2 Investimentos para longo prazo.

Existem determinadas circunstâncias em que o cabo tem que ser conectado a uma linha aérea cuja capacidade é maior do que o requerido actualmente. É uma solução económica instalar um cabo que satisfaça a exigência do presente e instalar posteriormente um segundo cabo por fase assim que a carga suba o suficiente.

Para cabos em condutas, é mais económico instalar condutas suplentes durante a construção civil.

Para cabos em túneis, a provisão pode ser feita deixando espaço no túnel para outros circuitos.

Quando está previsto o arrefecimento forçado no futuro, é possível não fazer o investimento total a longo prazo e instalar o sistema de arrefecimento total até uma data posterior. Para cabos arrefecidos a água, os tubos de água podem ser instalados sem as estações de arrefecimento e refrigeradores estarem conectados. Por semelhança, para um cabo isolado a óleo de alta pressão, os radiadores e os sistemas de arrefecimento podem ser instalados posteriormente.

As técnicas de medição de temperatura em tempo real também possibilitam a opção de investimentos na altura adequada a longo prazo, pois estendem o período de tempo onde o cabo é existente se encontra com a necessidade.

As linhas aéreas originam uma solução de disponibilidade imediata para o provisionamento na transmissão de energia. Este método geralmente usa projectos standard ao nível do condutor, isoladores ou torres e o preço relativamente baixo de uma linha aérea significa que existe um fraco benefício em aplicar uma nova solução nas linhas. Esta filosofia por sua vez tem que ser aplicada nos cabos subterrâneos e é um tipo de projecto relativamente caro, apesar do custo adicional da solução particular é possível fazer poupanças significativas em soluções específicas. Isto é particularmente verdade em novas instalações ou técnicas.

Outra consequência é o facto de que um projecto de cabo subterrâneo pode ser adequado para estar coerente com umas determinadas condições locais, o que pode implicar que a mesma solução não se adegue noutra local. Mesmo para a mesma tensão e potência, os custos dos cabos subterrâneos podem variar bastante, o que dificulta a generalização dos custos para este tipo de projecto ou mesmo para obter um formato típico deste tipo de sistemas. Neste sentido, cada instalação tem, então, que ser vista individualmente e os seus custos calculados.

2.1.4.3 Factores e relações de custo.

As estatísticas mostram que geralmente o uso de linhas aéreas pelo operador é preferível ao uso dos cabos subterrâneos, sendo esta escolha num projecto a base do custo total, embora também existam factores que favorecem as linhas aéreas neste ponto.

Antes de considerar em detalhe as componentes que aumentam o preço de um cabo subterrâneo, primeiro deve-se considerar o incremento de custo benefício dos cabos com o seu equivalente em linha aérea.

As relações de custo são uma forma muito simples de comparar custos, por exemplo, dizer-se que um cabo subterrâneo é dez vezes mais caro que uma linha aérea, na realidade pode haver um largo intervalo de valores para circuitos similares o que origina uma grande confusão e desconfiança entre as partes interessadas da avaliação de custos.

As relações de custo são muito voláteis e particularmente sensíveis a pequenas alterações no custo da linha aérea e como consequência têm que ser usados com muita precaução. A tabela seguinte mostra as relações hipotéticas dos custos.

Tabela 2 - Relações hipotéticas de custos de linhas aéreas e cabos.

Caso	Custo de um cabo subterrâneo (M€)	Custo de uma linha aérea (M€)	Relações de custo	Custo adicional da passagem para subterrâneo (M€)
1	10	0,5	20	9,5
2	10	1	10	9,0

Em ambos os casos, o cabo subterrâneo custa €10 milhões, no caso 1 a linha aérea custa €500 mil e no segundo caso por pequenas alterações da fisionomia da linha aérea ou nas condições do terreno local resulta num custo da linha aérea de €1 milhão. As relações de custo para o caso 1 é 20 e no caso 2 é 10. O custo adicional de instalar um troço em cabo subterrâneo é bastante semelhante para os 2 casos, nomeadamente € 9,5 milhões para o caso 1 e € 9,00 milhões para o caso 2.

Pequenas alterações no projecto do circuito podem produzir grandes alterações nas relações dos custos, embora em termos financeiros as relações tenham pouco significado, é o custo adicional no cabo subterrâneo que tem importância tendo que se ver o peso que esse custo traz em benefícios.

Em 1996 foi feito um estudo CIGRE, em que juntaram um grupo de trabalho com o objectivo de tentar juntar valores internacionais de relações de custo, mas como se esperava os resultados foram de uso muito limitado. Para circuitos que operam a tensões entre 220kV e 362kV, esse grupo de trabalho achou relações entre 5 a 21, sendo que essas relações variam largamente devido a estarem dependentes das circunstâncias locais (terreno, custos da terra e trânsito de energia). Um novo grupo de trabalho foi formado no presente e tentou recolher estes dados para se poder definir um cabo "típico" mas chegaram à conclusão que é ainda mais difícil obter um consenso internacional na constituição desse cabo. Concluíram que não é possível recolher dados suficientemente consistentes de custos de linhas aéreas e cabos subterrâneos que trariam conclusões mais consistentes sobre as relações existentes de custo, daqueles obtidos em 1996.

O único método de confiança para comparar custos das linhas aéreas com cabos subterrâneos é o caso para caso, porque as relações de custos genéricas são muito limitadas e devem ser evitadas. Estimativas para cabos e para linhas para um processo específico têm que ser calculadas e só posteriormente comparado o seu peso entre custo benefício.

2.1.4.4 Comparar opções entre cabos subterrâneos e linhas aéreas.

A única forma viável de comparar os custos de linhas e cabos subterrâneos é no caso para caso, não existindo, por isso, uma resposta genérica para essa comparação. No entanto, têm existido várias discussões para se tentar reduzir o custo do projecto de cabos subterrâneos que normalmente envolvem a disponibilidade de um projecto flexível em vez de somente aceitarem uma solução standard, o que origina o conceito do custo standard para estes circuitos insustentáveis.

O custo do cabo é pouco dependente de valores praticados no passado, uma vez que o preço do cabo subterrâneo é fortemente influenciado por flutuações do preço das matérias-primas, tais como o cobre e também é particularmente caro produzir e armazenar grandes quantidades de stock de cabo particularmente para altas tensões. Em consequência o preço do cabo subterrâneo é bastante sensível ao balanço entre a procura e a capacidade de fabrico.

Outro problema em usar valores do passado de custos de cabos e linhas é o facto de que os cabos têm sido tipicamente usados em centros de cidades e as linhas têm sido usadas para o transporte de energia em meio rural. Logo, tem existido uma tendência para comparar o custo de um cabo em meio urbano com uma linha em meio rural, o que se pode tornar uma comparação incoerente.

Para cada projecto as opções de custo do cabo subterrâneo e linha aérea têm que ser calculadas e só posteriormente comparadas.

Uma vez que a diferença de custos é calculada, é possível então comparar os benefícios e as desvantagens que são mais difíceis de serem expressos em termos monetários, incluindo factores, tais como o impacto visual, a ameaça ao habitat e os achados arqueológicos.

Terá que ser considerado igualmente o facto do uso da terra, pois uma instalação de linha aérea ou cabo subterrâneo pode afectar a agricultura ou o desenvolvimento de habitações em meio suburbano.

Os factores como o impacto visual e as ameaças ao habitat não sempre iguais ao longo do percurso, sendo que em alguns casos a passagem de partes a cabo funciona como acordo de contrapartida para evitar principalmente o impacto visual. Embora a transição da linha aérea para cabo possa ter um impacto significativo no habitat local, troços curtos de cabo são pouco desejáveis.

Contudo, embora a generalização seja insensata sem considerar os detalhes do caso específico, somente calculando o diferencial de custos entre a opção cabo subterrâneo e linha aérea para um circuito particular se pode obter o peso de forma a ir ao encontro de benefícios e ameaças para se ter uma base racional para uma decisão.

2.2 Linhas aéreas de MAT em Portugal.

2.2.1 Tipologias.

A constituição das linhas aéreas de transporte por norma é composta por cabos de alumínio ou de ligas de alumínio, ambos com ou sem alma de aço, como é ilustrado nas figuras 21 e 22.

A constituição interna é adequada à sua necessidade, ou seja:

- Capacidade de transporte previsível que varia, por exemplo, o número de fios internos e o seu diâmetro;
- Se são geminados ou não;
- Tipo de Feixe;
- Tipos de postes;
- Se tem uma maior resistência mecânica, em que neste caso pode usar-se AAC (uma liga de alumínio), ou então, no caso de haver a impossibilidade de torres intermédias ou a instalação ter grandes vãos, usar-se cabos com alma de aço;
- Se tem uma maior resistência à corrosão pode usar-se ACSR (liga de alumínio);
- Maior ou menor flexibilidade na instalação, pode adequar-se o número de fios da composição em que estes por sua vez poderão ser:

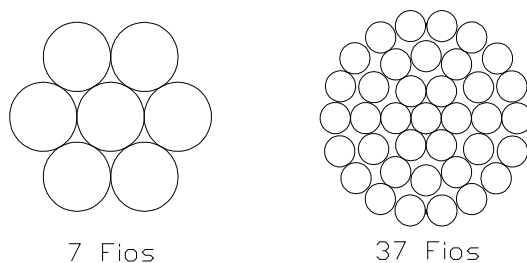


Fig. 21 - Cabos de alumínio ou ligas de alumínio sem alma de aço.

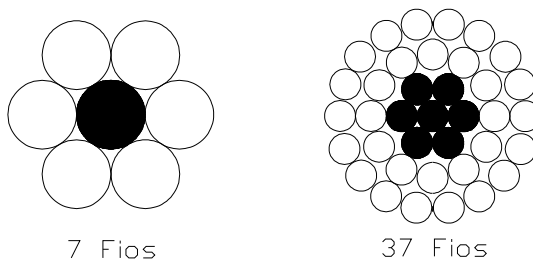


Fig. 22 - Cabos com alma de aço.

Para as linhas aéreas de MAT, os condutores ou cabos representam a mesma coisa, pois o condutor é transportado sem isolamento. As constituições usadas em Portugal, encontram-se representadas em Anexo 1.

A variação do nível de tensão, dentro do MAT, origina que os postes que suportam as linhas também alterem de fisionomia consoante o nível de tensão. Esta variação também é sensível à variação de linhas simples para duplas. As fisionomias usadas em Portugal, consoante o nível de tensão, encontram-se em Anexo 1.

No traçado da linha aérea, em cada isolador, os condutores terão que ser apoiados. Devido a impossibilidades geográficas, os tipos de apoio podem variar com o ângulo que o traçado faz de um poste para o outro, ou mesmo se é pretendido uma bifurcação a uma linha existente. Desta forma os apoios poderão tomar as seguintes formas:

Tabela 3- Tipos de apoios usados nas linhas aéreas.

Apoios normais:	Apoios de reforço:
Apoio em derivação	Apoio de reforço em derivação
Apoio de ângulo	Apoio de reforço em ângulo
Apoio de alinhamento	Apoio de alinhamento
Apoio fim de linha	Apoio fim de linha

A necessidade da existência dos apoios de reforço advém do facto de se ter que reforçar esse apoio para tensões mecânicas mais elevadas do que o normal. Estes apoios, tal como foi dito anteriormente, podem ser de quatro tipos, estando representados na figura seguinte:

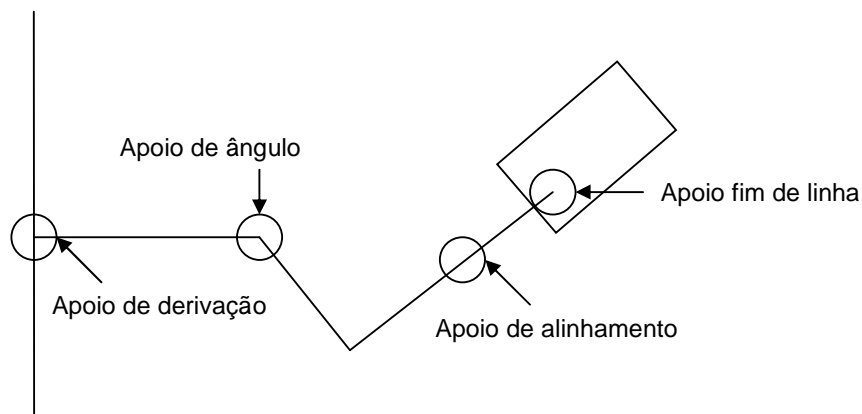


Fig. 23 - Tipos de apoios existentes nas linhas aéreas em Portugal.

▪ **Fundações.**

O Decreto Regulamentar n.º 1/92 define as fundações dos apoios para linhas aéreas para Portugal e parte desse regulamento, respectivo às fundações, encontra-se em anexo 2.

- **Eléctrodos terra.**

O Decreto Regulamentar n.º 1/92 define também as características dos eléctrodos terra para Portugal e parte desse regulamento, respectivo aos eléctrodos terra, encontra-se em anexo 3.

2.2.2 Distâncias regulamentares importantes.

O decreto regulamentar n.º 1/92 define as distâncias mínimas a que as linhas aéreas poderão estar. Um resumo das distâncias regulamentares mais importantes encontra-se na tabela 4:

Tabela 4 - Distâncias regulamentares mais relevantes.

Distâncias regulamentares.	
Dos condutores ao Solo.	$D = 6 + 0,005xU$
Dos condutores às Árvores.	$D = 2 + 0,0075 xU$
Dos condutores aos Edifícios.	$D = 3 + 0,0075 xU$
Dos condutores a obstáculos diversos.	$D = 2 + 0,0075 xU$
Entre condutores e cabos de guarda.	$D = K \sqrt{(f+d)} + U/150$
Travessias.	
Dos condutores às auto-estradas e de estradas nacionais ou municipais.	$D = 6,3 + 0,01xU$
Dos apoios à zona da estrada.	$D=5$ para Auto-estradas $D=3$ para outras vias
Dos condutores aos cursos de água não navegáveis.	$D = 6 + 0,005xU$
Dos condutores aos cursos de água navegáveis.	$D = 1,5 + 0,005xU + h$
Dos condutores aos teleféricos.	$D=3,3 + 0,01xU$
Cruzamentos.	
Entre duas linhas.	$D = 1,5 + 0,01xU + 0,005xL$
Entre os condutores da linha inferior e os apoios da linha superior.	$D = 2 + 0,0075 xU$
Entre os condutores da linha de telecomunicação aos apoios da linha de alta tensão.	$D > 2 \text{ m}$
Vizinhanças.	
Entre linhas aéreas de alta tensão com linhas aéreas de alta ou baixa tensão em apoios diferentes.	$D = 1,5 + 0,01xU$
Entre linhas aéreas de alta tensão em apoios comuns.	$D > 2 \text{ m}$
Entre linhas de alta tensão com linhas de telecomunicação em apoios diferentes.	$D = 1,5 + 0,001xU$
Entre locais destinados ao armazenamento e manipulação de produtos explosivos.	$D \geq 210 \text{ m}$
Notas:	
k - Coeficiente que depende da natureza dos condutores: 0,6 para cobre, bronze, aço e alumínio-aço; 0,7 para alumínio ou ligas de alumínio.	
f - Flecha máxima dos condutores.	
d - Comprimento da cadeia dos condutores, susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha.	
h-altura em metros da maior altura dos barcos que passam no lugar.	
D- Distância regulamentar.	
L-distância em metros entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha superior.	

2.2.3 Ruído.

2.2.3.1 Efeito de coroa.

Para linhas de muito alta tensão um grande limitador do transporte de energia é o efeito coroa. O campo eléctrico na superfície dos condutores atinge um limiar no qual o dieléctrico do ar se rompe, criando assim pequenas descargas em torno do condutor, similar a uma coroa, originando um ruído.

Este efeito provoca perdas eléctricas e torna-se mais intenso na ocorrência de chuva, uma vez que as gotas que caem nos cabos provocam uma concentração do campo eléctrico e elevam o nível de perdas.

Outro factor que favorece a ocorrência deste efeito é as condições físicas da superfície do cabo, isto é, se este for arranhado, sujo ou sofrer algum processo que torne a sua superfície mais rugosa, o que pode ocorrer especialmente na instalação das linhas no puxe dos cabos, ou em zonas com muita poluição ou na proximidade do mar.

Na ocorrência de sobre-tensões na linha, o efeito coroa é um meio importante de amortecer essas sobre-tensões, agindo como um caminho de fuga da mesma.

2.2.3.2 Monitorização.

A entidade responsável pela manutenção e gestão deste tipo de infra-estruturas eléctricas, para minimizar o ruído causado no transporte de energia, recorre frequentemente à monitorização dos valores de ruído verificados nas linhas de transporte de energia.

Os parâmetros a monitorizar, locais frequências de amostragem, técnicas e equipamentos necessários, periodicidade dos relatórios de monitorização e a metodologia de cálculo do ruído gerado pelas linhas aéreas de MAT encontram-se em Anexo 4.

2.2.4 Aspectos económicos.

Na opção de linha aérea, o custo do transporte de energia consegue ser mais reduzido, o que se deve, em grande parte, à tecnologia empregue, que é relativamente mais simples, tal como foi explicado no interior dos pontos 2.1 do presente capítulo.

Para as linhas aéreas MAT, o condutor quando se localiza entre postes, não tem isolamento, originando uma execução das junções mais simplificada, resultando num custo inferior ao dos cabos.

A parte da execução das linhas consiste na colocação dos postes nos sítios pré-definidos, e posteriormente, após todos os elementos que os constituem estarem montados (isolamentos, reforços, etc.) é passado o cabo que depois é amarrado ao mesmo. Este método origina que na parte de construção civil, a abertura das fundições para os maciços dos postes e o levantamento dos mesmos ocupe um espaço de tempo mais reduzido do que na instalação

dos cabos subterrâneos de MAT. Com estas diferenças em termos tecnológicos e cronológicos consegue-se reduzir os custos para o transporte de energia eléctrica.

Em Portugal o nível mais elevado presentemente é 400kV, pelo que para a comparação de custos de cabos versus linha é impossível o seu cálculo, pois não existem cabos de MAT para esta tensão instalados. Dados para o nível de tensão 220kV, relacionam que o projecto das linhas aéreas deste nível de tensão em relação a cabos, caso seja um circuito simples, consegue ser 11 vezes mais barato, mas se este circuito for duplo então este rácio é 16 vezes mais barato. Estes valores vêm de acordo com os valores considerados no ponto **2.1.4.3**, do presente documento pelos elementos do comité internacional que estimavam internacionalmente uma estimativa de 5 a 21 vezes menos dispendioso para as linhas aéreas com o nível de tensão 220kV-362kV.

2.3 Cabos subterrâneos de MAT em Portugal.

De acordo com a REN, os cabos existentes localizam-se em Lisboa, Amadora-Oeiras-Lisboa (220kV), Carregado e Sacavém (150kV).

2.3.1 Tipologias.

2.3.1.1 Constituição genérica de um cabo de MAT.

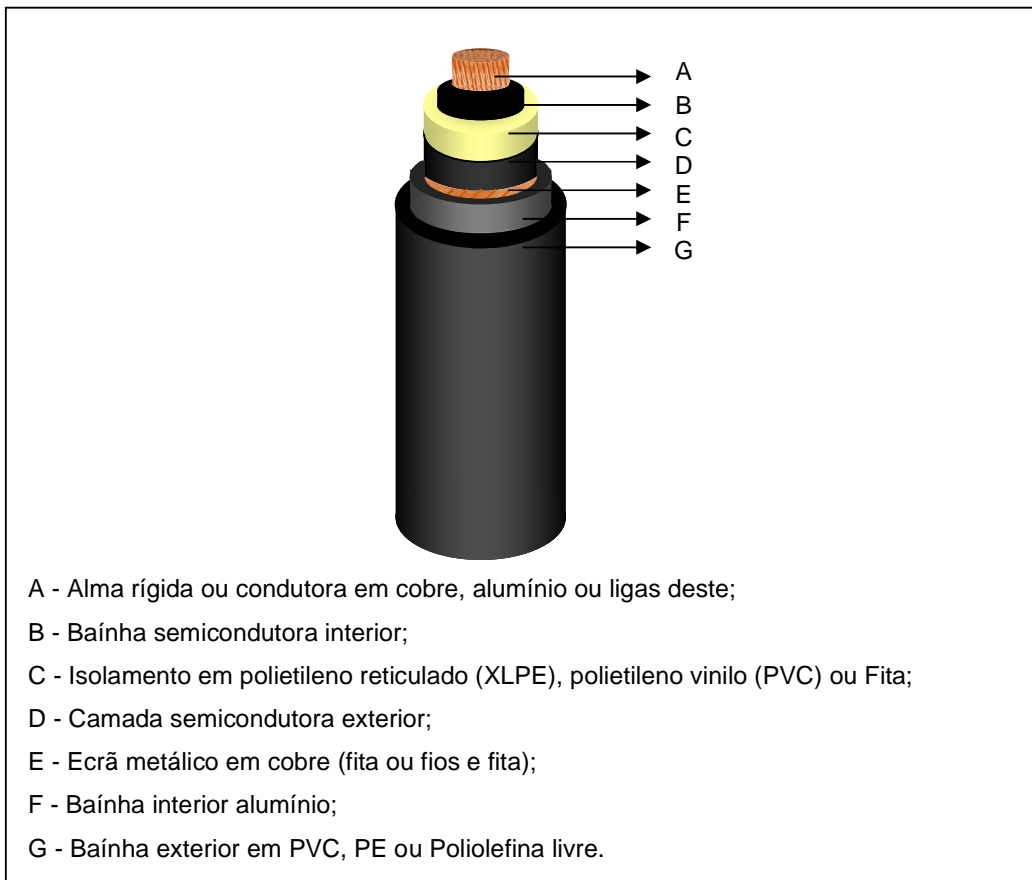


Fig.24- Constituição de um cabo de MAT.

- **Alma condutora.**

Em função da secção e flexibilidade desejada a alma condutora poderá tomar as seguintes formas:

Multifilar, ou seja, constituída por diversos fios cableados. Normalmente os fios estão dispostos em hélice numa ou várias camadas distintas, sendo o sentido do cableamento alternado entre camadas sucessivas.

Maciça, ou seja, constituída por um único fio ou por vários sectores cableados, sendo o emprego da primeira solução limitado normalmente a secções inferiores.

As almas condutoras com secção circular são constituídas por camadas concêntricas. No entanto, no caso de secções grandes, a alma condutora poderá ser segmentada, isto é, composta por vários elementos cableados, com forma sectorial, podendo ser ligeiramente isolado entre eles. Esta constituição tem por objectivo a redução do efeito pelicular e de proximidade e, por consequência, a resistência ohmica em corrente alternada permitindo um maior aproveitamento da secção útil.

- **Tipos de condutores.**

A publicação da CEI 60228 define a gama de secções nominais para almas condutoras e ordena-as em quatro classes, por ordem crescente de flexibilidade.

- **Camadas isolantes.**

Maior parte dos materiais isolantes usados nos cabos de energia em Portugal são os isolantes sintéticos também denominados por isolantes secos, que podem ser materiais termoplásticos, elastómeros ou polímeros reticuláveis.

Estes diferentes isolantes sintéticos podem ser divididos em:

Materiais termo plásticos, nos quais a temperatura provoca, de uma maneira reversível, uma variação na plasticidade, como são o caso do policloreto de vinilo (PVC) e do plietileno (PE) [11].

Os elastómetros e polímeros reticuláveis apresentam um bom comportamento elástico e também uma grande facilidade para a deformação [11].

- **Ecrã metálico.**

Tem como finalidade a condução da corrente de curto-circuito monofásica da instalação. O tipo de materiais normalmente usados são o cobre nu ou estanhado, o alumínio e o chumbo em junção com outros materiais, embora o chumbo tenha vindo a ser substituído por cobre ou alumínio devido a questões ambientais.

Os ecrãs em cobre ou alumínio apresentam-se sob várias formas:

- Uma ou várias fitas, enroladas em hélice, para que nenhum espaço livre seja visível exteriormente.

- Uma fita em alumínio ou cobre com uma espessura fina colocada ao comprimento e revestida numa das faces com um produto destinado a assegurar a sua aderência à bainha exterior. Segundo o tipo desta última e da natureza da fita, esta solução é correntemente denominada por ALUNYL (fita em alumínio e bainha em PVC), ALUPE (fita de alumínio e bainha em polietileno), CUNYL (fita em cobre e bainha em PVC) ou CUPE (fita em cobre e bainha em polietileno) [11].

- Uma fita em cobre ou alumínio enrolada e eventualmente associada a uma fita de aço também enrolada colocada a todo o comprimento [11].

- Uma malha em fios de cobre em alumínio enrolada em hélice, eventualmente com os fios reunidos electricamente por uma fita da mesma natureza disposta, igualmente, em hélice. Uma trança em fios de cobre de pequeno diâmetro no caso dos cabos flexíveis. Uma das camadas constituintes da trança poderá ser formada por fios têxteis (trança mista) [11].

- Uma fita de cobre ou alumínio corrogado. Esta forma é mais utilizada nos cabos de Alta tensão, favorecendo a flexibilidade [11].

- **Armadura.**

Assegura a protecção mecânica do cabo, desde de que este seja submetido a esforços importantes, transversais (compressão, choques) ou longitudinais (tracção), quer durante a colocação quer na exploração.

Por norma os cabos unipolares alimentados em tensão alternada não são armados, embora num cabo tripolar, em regime equilibrado, as perdas magnéticas na armadura sejam reduzidas. Por outro lado, estas são particularmente elevadas num cabo unipolar e podem provocar uma

limitação razoável na capacidade de transporte da canalização, neste caso uma protecção mecânica exterior é preferível ao uso de um metal a magnético, que é mais dispendioso.

As armaduras mais utilizadas são constituídas por duas fitas de aço macio, recozido, eventualmente zincado, enroladas em hélice (separadas), para que nenhum intervalo livre seja visível. Este tipo de armadura satisfaz em todas as situações em que não existam esforços longitudinais, nem condições particulares de flexibilidade e corrosão.

No caso de esforços de tracção, durante a colocação ou a exploração (por exemplo colocação em poços ou em terrenos instáveis, cabos submarinos) ou no caso de solicitações mecânicas anormais (esmagamento, choques, cortes) é necessário prever uma armadura formada por uma ou duas camadas de fios de aço. Estes, geralmente redondos e zincados, são enrolados em hélice. Quer as suas dimensões quer as suas características são escolhidas em função do cabo e da aplicação. Em certos casos, os elementos unitários da armadura podem ser parcialmente agrupados. São igualmente utilizados fios de cobre incorporados na armadura para melhorar a condutância (armadura mista).

▪ **Bainhas.**

Um papel muito importante das bainhas interiores é garantir a estanquidade do cabo, ou seja, opor-se a todo e qualquer contacto entre a água ou agentes químicos exteriores ao cabo e a camada isolante. Uma estanquidade satisfatória é obtida com uma bainha de material sintético que pode desempenhar também o papel de bainha de enchimento.

O emprego de bainhas sintéticas generalizou-se na protecção exterior dos cabos.

As quantidades utilizadas variam com a sua aplicação, com a natureza do material adequado, bem como com a respectiva composição e devem ser escolhidas de acordo com:

- Resistência mecânica na instalação ou exploração;
- Resistência aos agentes atmosféricos e químicos;
- Estanquidade e flexibilidade; ;
- Resistência ao calor, ao frio, à propagação da chama;
- Fraca opacidade dos fumos, em caso de combustão.

Os materiais normalmente utilizados nas bainhas são [11]:

- Policloreto de vinilo, a sua constituição encontra-se em Anexo 5;
- Polietileno, a sua constituição encontra-se em Anexo 5;
- Materiais ignífugos sem halogéneos, a sua constituição encontra-se em Anexo 5;
- Entre outros, como a borracha nitrilo-acrítica vulcanizada, polietileno clorosulfuroso (Hypalon), policloropreno, polietileno cloretado e poliuretano.

2.3.1.2 Junções.

Em Portugal à semelhança dos outros países, sendo o transporte para esta tecnologia, executado em grande parte nas vias públicas, as caixas onde se irão efectuar as junções dos cabos, terão também que ser construídas nessas vias. Dependendo dos materiais empregues na estrutura dos cabos, condutor e bainha, resulta num tipo de junção mais ou menos elaborada.

Com esse aumento de tecnologia e materiais empregues na constituição dos cabos de MAT, resulta junções bastante elaboradas e feitas no local, o que pode levar cerca de 2 semanas, para a união de uma linha trifásica.

Para este tipo de caixas, que atingem cerca de 12m de comprimento, que podem demorar, como foi dito anteriormente, cerca de 2 semanas, e estando na via pública é susceptível provocar impactes ao nível das populações, no que diz respeito à circulação das viaturas. É previsível a médio prazo, com o aumento da tecnologia empregue nestas tecnologias e com o aumento em Portugal deste tipo de projectos, que as caixas de junções podem ser reduzidas e o tempo para a sua execução pode também ser reduzido.

Este tipo de junções são demoradas, pois para além de a parte do condutor poder ter que ser feita através de fusão, as camadas isolantes têm que ser devidamente unidas, tendo que ser evitada qualquer humidade entre elas, porque a humidade numa junção pode originar o reiniciar de todo o processo e a execução de uma nova.

2.3.1.3 Ligações à terra.

Para diminuir as perdas numa linha trifásica e otimizar a capacidade de transporte, as blindagens dos cabos são ligadas à terra. Desta forma são utilizados alguns sistemas que ao efectuarem esta ligação possibilitam a diminuição da intensidade das correntes induzidas nas blindagens, embora possam vir a provocar tensões permanentes e sobre-tensões transitórias nos circuitos de blindagem que têm que ser tomadas em atenção.

Podem obter-se dois tipos de ligação à terra das blindagens:

- Sistemas de ligação rígida à terra;
- Sistemas de ligação especial à terra.

Para estes dois casos devem ser cumpridas algumas condições técnicas, que durante o funcionamento normal, devem conduzir-se à terra as correntes capacitivas, mantendo as blindagens num potencial próximo do da terra. Durante o tempo que durar um curto-circuito, tanto externo à linha como ocorrido nela mesma ou em algum dos seus elementos, as correntes de falha que possam percorrer o circuito de blindagens não devem provocar tensões

excessivas entre as blindagens e a terra e entre partes do circuito de blindagens. A rigidez do isolamento entre blindagem e terra (bainha do cabo) e do isolamento de separação entre partes da blindagem deve ser suficiente para resistir a estas tensões. Nos pontos em que as sobre-tensões transitórias de origem atmosférica ou de manobra possam produzir solicitações dieléctricas inadmissíveis no circuito de blindagens, devem ser instalados limitadores de tensão.

2.3.1.3.1 Sistema de ligação rígida à terra.

Para estas ligações as blindagens das três fases são ligadas directamente à terra para possibilitar que, em todos os pontos da linha, as tensões das blindagens entre si e em relação à terra se mantenham próximas de zero.

Neste método não é usado nenhuma disposição para evitar a circulação de correntes pelas blindagens em regime permanente. Por sua vez, estas correntes, induzidas pelos condutores principais, originam uma produção adicional de calor, logo a capacidade de transporte da linha diminui.

As blindagens são unidas nos dois extremos da linha. Para se limitar as tensões de blindagem que poderiam ocorrer em caso de defeito é aconselhável também, ligar

As bainhas entre si que por sua vez serão também ligadas à terra.

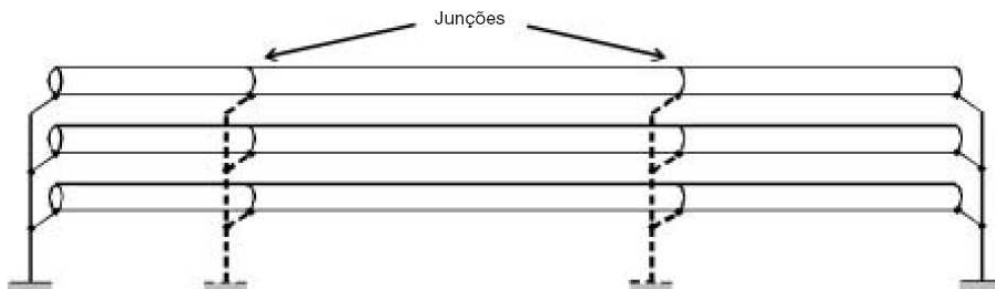


Fig. 25 - Esquema de ligação rígido à terra [6].

Os cabos unipolares são dispostos em triângulo o mais próximo possível, para reduzir as correntes nas blindagens, que por sua vez aumentam com a separação entre fases.

Nesta disposição, as transposições de fases servem para reduzir a sua influência indutiva sobre os cabos adjacentes. Quando a disposição é plana, ou de alguma maneira assimétrica, a transposição de condutores pode conseguir a igualdade de correntes nas blindagens, conseguindo com isso, o valor mínimo de perdas nesta ligação. Não sendo possível anular as correntes nas blindagens.

2.3.1.3.2 Sistema de ligação especial à terra.

As ligações das blindagens à terra são feitas seguindo esquemas que excluem a formação de circuitos fechados entre eles, ou que, consigam anular as forças electromotrizas induzidas nos possíveis circuitos fechados, sem que, deixem de ser satisfeitas as condições de segurança já expostas. Ao conseguir efectuar essa ligações poderão aparecer outras vantagens, tais como conseguir-se separar as fases, melhorando a dissipação de calor, consegue-se também reduzir a secção necessária do condutor principal, a corrente capacitiva absorvida pela linha é um pouco menor.

Existiram também outros inconvenientes:

-O sistema de blindagens (cabos e acessórios) deve suportar tensões permanentes (da ordem de algumas dezenas de volt) e transitórias (da ordem de alguns kilovolt) e por conseguinte deve estar totalmente isolado da terra, excepto nos pontos de ligação determinados.

-Em certos casos, deverão ser empregues junções que permitam a descontinuidade eléctrica nas blindagens.

-Devem instalar-se elementos de limitação das sobre-tensões transitórias de curta duração nos pontos de descontinuidade das blindagens e, em certos casos, nos extremos.

-No casos de ligação à terra num único ponto, é necessário instalar um condutor de continuidade de terra.

As perdas nas blindagens não são totalmente eliminadas, pois a corrente parasita que surgem nas mesmas também são derivadas da proximidade entre os cabos, o que gera aquecimento (perdas de Foucault).

- **Sistema com ligação cruzada de blindagens.**

Este sistema tem como objectivo dividir o comprimento total da linha em troços, através de descontinuidades nas blindagens, efectuando em cada transição de troço uma ligação cruzada de blindagens, estas descontinuidades são efectuadas nas juntas. O esquema típico é o formado por um ou mais “troços longos”, contendo três “troços menores” entre si.

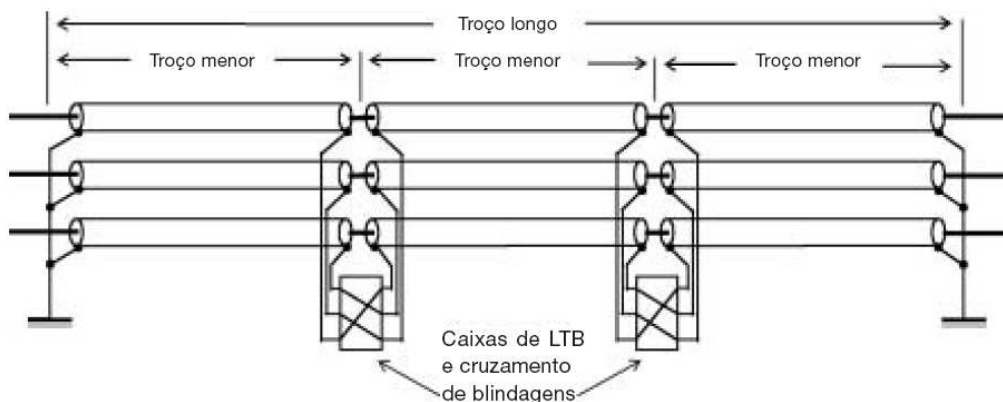


Fig.26 - Sistema de ligação cruzada (1 troço longo, 3 troços menores) [6].

Ao efectuar este sistema consegue-se em cada troço longo a f.e.m. induzida total praticamente nula. Em casos que os troços sejam diferentes ou não múltiplo de três a redução dessa f.e.m. poderá não ser total. As blindagens são ligadas à terra nos extremos da linha e, eventualmente, nos extremos dos troços longos. Se a disposição dos cabos não for simétrica (disposição plana, por exemplo) e, por esta razão se efectuam transposições dos mesmos, o cruzamento das ligações das blindagens efectua-se em sentido contrário ao da transposição, para que as blindagens em série permaneçam na mesma posição em todo o percurso.

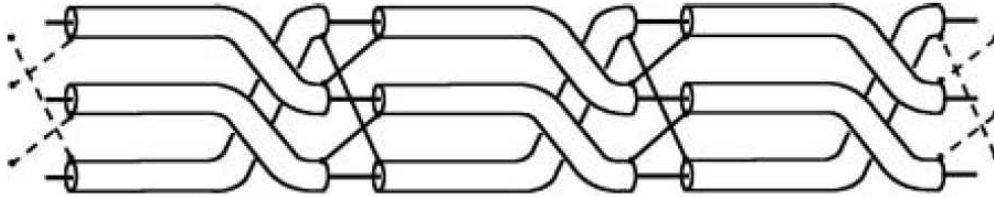


Fig. 27 - Cruzamento de blindagens no caso de transposição dos cabos [6].

Dentro das ligações das blindagens à terra destacam-se dois tipos:

-Ligação cruzada seccionada, as blindagens unem-se, entre si e à terra nos extremos do circuito e nos extremos dos troços longos.

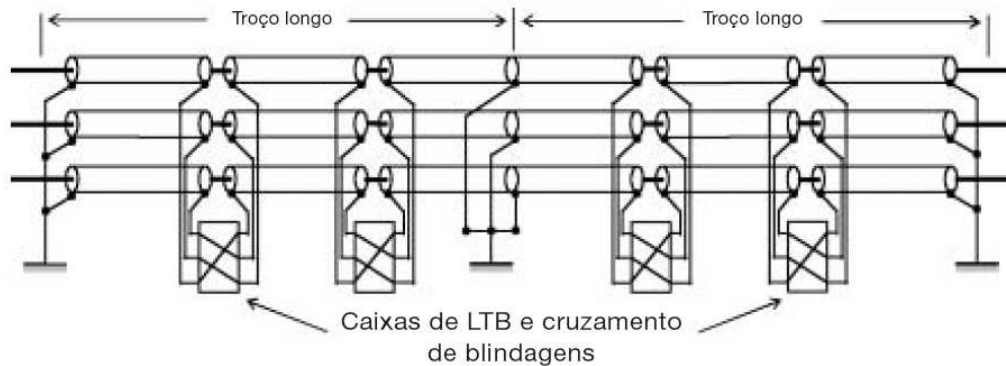


Fig.28 - Sistema de ligação cruzada seccionada (2 troços longos, 6 troços menores) (ligação à terra intermédia) [6].

-Ligação cruzada contínua, as ligações unem-se entre si e a terra apenas nos extremos do circuito.

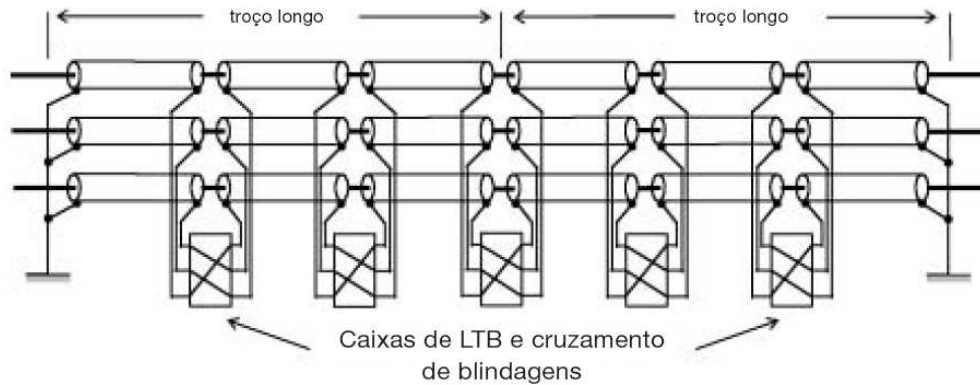


Fig.29 - Sistema de ligação cruzada contínua (2 troços longos, 6 troços menores) [6].

- **Sistema de ponto único de ligação à terra.**

No caso de traçados curtos ou em que não é exigido mais de um troço de cabo, a ligação cruzada de blindagens pode ser uma solução pouco económica. Como alternativa recorre-se à ligação da blindagem, num só ponto à terra. Por norma esse ponto de ligação à terra é um dos extremos da linha, mas se as tensões permanentes da blindagem que aparecem nesse caso forem excessivas, pode deslocar-se o ponto de ligação à terra para um ponto intermédio.

O circuito de blindagens de uma linha pode fraccionar-se em troços isolados entre si com um ponto único de ligação à terra em cada troço. Tanto no caso anterior como neste último o sistema recebe o nome de ligação à terra em ponto único.

No sistema de ponto único, cada troço do circuito de blindagens é posto à terra ligando-o ao condutor de continuidade de terra, nos seus extremos ou em pontos intermédios. Nas figuras seguintes são representados os exemplos típicos de ligações á terra de ponto único para linhas de um ou dois troços.

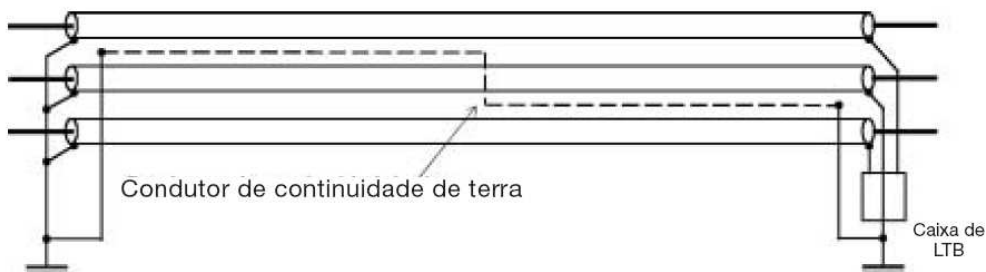


Fig. 30 - Sistema de ponto único (Ligação à terra nos dois extremos com interrupção de blindagem no ponto intermédio) [6].

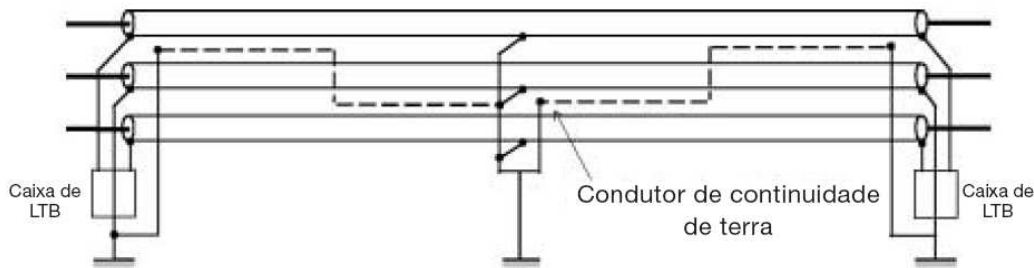


Fig. 31 - Sistema de ponto único (Ligação à terra no ponto intermédio) [6].

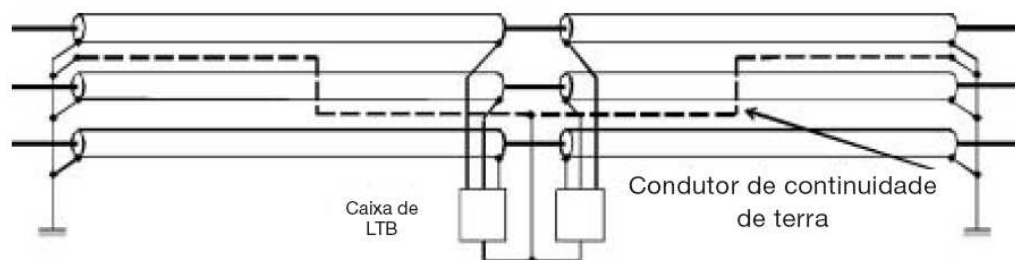


Fig. 32 - Sistema de ponto único (Ligação à terra nos dois extremos com interrupção de blindagem no ponto intermédio) [6].

- **Condutor de continuidade de terra.**

No caso de a ligação entre os eléctrodos à terra em ambos os extremos da linha não ser de baixa impedância de ligação, caso circulem pela linha correntes de curto-circuito com forte componente homopolar haverá um retorno por terra. Podem induzir-se tensões muito elevadas no circuito das blindagens e nos condutores próximos e paralelos à linha. Para se conseguir um caminho de baixa impedância para a corrente homopolar é colocada uma ligação condutora entre os eléctrodos de terra de ambos os extremos da linha formado por um condutor (ou vários) de secção suficiente para suportar a corrente de curto-circuito esperada. Este condutor, instalado em localização adjacente à linha, transpõe-se em pontos intermédios para equilibrar as f.e.m. induzidas e evitar assim a circulação permanente de corrente durante o funcionamento normal da linha. O condutor de continuidade de terra deve estar isolado em todo o seu percurso.

- **Sobre-tensões no circuito de blindagens.**

Nos circuitos de ligação especial, a circulação de correntes de falha externas ou internas à linha induzem tensões superiores às de funcionamento permanente, porém as mesmas não devem ultrapassar os valores admissíveis pela bainha exterior dos cabos e acessórios ou pelos isolamentos de descontinuidade das blindagens nas junções e terminais. As sobre-

tensões dependem do comprimento dos troços menores, dos parâmetros intrínsecos da linha, da intensidade de curto-circuito e do esquema do circuito de blindagens. Os cabos e acessórios são projectados para resistir a estas sobre-tensões.

Os transitórios de origem atmosférica ou de manobra originam sobre-tensões que se propagam pelo circuito das blindagens e podem alcançar valores muito elevados nos pontos de interrupção das blindagens e nos terminais.

De forma a limitar essas sobre-tensões, é necessário instalar dispositivos limitadores de tensão, que por sua vez não podem entrar à condução com a tensão de frequência normal de funcionamento.

- **Limitadores de tensão de blindagens.**

Os limitadores de tensão, também conhecidos como descarregadores de sobretensão, são elementos condutores em grande maioria de óxido de zinco não lineares. Apresentam uma resistência muito elevada às tensões reduzidas que aparecem em condições de funcionamento normal, pelo que não modificam o esquema do circuito de blindagens. Conduzem muito mal as tensões de frequência industrial originadas durante falhas na rede, sem ter qualquer efeito limitador sobre as ditas tensões. Por outro lado, são bons condutores no caso das perturbações breves de origem atmosférica ou de manobra que originariam tensões muito elevadas nos extremos e nos pontos de descontinuidade, limitando estas tensões a valores admissíveis. Ao conduzirem a corrente originada por essas sobre-tensões, é produzido calor que tem uma capacidade reduzida de armazenamento. Por este motivo, apenas são adequados para limitar sobre-tensões de uma ordem de duração inferior a 1 ms, podendo ficar danificados se uma tensão de frequência industrial, ainda que de curta duração, chegar a ultrapassar o seu limiar de condução franca.

A limitação das tensões que aparecem entre as blindagens e a terra têm que ser feita, pois submetem a bainha isolante do cabo e os isoladores de suporte dos terminais a um esforço dieléctrico. Esta limitação destas tensões tem que ser feita entre os dois extremos da blindagem que coincidem na mesma junção com descontinuidade de blindagem, as quais devem ser suportadas por uma espessura muito reduzida de material isolante no interior da junção.

- **Ligação das blindagens.**

As ligações entre as blindagens, entre elas, à terra e aos LTB, efectuam-se com recurso a elementos amovíveis de forma a permitir verificações periódicas de isolamento e continuidade do circuito de blindagens.

As ligações dos LTB deverão ser colocadas fora do alcance das pessoas não autorizadas em caixas adequadas, com colocação de barreiras físicas, ou junto à base de terminais de exterior se não forem acessíveis a partir do chão. Durante o funcionamento das linhas, estas ligações devem ser consideradas como elementos em tensão devendo ser estabelecidas e observadas as mesmas preocupações que regulam o acesso e manuseamento das outras partes da instalação que também estão em tensão.

- **Ligação à terra das blindagens.**

A ligação das blindagens à terra deve ser efectuada tendo em conta as seguintes recomendações:

- No caso de ser ligado à terra as blindagens nos extremos da linha, a ligação deve ser efectuada ao eléctrodo geral de terra da subestação e no mesmo ponto onde estiver ligado o condutor de continuidade de terra (se este existir).
- No caso de existirem ligações à terra as blindagens em pontos intermédios da linha, estas são ligadas, caso exista, ao condutor de continuidade.
- Caso não exista condutor de continuidade, e se no local houver um sistema de terra destinado a outros usos, para efectuar a ligação das blindagens a este sistema em pontos intermédios da linha. É então necessário justificar que possam existir perturbações por origem atmosférica ou de manobra, mas sempre salvaguardando a segurança das pessoas e dos equipamentos.

2.3.1.4 Tipologias usada nas infra-estruturas.

Em Portugal, na instalação dos cabos de MAT, estes estão protegidos com o recurso a canaletes ou então introduzidos no interior de tubos envolvidos em betão.

As tipologias usadas nesses projectos são em grande parte de dois tipos, trevo (trefoil) e esteira (flat formation), em situações que o espaço disponível no subsolo não permita a passagem de outra infra-estrutura, pode recorrer-se a alternativas em que a tipologia alternativa a aplicar pode ser a linha (line), que consegue obter melhor espaço na horizontal relativamente às outras soluções.

As tipologias usadas encontram-se de ilustradas na figura 34:

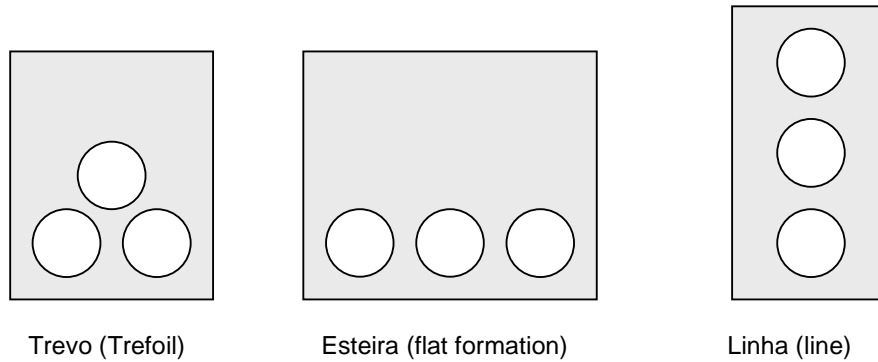


Fig.34 - Tipologias usadas nas infra-estruturas em Portugal.

2.3.1.5 Dissipação de calor.

Como foi dito anteriormente no ponto **2.1.2.2**, os cabos subterrâneos possuem intrinsecamente três tipos de perdas, no condutor, no dieléctrico e na bainha. Quantas mais perdas existirem nos cabos, menor a sua capacidade de transporte de energia. Como no nosso país, o transporte de energia em cabos MAT é efectuado dentro de condutas, a transferência de calor com o meio é prejudicada, podendo originar na fase de pré-projecto, um aumento de secção da alma condutora do cabo ou então a substituição do material que a constitui.

2.3.1.6 Detecção de avarias.

Em caso de defeito em linhas aéreas ou cabos subterrâneos, quando já se encontram em serviço, esse defeito terá de ser resolvido com a maior brevidade possível de forma a manter a continuidade de serviço. Por outro lado, se não estiver em serviço, esse defeito é normalmente detectado após o ensaio que precede a sua instalação, sendo que no caso das linhas aéreas o defeito a observar será relativamente mais fácil de resolver do que em cabos subterrâneos, pois este defeito pode estar ao longo do percurso e não somente nas extremidades do mesmo, o que para a sua resolução vai trazer um transtorno adicional às povoações, uma vez que implica pelo menos uma reabertura do solo e por consequência mais um custo adicional.

Para a detecção de defeitos à distância são utilizados dois tipos de métodos:

1. Método de ponte (ou anel) - Medições com base em pontes resistivas baseadas na ponte de Wheatstone, ou em pontes capacitivas baseadas na ponte de Sauty.
2. Métodos econométricos - Baseados na propagação e impulsos de ondas electromagnéticas ao longo do cabo [11].

Após a detecção do defeito com os métodos anteriores é necessário a detecção no terreno para uma maior precisão do mesmo e desta forma a abertura do solo irá ser menor, originando menores custos, sendo para isso necessário também, recorrendo como base o método 2, detectar as vibrações no solo originadas pela onda de choque. Um esquema típico das vibrações criadas no solo pela onda de choque é apresentado na figura 35:

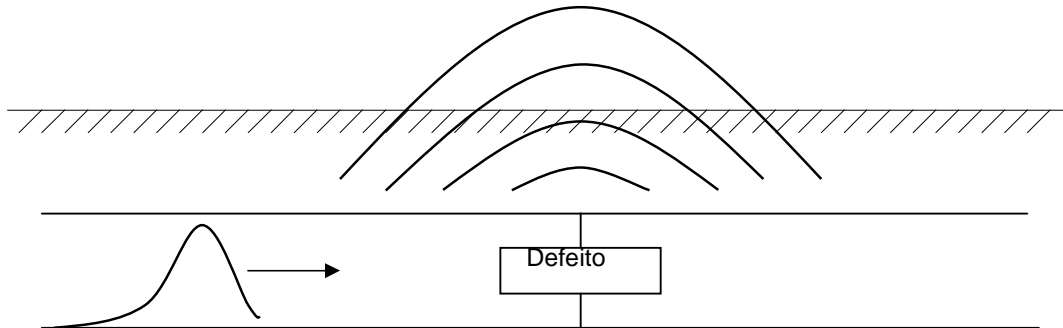


Fig.35 - Esquema típico das vibrações no solo originadas pela onda de choque.

Os detectores utilizados integram na grande maioria dos casos um geofone (microfone direccional), um amplificador e um par de auscultadores telefónicos. A intensidade do ruído produzido por essa descarga varia com a distância de enterramento ao solo e com a energia transmitida pela onda de choque. Nos centros urbanos a detecção por este método é uma tarefa complicada devido aos vários ruídos parasitas existentes. A solução para este problema pode passar pela utilização de uma bobina que detecte primeiro o campo magnético produzido pela onda de choque e posteriormente determinar o local onde se coloca a detecção do terreno. Os métodos de detecção normalmente utilizados estão apresentados na figura 36:

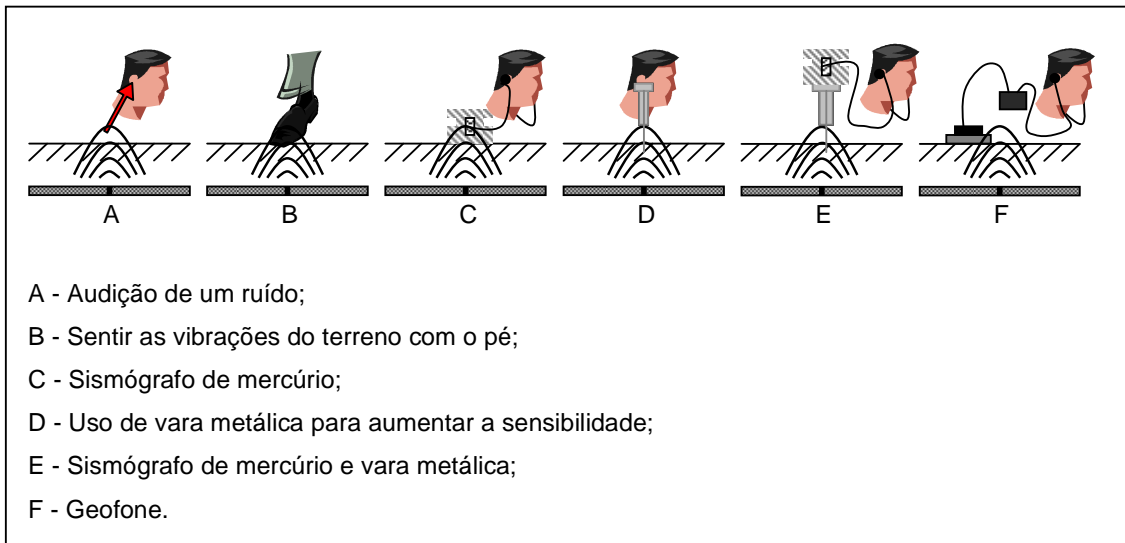


Fig.36 - Métodos de detecção de avarias de cabos de MAT.

2.3.2 Distância de enterramento dos cabos.

De acordo com o Artigo 80.º do Decreto Regulamentar n.º 1/92 [3], a profundidade de enterramento dos cabos eléctricos de 3.ª classe, que como já foi referido anteriormente, neste decreto Regulamentar são as instalações com tensões nominais superiores a 40 kV, devem ser enterrados a uma profundidade mínima de 1,2m quando montados sob faixas de rodagem e de 1m em todos os outros locais, podendo estas profundidades ser reduzidas em casos especiais em que a dificuldade de execução o justifique, sem prejuízo da conveniente protecção dos cabos.

As posições relativas das canalizações eléctricas enterradas em relação aos edifícios e às demais canalizações que possam existir nas proximidades (águas, esgotos, telecomunicações e gás) será a fixada na respectiva especificação técnica.

Em Portugal as distâncias normalmente usadas para cabos da 3ª classe são 1,9m para cabos de MAT a 220kV que actualmente em Portugal, só se encontra enterrado este nível de tensão. Ao enterrar a infra-estrutura é preciso sinalizá-la convenientemente para que não haja futuros danos na instalação caso a zona de passagem sofra outra intervenção. Para isso o Artigo 81.º do mesmo Decreto Regulamentar define que os cabos enterrados devem ser sinalizados por meio de um dispositivo de aviso colocado por cima deles, pelo menos a:

- 0,1 m, se constituído por tijolos ou por placas de betão, de lousa ou de materiais equivalentes.
- 0,2 m, se constituído por redes metálicas plastificadas ou de material plástico, de cor vermelha.

No caso de haver igualmente vários cabos na mesma vala, estes devem ser identificáveis de maneira inequívoca para que possam individualizar-se com facilidade em todo o percurso.

2.3.3 Ruído.

Para este tipo de transporte de energia, o ruído emitido não é significativo. A causa principal do ruído no transporte de energia, efeito de coroa, não é verificada, pois os cabos estão protegidos pelo solo e a estrutura que os protege cria uma estrutura suficientemente robusta para atenuar qualquer ruído oriundo do transporte de energia.

2.3.4 Aspectos económicos.

Este tipo de tecnologia de transporte de energia, tem um custo mais elevado que o das linhas aéreas. A sua tecnologia e a forma como é efectuada origina a junções mais demoradas e mais dispendiosas do que o das linhas aéreas. As bobines que transportam o cabo são mais robustas por metro, que o das linhas aéreas para a mesma tensão. Este facto deve-se á secção do cabo ser superior à secção da linha, como foi visto no ponto 1 na figura 9, quer seja o condutor do cabo constituído por cobre ou alumínio e também o peso das bobines das linhas, sendo em ligas de alumínio ou aço consegue um melhoramento efectivo. Isto origina um transporte especial para a deslocação das bobines e a requisição de uma grua-movél para a deslocação da bobina do camião para o local da passagem de cabos, o que representa um custo adicional.

A parte da construção civil também é mais marcante do que nas linhas aéreas, pois pressupõe abertura de valas em toda a extensão do projecto, inclusive nas caixas que servem de junção para os cabos, com um comprimento médio de 12m. Caso essas linhas sejam duplas ao contrário das linhas aéreas que se poderá colocar no mesmo poste, o cabo de MAT origina outra extensão de abertura igual, originando a duplicação do custo total.

É recomendado então, por razões económicas, que esta opção seja usada sempre como uma solução de recurso, como por exemplo, a impossibilidade do cumprimento de distâncias de segurança dentro de zonas habitacionais, derivado a habitações elevadas por parte das linhas aéreas e só nestes tipos de excepções, passar desta solução para cabos de MAT.

Capítulo III - Impactes ao nível dos campos.

A passagem de linhas aéreas para cabos subterrâneos tem sido associada pelas populações como algo benéfico no que diz respeito à atenuação dos campos electromagnéticos.

Este capítulo pretende elucidar sobre a diferença existente entre os campos criados pelas linhas aéreas e pelos cabos subterrâneos de MAT.

Esses campos variam com o nível de tensão, com a altura das torres e com a disposição dos condutores.

3.1 Campo eléctrico.

3.1.1 Introdução.

O modelo de cálculo do campo eléctrico de linhas MAT tem por base as seguintes hipóteses:

- O campo considera-se não perturbado, ou seja, não se contabilizam os efeitos de objectos que existam na vizinhança da linha e que perturbam a distribuição do campo eléctrico.
- Não há carga espacial livre nas proximidades da linha, isto é, as únicas cargas que se consideram para o cálculo são as existentes na superfície dos condutores.
- O solo é assumido como perfeitamente plano e equipotencial, sendo o potencial nulo.
- Os condutores são assumidos como perfeitos, paralelos entre si e infinitamente longos.
- A permitividade do ar é constante e igual:

$$\varepsilon = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \cong 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Estas hipóteses simplificativas conduzem a um modelo do campo cujos valores são conservadores, ou seja, este modelo dá-nos os resultados por excesso, pelo que se no estudo realizado com a aplicação, os valores de campo estão abaixo dos recomendados, então de certeza que os valores reais (sem as aproximações) também o estão.

3.1.2 Aplicação e simulação para linhas.

Associado a uma carga eléctrica (estática ou móvel) existe um potencial o qual varia em intensidade na razão inversa da distância a esta carga. O gradiente de variação deste potencial é designado por campo eléctrico e é medido em kV/m.

Na fig. 37 mostram-se as linhas de força do campo originados numa carga espacial q , situada à altura h do solo.

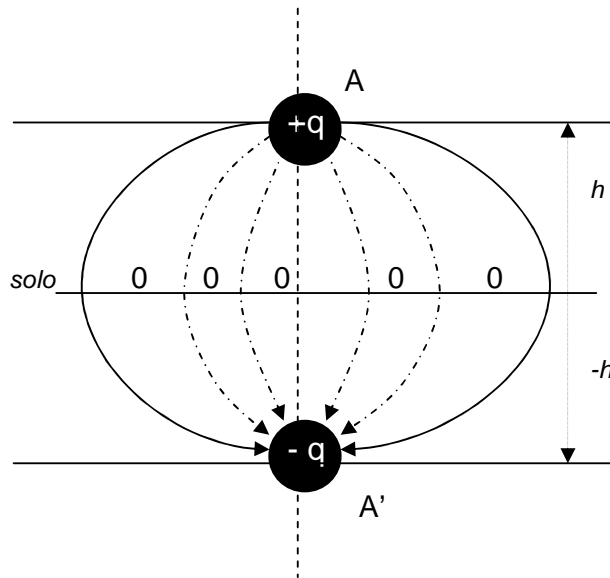


Fig.37 - Linhas de força do Campo Eléctrico h-h.

Como é possível verificar, o campo eléctrico tem a sua origem nas cargas espaciais existentes na superfície dos condutores e as linhas de força do campo desenvolvem-se radialmente aos condutores e no sentido dos potenciais decrescentes.

A diferença de potencial entre um determinado ponto do espaço e um potencial de referência é designada de tensão.

Nas linhas MAT, tendo presentes as simplificações introduzidas no modelo, é geralmente aceite como suficiente o estudo do campo num modelo bidimensional, desenvolvido num plano normal aos condutores. Neste modelo os condutores são a origem de cargas eléctricas aí existentes, devido às tensões aplicadas.

As tensões e as cargas relacionam-se através da seguinte equação.

$$\begin{bmatrix} \tilde{V} \end{bmatrix} = [P] \times [Q] \quad (\text{eq. 1})$$

$\begin{bmatrix} \tilde{V} \end{bmatrix}$ Matriz dos fasores de tensão $[n \times 1]$.

$[P]$ Matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell $[n \times n]$.

$[Q]$ Matriz dos fasores de carga eléctrica $[n \times 1]$.

em que n representa o número de condutores.

3.1.1.1 Matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell.

A matriz $[P]$ traduz a influência da carga no potencial de todos os condutores.

Assim o elemento P_{ab} traduz a influência da carga do condutor **a** (q_a) no potencial do condutor **b** e o elemento P_{aa} a influência própria.

Admita-se que se pretende calcular a matriz dos coeficientes de potencial referente ao caso representado na fig. 38, em que se considera o terreno perfeitamente plano.

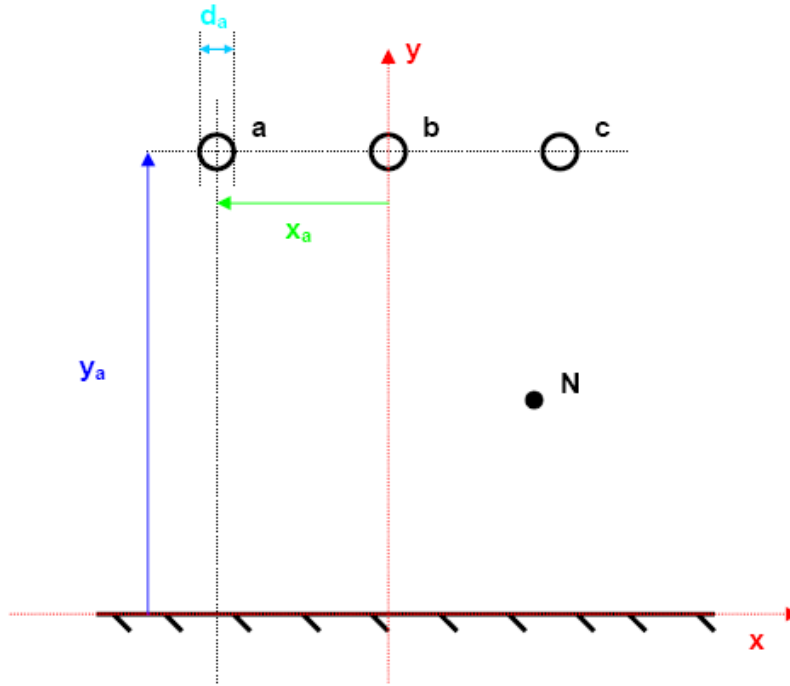


Fig. 38 - Representação dos parâmetros das eq.2 e eq.3.

A matriz $[P]$ será calculada através das seguintes equações:

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln\left(\frac{4Y_a}{d_a}\right) \quad (\text{eq.2})$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln\left[\frac{(x_a - x_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{eq.3})$$

- P Elemento da matriz dos coeficientes de potencial;
- ϵ Permittividade eléctrica (F/m) ;
- d_a Diâmetro do condutor **a** (m) ;
- x_a Distância do condutor **a** ao eixo do poste (m) ;
- x_b Distância do condutor **b** ao eixo do poste (m) ;
- y_a Altura do condutor **a** ao plano da terra (m) ;
- y_b Altura do condutor **b** ao plano da terra (m).

De notar que estas equações são genéricas podendo ser aplicadas a um sistema com **n** condutores.

As expressões acima estão deduzidas de modo a que o eixo do poste corresponda ao ponto $x = 0$, sendo o sentido do eixo o indicado na fig. 38.

Portanto, conhecida a geometria dos cabos, isto é, a sua altura ao solo (y) e a distância ao eixo do poste (x), por aplicação das equações 2 e 3, calcula-se a matriz dos coeficientes de potencial referente ao caso que se pretende estudar.

3.1.1.2 Cargas à superfície dos condutores (parte real e parte imaginária).

Depois de conhecida a matriz P , as cargas à superfície dos condutores podem ser determinadas recorrendo à equação 1.

Como a matriz dos coeficientes de potencial é real a eq. 1 pode ser escrita nas componentes real e imaginária dos fasores de tensão e carga,

$$[Vr] = [P] \times [Qr] \quad (\text{eq. 4})$$

$$[Vi] = [P] \times [Qi] \quad (\text{eq. 5})$$

as quais são resolvidas separadamente na aplicação.

3.1.1.3 Cálculo do campo eléctrico num dado ponto N.

Como já se referiu o campo eléctrico é originado pelas cargas eléctricas existentes na superfície dos condutores.

Portanto num sistema constituído por vários condutores o campo eléctrico total num dado ponto N é igual à soma das contribuições com origem nas cargas de todos os condutores.

Assim, admitindo o caso da fig. 38, o campo eléctrico no ponto N é igual à soma do campo eléctrico devido ao condutor **a** nesse ponto, mais o do condutor **b** mais o do condutor **c**.

Considerando o modelo bidimensional, o campo eléctrico devido a uma carga q é um vector de fasores, cujas componentes horizontal e vertical são dadas pelas equações 6 e 7.

$$\tilde{E}_{x,a} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left[\frac{(q_{ra} + jq_{ia})(x_N - x_a)}{(x_a - x_N)^2 + (y_a - y_N)^2} - \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(x_N - x_a)}{(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2} \right] \quad (\text{eq. 6})$$

$$\tilde{E}_{y,a} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left[\frac{(q_{ra} + jq_{ia})(y_N - y_a)}{(x_a - x_N)^2 + (y_a - y_N)^2} - \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(y_N - y_a)}{(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2} \right] \quad (\text{eq. 7})$$

$\tilde{E}_{x,a}$ Fasor que representa a componente horizontal do campo eléctrico criada pela carga,

\tilde{q}_a [kV/m],

$\tilde{E}_{y,a}$ Fasor que representa a componente vertical do campo eléctrico criado pela carga,

\tilde{q}_a [kV/m].

q_a Parte real da carga eléctrica do condutor **a** [C] ;
 q_{ia} Parte imaginária da carga eléctrica do condutor **a** [C]
 x_a Distância do condutor **a** ao eixo do poste [m] ;
 x_N Distância do ponto **N** ao eixo do poste [m] ;
 y_a Altura do condutor **a** ao plano da terra [m] ;
 y_N Altura do ponto **N** ao plano da terra [m] ;

Assim o campo total no ponto N tem uma componente horizontal e uma componente vertical igual à soma de todas as componentes horizontais e verticais respectivamente.

No entanto, e uma vez que a tensão aplicada varia no tempo, o campo eléctrico no ponto N também varia no tempo, daí que as equações anteriores representem apenas os fasores do campo.

O campo eléctrico total é também um vector de fasores, cuja amplitude e direcção, em cada ponto do espaço, varia no tempo à frequência de 50Hz. Esta variação de amplitude e direcção corresponde a uma trajectória elíptica, pelo que para calcular o valor máximo do campo no ponto N há que encontrar o ângulo correspondente ao eixo maior da elipse.

No caso de se estar a calcular o campo ao nível do solo este procedimento não é necessário uma vez que o campo é normal ao solo, ou seja não existe componente horizontal, o que se pode verificar através da equação 6.

3.1.1.4 Cálculo do valor máximo do campo eléctrico à superfície dos condutores.

Para o cálculo do valor máximo do campo à superfície dos condutores utiliza-se a equação 8.

$$E_{a_{MAX}} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{q_a}{r_a} \quad (\text{eq. 8})$$

$E_{a_{Máx}}$. Campo eléctrico máximo na superfície do condutor **a** [kV/m],

q_a Carga na superfície do condutor **a** [C] ,

r_a Raio do condutor **a** [m].

3.1.2 Linha Aplicação/Simulação.

Usando um programa informático, simulou-se para vários cenários possíveis com as características típicas da rede eléctrica nacional, no que diz respeito a altura de postes, cabos usados e tipo de condutores, dados esses que se encontram em Anexo 1, os campos eléctricos verificados ao nível do solo E ou a uma altura do solo Eh.

Os resultados obtidos encontram-se ilustrados nas figuras 39 a 44, para os seguintes tipos de postes e configuração de condutores:

- 150kV Poste do tipo “T” (Linha Simples), cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea;
- 150kV Apoio do tipo “CW” (Linha Dupla), cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea;
- 220kV Poste do tipo “MT” (Linha Simples), cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea;
- 220kV Poste do tipo “CW” (Linha Dupla), cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea;
- 400kV Poste do tipo “Y” (Linha Simples), cabo do Condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking;
- 400kV Poste do tipo “DL” (Linha Dupla), cabo do Condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking.

3.1.2.1- 150kV Poste do tipo “T” (Linha Simples).

Cabo do Condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

Altura Eh- 1m do solo e Altura E- Ao nível do solo.

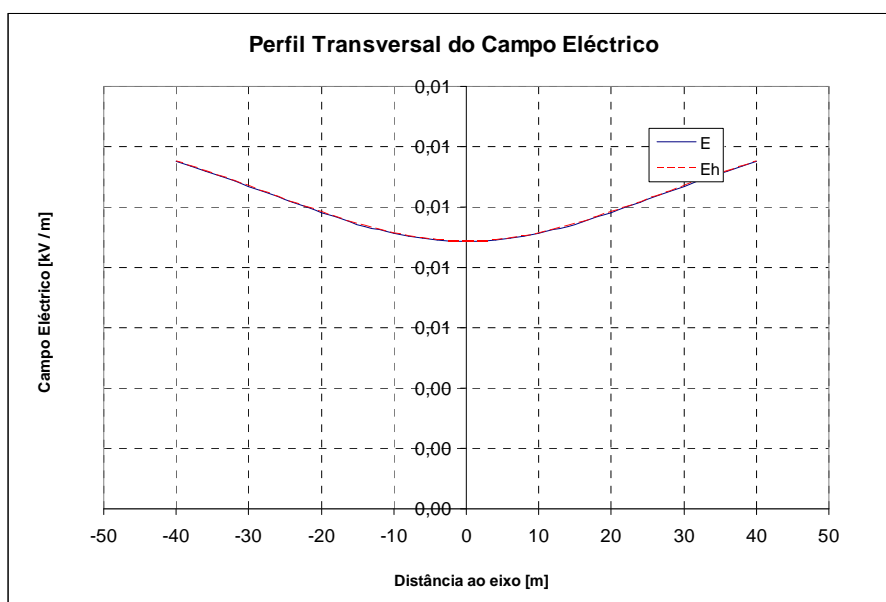


Fig. 39 - Perfil Transversal do Campo Eléctrico para 150kV poste tipo “T”.

3.1.2.2- 150kV Apoio do tipo "CW" (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

Altura E_h - 1m do solo e Altura E - Ao nível do solo.

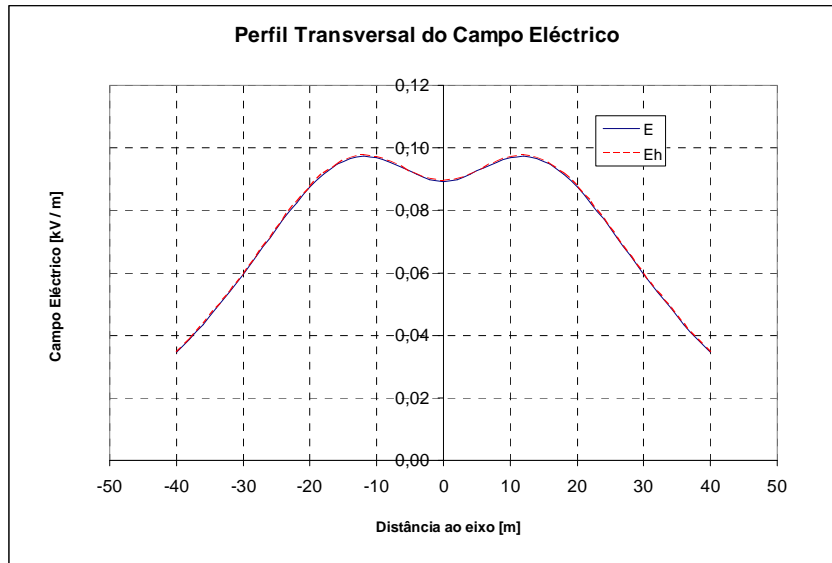


Fig. 40- Perfil Transversal do Campo Elétrico para 150kV poste tipo "CW".

3.1.2.3- 220kV Poste do tipo "MT" (Linha Simples).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

Altura E_h - 1m do solo e Altura E - Ao nível do solo.

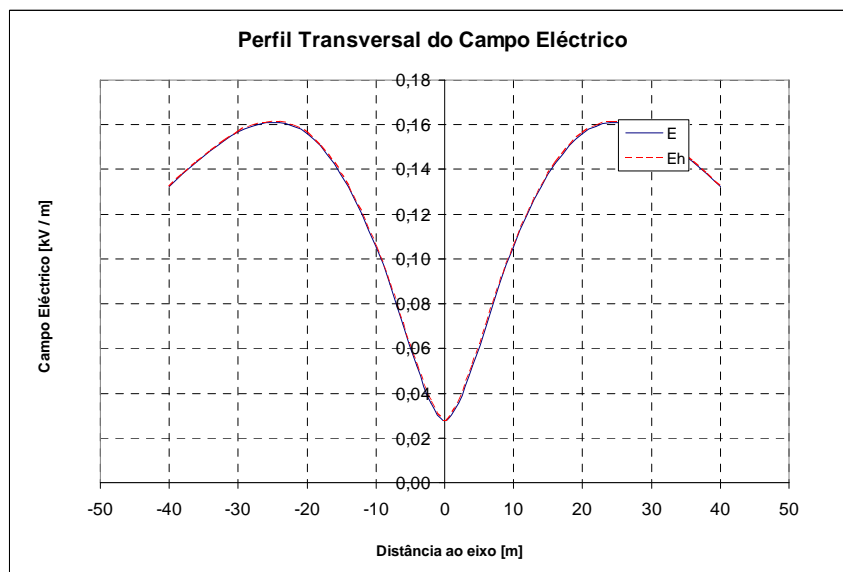


Fig. 41 - Perfil Transversal do Campo Elétrico para 220kV poste tipo "MT".

3.1.2.4- 220kV Poste do tipo "CW" (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

Altura E_h - 1m do solo e Altura E - Ao nível do solo.

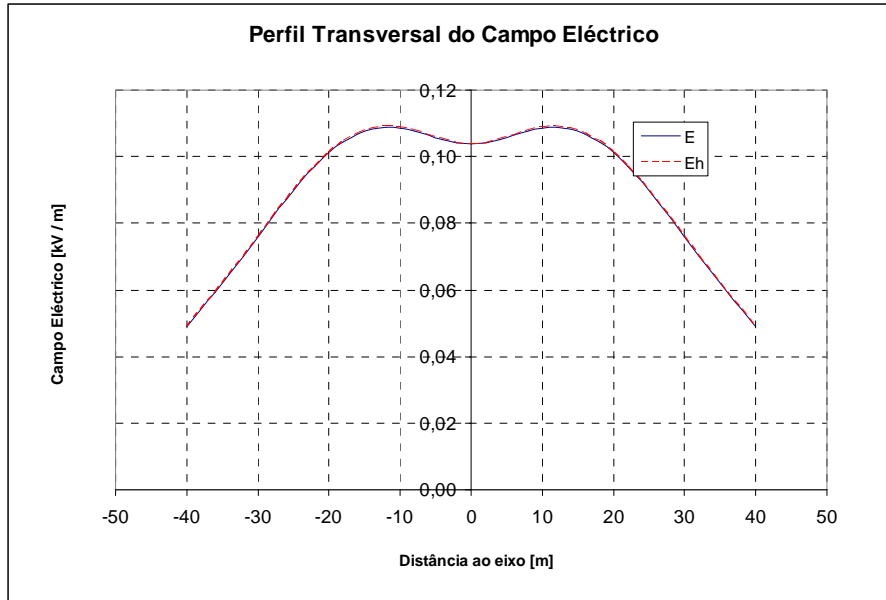


Fig. 42 - Perfil Transversal do Campo Elétrico para 220kV poste tipo "CW".

3.1.2.5- 400kV Poste do tipo "Y" (Linha Simples) .

Cabo do condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking.

Altura E_h - 2m do solo e Altura E - Ao nível do solo.

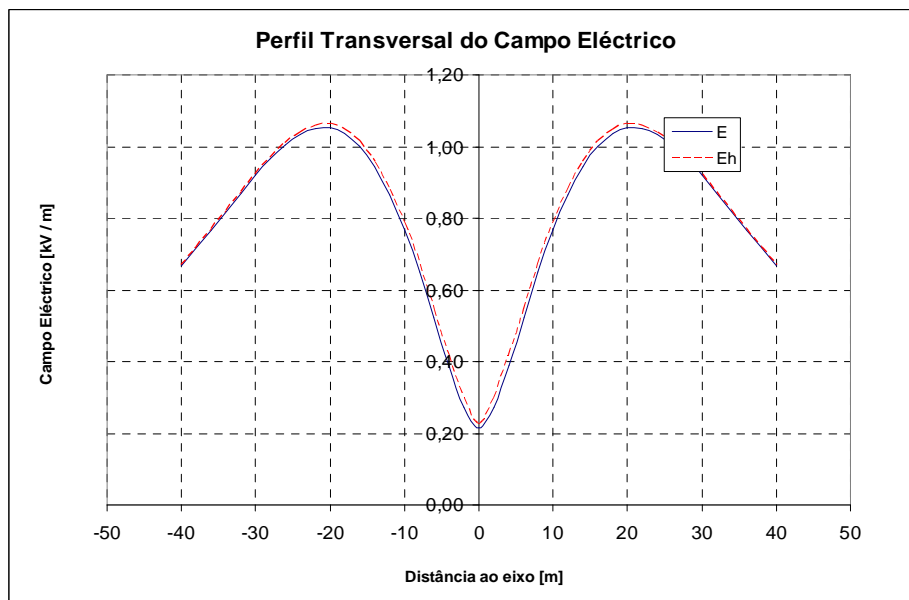


Fig. 43 - Perfil Transversal do Campo Elétrico para 400kV poste tipo "Y" .

3.1.2.6- 400kV Poste do tipo “DL” (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking.

Altura Eh- 2m do solo e Altura E- Ao nível do solo.

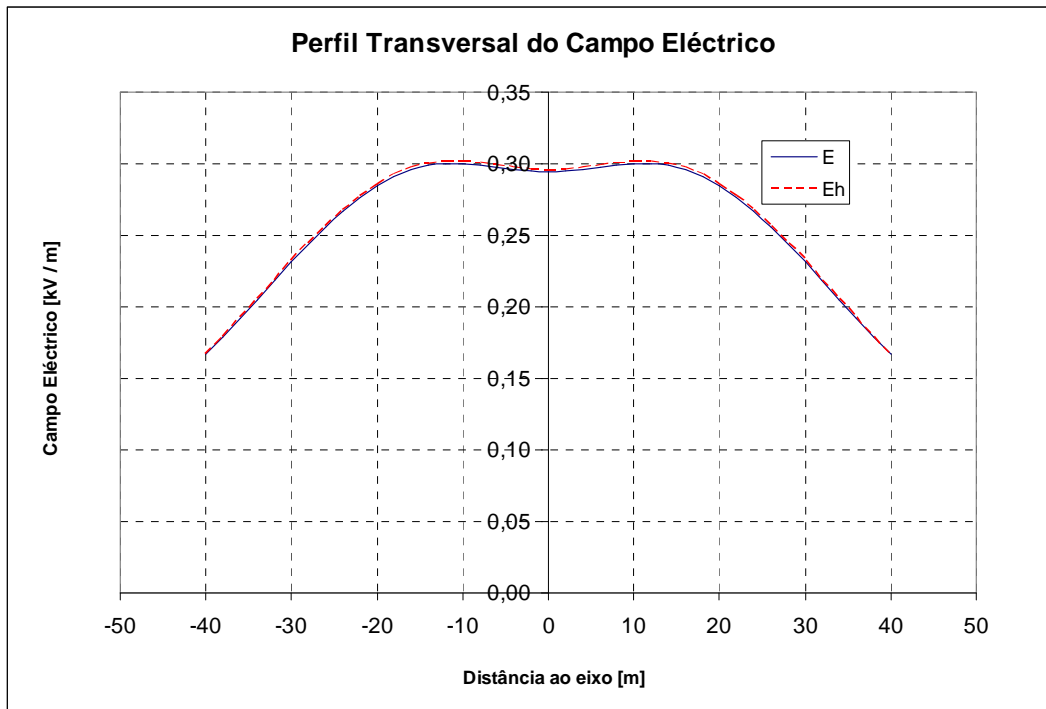


Fig. 44 - Perfil Transversal do Campo Eléctrico para 400kV poste tipo “DL” .

3.1.2.7- Conclusão.

Como podemos verificar, a mudança de linha simples para linha dupla tende a atenuar os campos eléctricos verificados.

Podemos também concluir, que segundo os valores limite estipulados de acordo com as recomendações da OMS [2], que tiveram por base estudos realizados pelo *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) 1998, que estabelecem como valores máximos para o Campo Eléctrico de 5 kV/m, para o público geral, em todos os casos o valor resultante da simulação é muito inferior, demonstrando desta forma que a tipologia típica da rede eléctrica está dentro dos limites impostos pelas normas.

3.1.3 Cabos.

3.1.3.1 Campo eléctrico estático num meio dieléctrico homogéneo.

Segundo as leis fundamentais da electrostática tem-se que [8]:

$$E = -\text{grad } V \text{ (a); } \text{div } \vartheta; \vartheta = \epsilon E \text{ (eq. 9)}$$

em meio dieléctrico homogéneo, ϵ independente de x , y e z e electricamente neutro, $\rho=0$, tem-se:

$$\text{div } \vartheta = \epsilon \text{div } E = 0 \therefore \text{div } E = 0 \quad (\text{eq. 10})$$

donde,

$$\text{lap } V = \text{div grad } V = -\text{div } E = 0 \therefore \text{lap } V = 0 \quad (\text{eq. 11})$$

Considerando para o cálculo duma carga filiforme em meio homogéneo, uma carga q por unidade de comprimento dum filamento e r e o raio de um cilindro circular centrado nesse filamento, por um processo de integração e considerando que no infinito, o potencial logarítmico não é regular.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \ln \frac{r_0}{r} = -\infty \quad (\text{eq. 12})$$

Não há, como no caso da carga pontual, uma escolha natural da constante aditiva que permite

$$\text{fazer } V \rightarrow 0 \text{ com } r \rightarrow \infty, \quad (\text{eq. 13})$$

Consegue-se para um cabo coaxial expresso na figura seguinte:

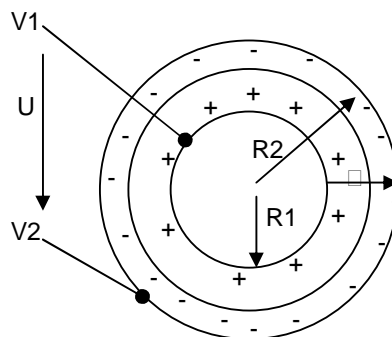


Fig.45 - Secção transversal do cabo coaxial.

A expressão que relaciona a diferença de potencial com a variação dos raios do cabo

$$U = V_1 - V_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R2}{R1} \quad (\text{eq. 14})$$

Sabendo, também, que a capacidade por unidade de comprimento é dada por:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{R2}{R1}} \text{ (Fm}^{-1}\text{)} \quad (\text{eq. 15})$$

Conseguimos chegar à expressão seguinte:

$$E1 = \frac{q}{2\pi\epsilon U} \frac{1}{R1} = \frac{U}{R1 \ln \frac{R2}{R1}} \quad (\text{eq. 16})$$

Efectuando o andamento do campo e diferença de potencial com a variação dos raios obtém-se a figura seguinte:

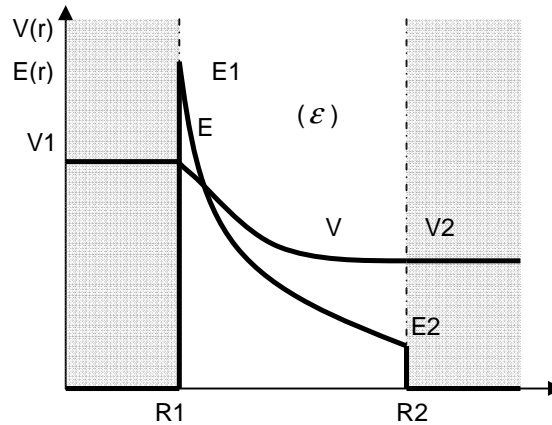


Fig.46 - Perfis de intensidade E do campo eléctrico e do potencial V no dieléctrico do cabo coaxial.

Com isto pode-se concluir, que fora do raio exterior do cabo, R2, para este tipo de meio, o campo eléctrico é nulo.

3.1.3.2 Campo eléctrico estático num meio dieléctrico não homogéneo.

Os campos eléctricos criados pelos cabos subterrâneos de MAT em meios não homogéneos seguem os mesmos princípios expressos anteriormente, mas devido ao facto de estarem num meio não homogéneo, as perturbações por se localizarem no subsolo a uma profundidade elevada com material na parte superior da infra-estrutura originam um campo eléctrico à cota do solo desprezável.

3.2 Campo magnético.

O modelo de cálculo do campo magnético de linhas MAT tem por base as seguintes hipóteses:

- Desprezam-se as correntes de retorno pela terra e correntes nos cabos de guarda. As correntes de defeito que se escoam pelos cabos de guarda produzem picos de campo magnético de muito curta duração, cuja energia, relevante na perspectiva de f.e.m. induzidas em linhas de telecomunicações, não são relevantes na perspectiva dos efeitos sobre pessoas.
- Assume-se que as linhas são paralelas ao solo, o qual é perfeitamente plano.
- A permeabilidade magnética do ar e do solo é constante e igual a

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (H/m) \quad (\text{eq. 17})$$

Estas hipóteses conduzem a um modelo do campo cujos valores são conservadores. Ou seja, este modelo dá-nos os resultados por excesso, pelo que se no estudo realizado com a aplicação, os valores de campo estiverem abaixo dos recomendados, então de certeza que os valores reais (sem as aproximações) também o estão.

3.2.1 Introdução.

Associado a uma corrente eléctrica existe sempre um campo magnético.

Seja I a intensidade de corrente num condutor cilíndrico de eixo rectilíneo. Em regime estacionário a corrente distribui-se uniformemente na secção e o problema tem simetria de rotação em torno do eixo do condutor. As linhas do campo magnético H são circunferências em torno do condutor, Fig. 47.

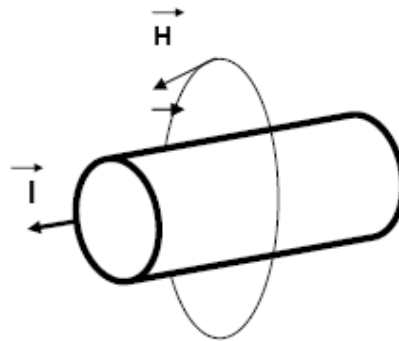


Fig. 47 - Linhas de força do campo magnético H , em torno de um condutor percorrido por uma corrente I .

3.2.1.1 Cálculo do campo magnético.

O campo magnético foi calculado usando um modelo bidimensional geometricamente idêntico ao descrito para o campo eléctrico no manual desta aplicação.

O valor do campo magnético num ponto de coordenadas (x_j, y_j) em resultado da corrente I que percorre um condutor centrado no ponto de coordenadas (x_i, y_i) pode ser dado pela equação eq.18.

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{\vec{I}_i \times \vec{r}_{j,i}}{2\pi \cdot r_{i,j}^2} = \frac{I_i}{2\pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j} \quad (\text{eq. 18})$$

Onde $\vec{\phi}_{i,j}$ é o vector unitário na direcção do produto externo do vector corrente com o vector $r_{i,j}$ (fig. 48).

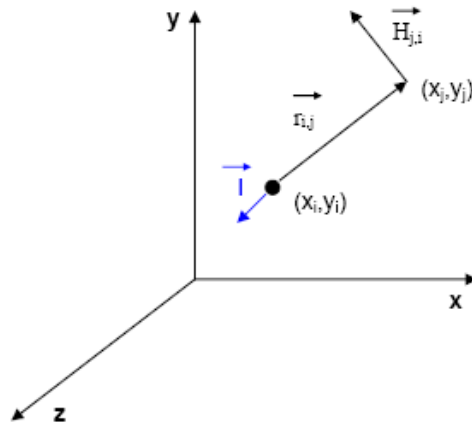


Fig. 48 - Representação do vector **H** (campo magnético) como produto externo dos vectores **I** (corrente) e **r** (distância ao ponto de observação j).

Nos cálculos efectuados utilizou-se este sistema de coordenadas, em que o eixo z se encontra paralelo à linha.

Portanto o vector unitário é dado por eq. 19.

$$\vec{\phi}_{i,j} = \frac{y_i - y_j}{r_{i,j}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{x_i - x_j}{r_{i,j}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{eq. 19})$$

em que $r_{i,j}$ é dado por eq. 20.

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (\text{eq. 20})$$

O campo magnético total é dado pela soma das contribuições devidas às correntes de todos os condutores (eq. 21).

$$\vec{H}_j = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \vec{\phi}_{i,j} \quad (\text{eq. 21})$$

Em que **n** representa o número de condutores.

No entanto o programa apresenta o gráfico não do campo magnético mas sim da densidade de fluxo magnético **B** (eq. 22), uma vez que os limites aconselhados pelo ICNIRP são dados em função deste.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{eq. 22})$$

3.2.2 Aplicação e simulação para linhas.

À semelhança dos campos eléctricos usou-se uma aplicação para simular os campos magnéticos.

Nesta aplicação usou-se como base de estudo o tipo de postes e condutores apresentados no Anexo1.

Os resultados obtidos, encontram-se apresentados entre as figuras 49 a 54 e representam:

- B_{máx}- Densidade de fluxo magnético máximo, com a variação da distância ao eixo do poste;
- B_x- Densidade de fluxo magnético no eixo x (horizontal), com a variação da distância ao eixo do poste;
- B_y- Densidade de fluxo magnético no eixo y (vertical), com a variação da distância ao eixo do poste.

3.2.2.1- 150kV Poste do tipo "T" (Linha Simples).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guineá.

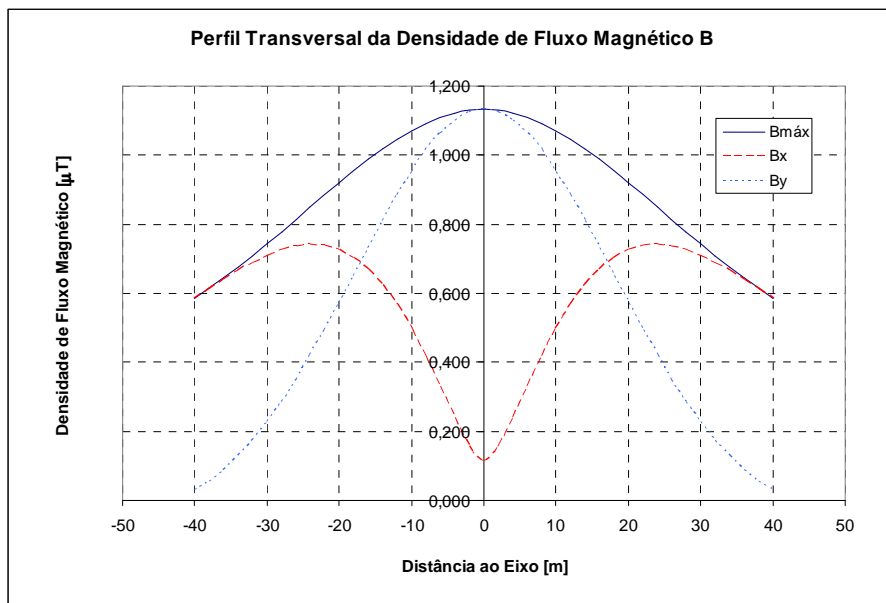


Fig. 49 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 150kV poste tipo "T".

3.2.2.2- 150kV Apoio do tipo "CW" (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zebra cabo de guarda do tipo Guinea.

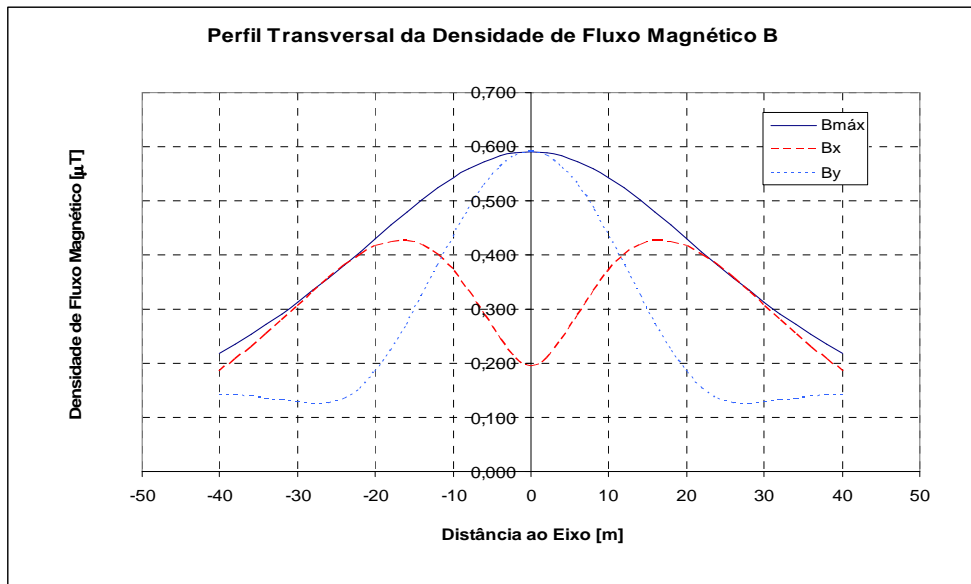


Fig. 50 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 150kV poste tipo "CW".

3.2.2.3- 220kV Poste do tipo "MT" (Linha Simples).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

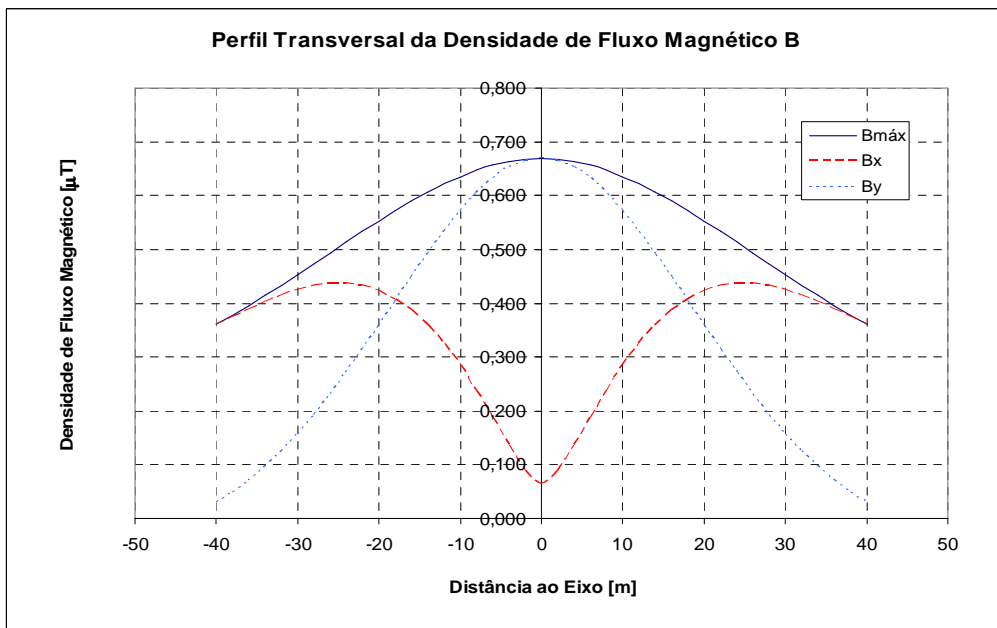


Fig. 51 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 220kV poste tipo "MT".

3.2.2.4- 220kV Poste do tipo "CW" (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zebra e cabo de guarda do tipo Guinea.

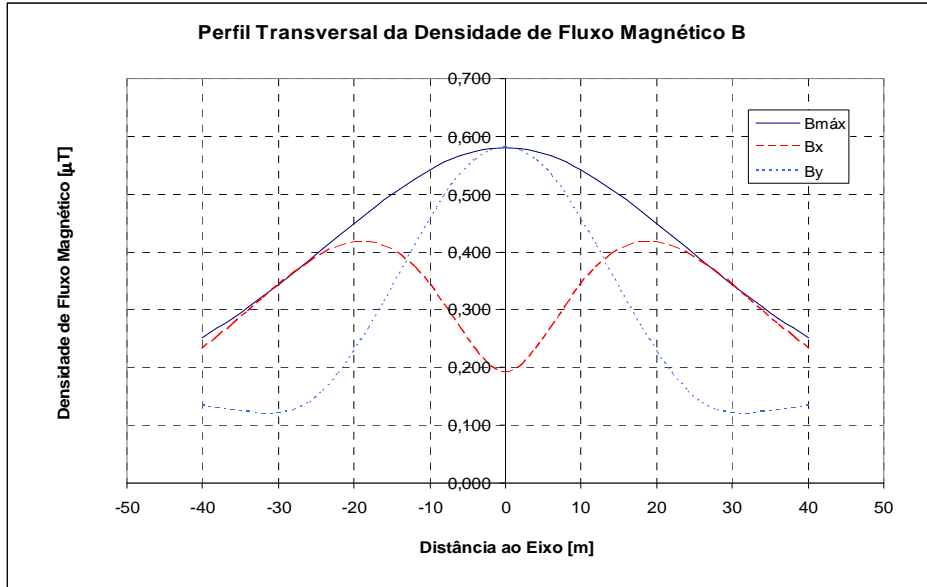


Fig. 52 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 220kV poste tipo "CW" .

3.2.2.5- 400kV Poste do tipo "Y" (Linha Simples) .

Cabo do Condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking.

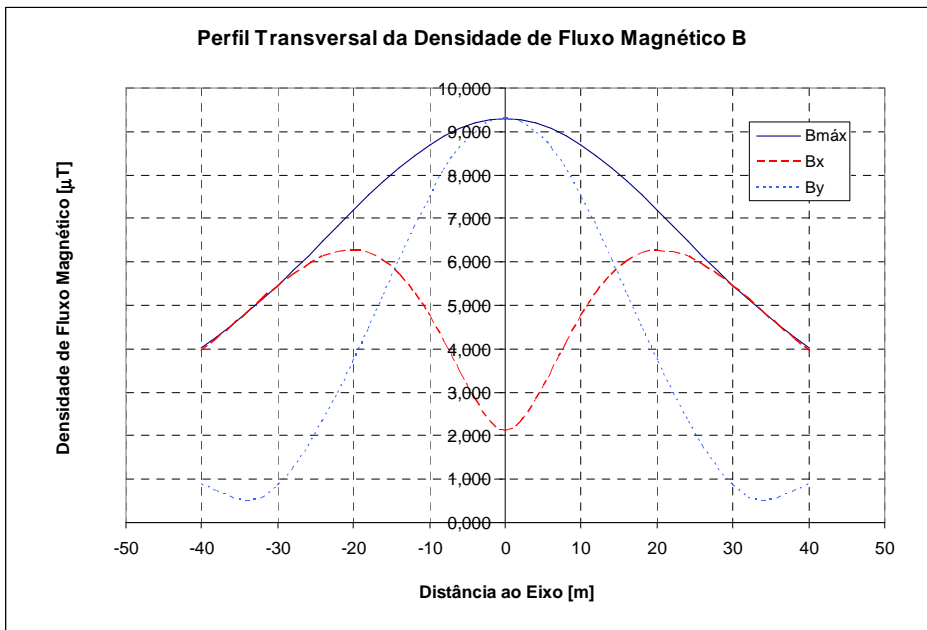


Fig. 53 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 400kV poste tipo “Y” .

3.2.2.6- 400kV Poste do tipo “DL” (Linha Dupla).

Cabo do condutor do tipo Zambeze e cabo de guarda do tipo Dorking.

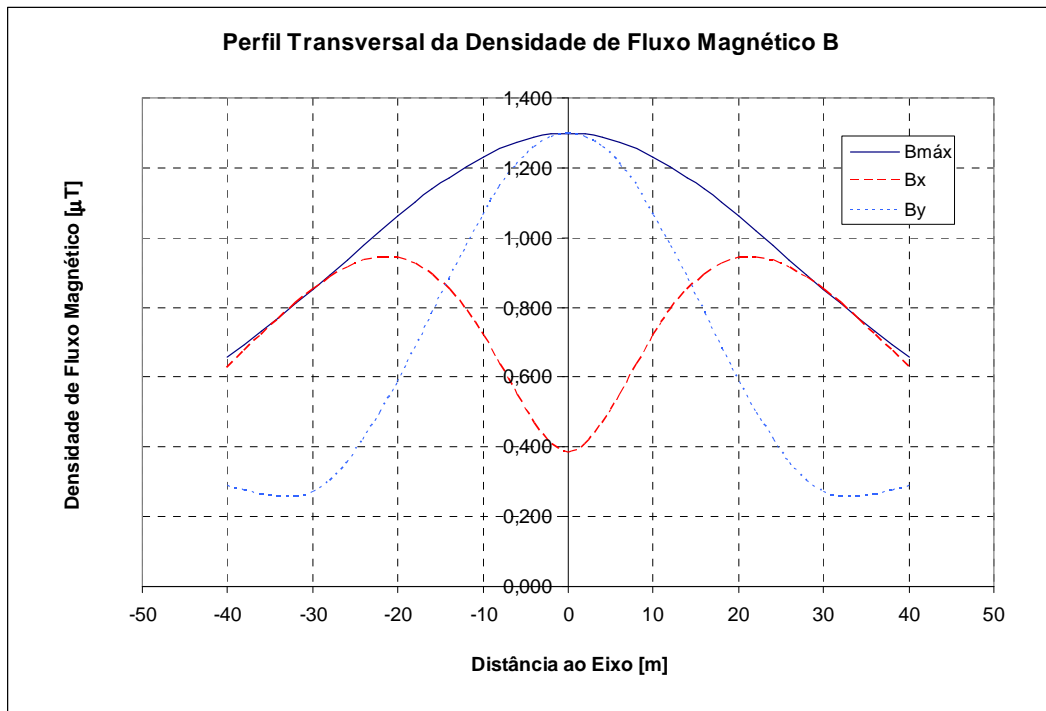


Fig. 54 - Perfil Transversal da densidade de Fluxo Magnético para 400kV poste tipo “DL” .

3.2.3 Cabos.

3.2.3.1 Cabos subterrâneos de 132 kV.

Vários tipos de cabos MAT de 132 kV são usados mundialmente. Um estudo feito no âmbito destes cabos mostra a diferença entre a colocação de cabos de MAT separados entre si, com bainhas independentes, em comparação com a colocação de somente um cabo com 3 condutores troçados no seu interior.

Com o transporte somente com um cabo, devido ao facto de os condutores estarem troçados, consegue-se fazer um melhoramento significativo no campo total efectuado pelos 3 cabos.

Os resultados encontram-se em seguida na figura 55, para uma profundidade de enterramento de 1m:

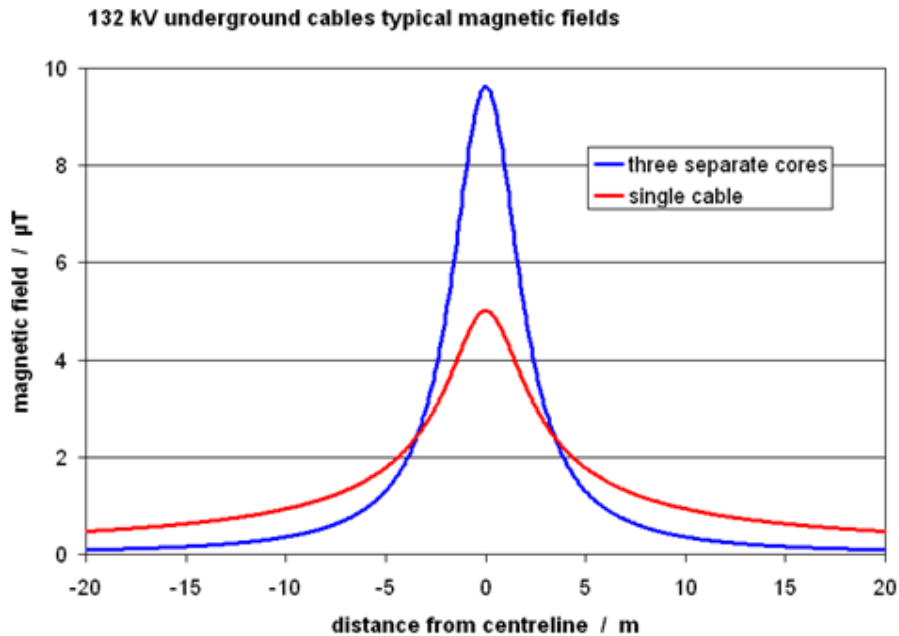


Fig. 55 - Campos magnéticos para um cabo subterrâneo único (vermelho) e 3 cabos enterrados directamente no solo lado a lado (a azul), para a mesma tensão e corrente nominais em cada condutor [4] .

3.2.3.2 Cabos subterrâneos de 275 kV e 400kV.

Para este nível de tensão o fabrico destes cabos é em tudo semelhante.

A intensidade verificada pelo campo irá então depender da corrente em jogo, logo os cabos de 400kV irão verificar um valor de campo maior para a mesma profundidade. Por sua vez, estes são enterrados a uma maior profundidade, efectuando desta forma uma melhoria no seu valor. Como foi falado anteriormente no capítulo 1, vários métodos são efectuados, na instalação dos cabos de MAT.

- Directamente no solo: Em que normalmente este tipo de situações é verificado já dentro de zonas protegidas a contactos de pessoas não qualificadas, como é o caso de subestações;
- Em condutas envolvidas em betão;
- Em túneis: Esta solução derivado ao facto de os túneis serem feitos tipicamente a profundidades elevadas, o nível verificado do campo é muito reduzido.

Os resultados então mostram que para uma profundidade de 1m, o facto de os cabos estarem no seu redor envolvidos em betão atenua o valor máximo verificado pelo campo como mostra a figura 56.

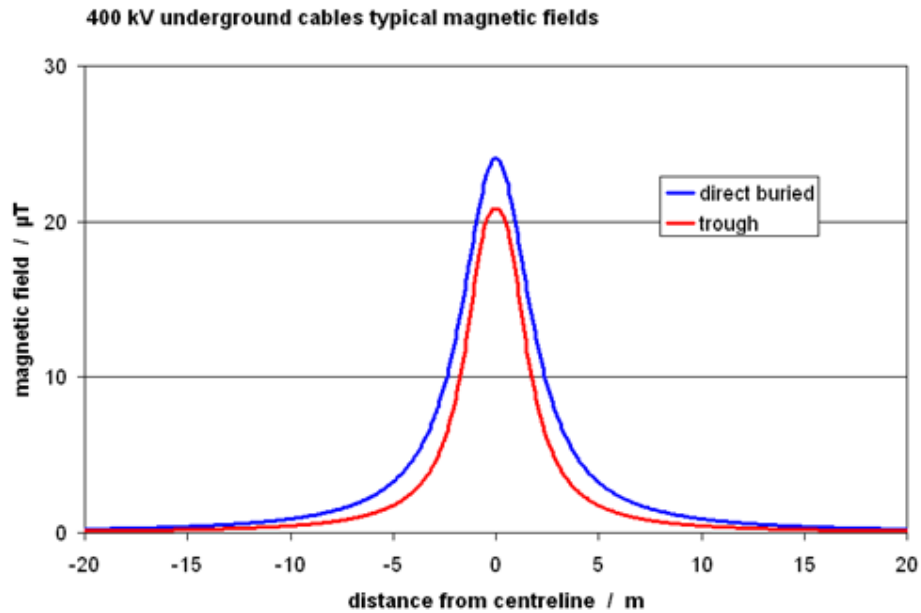


Fig. 56 - Campos magnéticos para cabos subterrâneos enterrados directamente no solo (azul) ou com o recurso a envoltura de betão (vermelho), para a mesma tensão e corrente nominais em cada condutor [4].

3.2.3.3 Conclusão.

Como foi verificado, substituir troços de linhas aéreas por cabo subterrâneos não elimina os campos magnéticos gerados por elas, como é visível na figura 57.

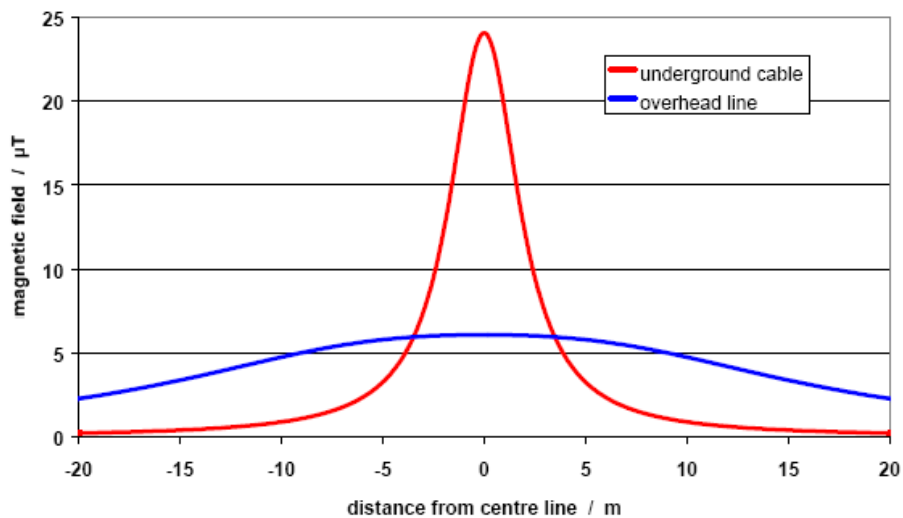


Fig. 57 - Campos magnéticos a 1 m de altura do solo para uma linha aérea (a azul) e um cabo subterrâneo (vermelho) para a mesma tensão e corrente nominais [4].

O valor que o campo magnético verifica nessa substituição, no corredor da abertura da vala, em que tipicamente são valas com 1m de largura, consegue ser superior ao valor máximo do campo produzido pela linha aérea, para iguais níveis de tensão e corrente.

Tipicamente os valores máximos poderão ser até 3 vezes maiores, isto verifica-se também, porque em grande parte a distância entre o nível do solo, ao enterramento dos cabos é menor do que a distância do condutor da linha aérea, também ao solo.

Com esta substituição, apenas é conseguido reduzir a largura do intervalo espacial, onde ao nível do solo, não é verificado valor de campo oriundo do transporte de energia em cabo subterrâneo. Para se conseguir reduzir ainda mais esse corredor, no que diz respeito ao transporte em cabos, poderá recorrer-se à envoltória dos cabos em armaduras de ferro, que funcionem como blindagens [5].

A variação do valor do campo magnético em cabos de MAT é apresentada na figura 58:

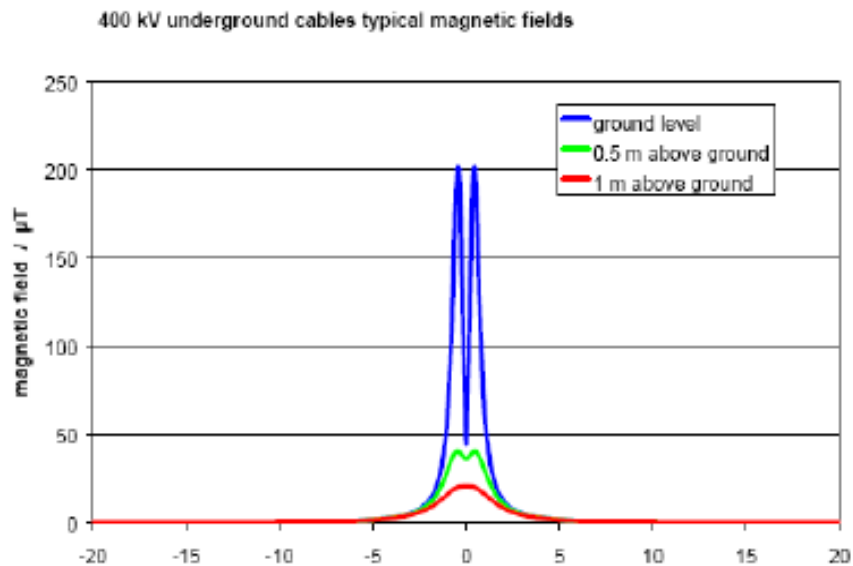


Fig. 58 - Campos magnéticos para cabo subterrâneo ao nível do solo (a azul), a meio metro do solo (verde) e a 1 m de altura do solo (vermelho), para a mesma tensão e corrente nominais [4].

Os valores apresentados são para cabos de MAT enterrados a 1m de profundidade, normalmente a distância de enterramento dos mesmos, ronda os 2m, o que melhora a intensidade máxima verificada do campo, embora o enterramento das linhas aéreas, só com medidas adicionais de blindagem magnética é efectivamente uma solução para o problema dos campos gerados pelas linhas.

Podemos também concluir, que segundo Valores limite estipulados de acordo com as recomendações da OMS [2], que tiveram por base estudos realizados pelo *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) 1998, que estabelecem como

valores máximos para o Campo Magnético de 100 μ T, para o público geral, que em todos os casos o valor resultante da simulação é muito inferior. Demonstrando desta forma que a tipologia típica da rede eléctrica está dentro dos limites impostos pelas normas.

Capítulo IV - Impactes técnicos e económicos das componentes ambiental e arqueológica no estabelecimento de um cabo ou linha.

Neste capítulo é abordada a constituição das componentes ambiental e arqueológica de um projecto de linhas aéreas ou de um cabo subterrâneo. Neste sentido, é apresentada a constituição de um estudo de impacte ambiental e um outro de incidências ambientais, bem como a constituição das fases da arqueologia no estabelecimento de uma linha ou um cabo de MAT.

É também apresentada uma proposta de uma função de penalização das componentes ambiental e arqueológica nestes projectos, com o intuito de poder incluir na avaliação global do projecto.

4.1 Introdução.

O uso do solo com uma infra-estrutura para além de causar o transtorno às populações da colocação da mesma pode ter o inconveniente de uma mudança de traçado, pois no mesmo poderá existir monumentos históricos ou sítios mais sensíveis em termos ambientais que necessitem de um levantamento mais dedicado e interventivo, por parte dos profissionais envolvidos nos trabalhos. Caso se consiga prever esses pontos sensíveis pode-se arranjar-se um compromisso entre traçado a definir e custo inerente ao projecto.

Em caso de estar em fase de execução e surgir um achado inesperado, o mesmo, dependendo do tipo de especificidade, poderá suspender o projecto, por um tempo indeterminado, o que originará um aumento de custos não previsto.

4.2 Componente ambiental.

Aquando da execução de projectos de transporte de energia poderão surgir impactes no ambiente, quer seja directamente na sua execução ou indirectamente, como por exemplo na criação de caminhos de acesso a postes.

Um impacte ambiental é definido por um conjunto de alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projecto, comparadas com a situação que ocorreria nesse período de tempo nessa área se esse projecto não viesse a ter lugar. [10]

Para se minimizar este impactes, numa fase pré-projecto, é levado a cabo um estudo de impacte ambiental ou de incidências consoante se enquadrem ou não na lista de projectos abrangidos no Decreto-Lei n.º 69/2000 que descreve quais os projectos em que o estudo de impacto ambiental (EIA) é obrigatório.

Caso esse tipo de projectos não esteja contido nessa lista procede-se, então, a um estudo de incidências que embora seja um documento menos complexo tem igualmente o intuito de evitar danos no ambiente.

4.2.1 Estudo de impacte ambiental.

No interior do Decreto-Lei n.º 69/2000 [7] em Anexo I e II são apresentados alguns projectos sujeitos a impacte ambiental, caso esse projecto não se insira, poderá ou não ser ainda sujeito a um estudo de incidências.

No estudo deste trabalho são considerados como sujeitos a impacte ambiental os seguintes tipos de projectos:

Anexo I n.º 19- Construção de linhas aéreas de transporte de electricidade com uma tensão igual ou superior a 220kV e cujo comprimento seja superior a 15km.

Anexo II n.º10 h)-Linhas de eléctrico, linhas de metropolitano aéreas ou subterrâneas, linhas suspensas ou análogas de tipo específico, utilizadas exclusiva ou principalmente para transporte de passageiro.

Logo para os cabos subterrâneos para transporte de energia que não seja para eléctricos ou metropolitano não é obrigatório efectuar um estudo de impacte ambiental.

Um EIA é então definido como um documento elaborado pelo Proponente no âmbito do procedimento de Avaliação de impacte ambiental (AIA), que contém uma descrição sumária do projecto, a identificação e avaliação dos impactes prováveis, positivos e negativos, que a realização do projecto poderá ter no ambiente, a evolução previsível da situação de facto sem a realização do projecto, as medidas de gestão ambiental destinadas a evitar ou minimizar os impactes negativos esperados e um resumo não técnico destas informações.

4.2.2 Fluxograma.

No fluxograma da figura 58 encontram-se ilustrados as diferentes fases que contítuem um processo de EIA.

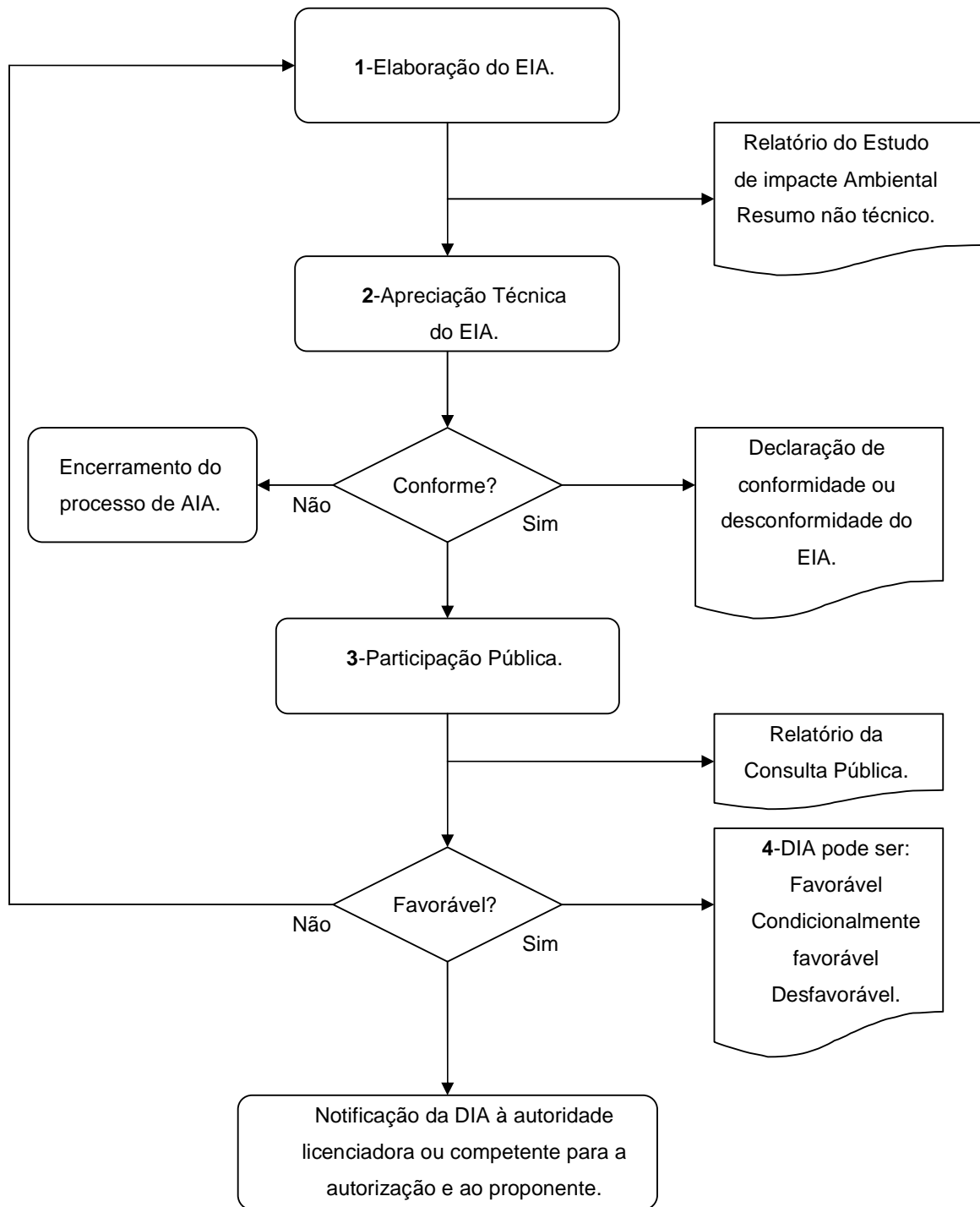


Fig.58- Fluxograma resumido do processo do EIA.

Um EIA é então caracterizado por:

4.2.3 Fase 1- Elaboração de um Estudo de impacte Ambiental.

4.2.3.1 Conteúdo mínimo do EIA.

1 - Descrição e caracterização física do projecto, das soluções alternativas razoáveis estudadas, incluindo a ausência de intervenção, tendo em conta a localização e as exigências no domínio da utilização dos recursos naturais e razões da escolha em função:

- Das fases de construção, funcionamento e desactivação;
- Da natureza da actividade;
- Da extensão da actividade; Das fontes de emissões.

2 - Descrição dos materiais e da energia utilizados ou produzidos, incluindo:

Natureza e quantidades de matérias-primas e de matérias acessórias;

Energia utilizada ou produzida;

Substâncias utilizadas ou produzidas.

3 - Descrição do estado do local e dos factores ambientais susceptíveis de serem consideravelmente afectados pelo projecto, nomeadamente a população, a fauna, a flora, o solo, a água, a atmosfera, a paisagem, os factores climáticos e os bens materiais, incluindo o património arquitectónico e arqueológico, bem como a inter-relação entre os factores mencionados.

4 - Descrição do tipo, quantidade e volume de efluentes, resíduos e emissões previsíveis nas fases de construção, funcionamento e desactivação, para os diferentes meios físicos (poluição da água, do solo, da atmosfera, ruído, vibração, luz, calor, radiação, etc.).

5 - Descrição e hierarquização dos impactes ambientais significativos (efeitos directos e indirectos, secundários e cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos) decorrentes do projecto e das alternativas estudadas, resultantes da existência do projecto, da utilização dos recursos naturais, da emissão de poluentes, da criação de perturbações e da forma prevista de eliminação de resíduos e de efluentes.

6 - Indicação dos métodos de previsão utilizados para avaliar os impactes previsíveis, bem como da respectiva fundamentação científica.

7 - Descrição das medidas e das técnicas previstas para:

- Evitar, reduzir ou compensar os impactes negativos;
- Prevenção e valorização ou reciclagem dos resíduos gerados;
- Prevenir acidentes.

8 - Descrição dos programas de monitorização previstos nas fases de construção, funcionamento e desactivação.

9 - Resumo das eventuais dificuldades, incluindo lacunas técnicas ou de conhecimentos, encontradas na compilação das informações requeridas.

10 - Referência a eventuais sugestões do público e às razões da não adopção dessas sugestões.

11 - Resumo não técnico de todos os itens anteriores, se possível acompanhado de meios de apresentação visual.

4.2.3.2 Dispensa do procedimento de AIA (Avaliação de impacte ambiental).

Em certos casos o proponente (pessoa individual ou colectiva pública ou privada que formula um pedido de autorização ou de licenciamento de um projecto) em circunstâncias excepcionais e devidamente fundamentadas poderá através de um despacho do Ministro do Ambiente e do Ordenamento do território estar dispensado total ou parcialmente de efectuar o AIA.

4.2.3.3 Objectivos da AIA .

Esta avaliação tem como objectivos:

- Obter uma informação integrada dos possíveis efeitos directos e indirectos sobre o ambiente natural e social dos projectos que lhe são submetidos;
- Prever a execução de medidas destinadas a evitar, minimizar e compensar tais impactes, de modo a auxiliar a adopção de decisões ambientalmente sustentáveis;
- Garantir a participação pública e a consulta dos interessados na formação de decisões que lhes digam respeito, privilegiando o diálogo e o consenso no desempenho da função administrativa;
- Avaliar os possíveis impactes ambientais significativos decorrentes da execução dos projectos que lhe são submetidos, através da instituição de uma avaliação, *a posteriori*, dos efeitos desses projectos no ambiente, com vista a garantir a eficácia das medidas destinadas a evitar, minimizar ou compensar os impactes previstos.

4.2.3.4 Entidades intervenientes e competências.

Entidades intervenientes.

Entidade licenciadora ou competente para a autorização que tem como objectivo:

- 1) Remeter à autoridade de AIA todos os elementos relevantes apresentados pelo proponente para efeitos de procedimentos de AIA;
- 2) Comunicar à autoridade de AIA e publicar o conteúdo da decisão final tomada no âmbito do procedimento de licenciamento ou de autorização do projecto.

Autoridade de AIA:

A Direcção Geral do Ambiente (DGA), nos casos em que o projecto está incluído no anexo I (caso das linhas aéreas). No caso em que a entidade licenciadora ou competente para a autorização seja um serviço central não desconcentrado, um instituto sob tutela da administração central ou uma direcção regional do ambiente (DRA) ou então se o projecto se situe em área sob jurisdição de duas ou mais DRA; Nos restantes casos as direcções regionais do ambiente.

Instituto de Promoção Ambiental (IPAMB) que tem como competências.

- 1) Promover e assegurar o apoio técnico necessário para a participação pública, nos termos e prazos estipulados;
- 2) Prestar os esclarecimentos que lhe forem solicitados por escrito no decurso da participação pública;
- 3) Elaborar o relatório da consulta pública;
- 4) Proceder à publicação dos documentos e informações relativos aos procedimentos de AIA;
- 5) Organizar e manter actualizado o registo central de todos os EIA e respectivos pareceres finais, DIA e decisões proferidas no âmbito do licenciamento ou da autorização dos projectos sujeitos a procedimentos de AIA, bem como dos relatórios da monitorização e das conclusões das auditorias realizadas.

Comissão de avaliação.

- 6) Tem como competências deliberar sobre a proposta de definição do âmbito do EIA, promover, sempre que necessário, contactos e reuniões com o proponente e com entidades públicas ou privadas, nomeadamente a entidade licenciadora ou competente para a autorização, por sua iniciativa ou mediante solicitação daqueles; Solicitar pareceres especializados de entidades externas, quando necessário; proceder à verificação da conformidade legal e à apreciação técnica do EIA; elaborar o parecer técnico final do procedimento de AIA;

Entidade coordenadora e de apoio técnico.

A Direcção-Geral do Ambiente assegura as funções de coordenação geral e de apoio técnico do procedimento de AIA, competindo-lhe, nomeadamente:

- 1) Ser a autoridade nacional do procedimento de AIA para efeitos de interlocução com a comissão Europeia e com outros Estados membros da União Europeia, no âmbito do processo de consulta recíproca;
- 2) Propor normas técnicas uniformemente aplicáveis no âmbito dos procedimentos de AIA e facultar apoio técnico geral;
- 3) Solicitar o envio e tratar dos dados provenientes das DRA para efeitos estatísticos e de preparação de relatórios nacionais e de troca de informações com a Comissão Europeia.

4.2.3.5 Delimitação do âmbito do EIA.

- 1) O proponente pode, preliminarmente ao procedimento de AIA, apresentar à Autoridade de AIA uma proposta de definição do âmbito do EIA.
- 2) A proposta de definição do âmbito do EIA contém uma descrição sumária do tipo, características e localização do projecto, sendo acompanhada de uma declaração de intenção de o realizar.
- 3) Recebidos os documentos, a Autoridade de AIA tem que solicitar por escrito às entidades públicas com competência na apreciação do projecto, os respectivos pareceres terá também que nomear a comissão de avaliação, à qual submete a proposta de definição do âmbito do EIA para análise e deliberação.
- 4) Por iniciativa do proponente, e mediante decisão da comissão de avaliação, a proposta de definição do âmbito do EIA pode ser objecto de consulta pública.
- 5) A definição do âmbito do EIA vincula o proponente e a comissão de avaliação de avaliação quanto ao conteúdo do EIA a apresentar por aquele salvo a verificação em momento posterior ao da deliberação, de circunstâncias que manifestamente a contrariarem.

4.2.3.6 Elaboração e conteúdo do EIA.

Os principais pontos da elaboração e conteúdo do EIA são:

- 1) O procedimento de AIA inicia-se com a apresentação, pelo proponente de um EIA à entidade licenciadora ou competente para a autorização.
- 2) O EIA é acompanhado do respectivo estudo prévio, ou anteprojecto, ou se a estes não houver lugar, do projecto sujeito a licenciamento.
- 3) Quando não sejam aplicáveis ao EIA um ou mais aspectos referidos como elementos mínimos, deve mencionar expressamente tal facto e fundamentar a exclusão da análise desses aspectos.
- 4) O EIA deve ainda incluir as directrizes da monitorização, identificando os parâmetros ambientais a avaliar, as fases do projecto nas quais irá ter lugar e a sua duração, bem

como a periodicidade prevista para a apresentação dos relatórios de monitorização à autoridade de AIA.

- 5) A informação que deva contar do EIA e que esteja abrangida pelo segredo industrial ou comercial, incluindo a propriedade intelectual, ou que seja relevante para a protecção da segurança nacional ou da conservação do património natural e cultural será inscrita em documento separado e tratada de acordo com a legislação aplicável.
- 6) Todos os órgãos e serviços da Administração Pública que detenham informação relevante para a elaboração do EIA e cujo conteúdo e apresentação permita a sua disponibilização pública devem permitir a consulta dessa informação e a sua utilização pelo proponente, sempre que solicitados para o efeito.
- 7) O EIA é apresentado em suporte de papel e sempre que possível em suporte informático selado.
- 8) O resumo não técnico é apresentado em suporte de papel e em suporte informático selado.

4.2.4 Fase 2- Apreciação técnica do EIA.

4.2.4.1 Apreciação técnica do EIA.

A apreciação técnica do EIA tem os seguintes procedimentos:

- 1) O EIA e toda a documentação relevante para AIA são remetidos pela entidade licenciadora ou competente para a autorização à autoridade de AIA.
- 2) Recebidos os documentos, a Autoridade de AIA nomeia a comissão de avaliação, à qual submete o EIA para apreciação técnica.
- 3) A comissão de avaliação deve no prazo de 20 dias a contar da recepção, pronunciar-se sobre a conformidade do EIA com o disposto no artigo anterior ou quando tenha havido definição do âmbito do EIA, com a respectiva deliberação.
- 4) A comissão de avaliação pode solicitar ao proponente, e este pode tomar a iniciativa de propor, por uma única vez, aditamentos, informações complementares ou a reformulação do resumo não técnico para efeitos da conformidade do EIA, a apresentar em prazo a fixar para o efeito, sob pena de o procedimento não prosseguir, suspendendo-se, entretanto, o prazo previsto no número anterior, o que deve ser comunicado à entidade licenciadora ou competente para a autorização.
- 5) Quaisquer outros pedidos posteriores de aditamentos ou informações complementares não suspendem o prazo de procedimento do AIA.
- 6) A declaração de desconformidade de EIA, nos termos do n.º3 deve ser fundamentada e determina o encerramento do processo de AIA
- 7) Declarada a conformidade do EIA, nos termos do n.º3, o mesmo é enviado ao IPAMB, para publicação e promoção da consulta pública e é enviado também para as entidades públicas com competências na apreciação do projecto, para emissão dos respectivos pareceres.

- 8) Os pareceres devem ser emitidos no prazo de 40 dias, podendo não ser considerados se emitidos fora desse prazo.

4.2.5 Fase 3- Participação pública.

4.2.5.1 Participação pública.

A participação pública existe em várias fases do processo. Os prazos estipulados no Decreto-lei são os seguintes:

- 1) No prazo de 15 dias, o IPAMB promove a publicação do EIA, nos termos previstos no presente diploma, bem como do período e forma de participação dos interessados
- 2) Tendo em conta a natureza, dimensão ou localização do projecto, o IPAMB fixa o período da consulta pública que vai de 30 a 50 dias para projectos previstos no Anexo I do presente Decreto-Lei e 20 a 30 dias para projectos previstos no Anexo II.
- 3) São titulares do direito de participação no procedimento do AIA todos os cidadãos no gozo dos seus direitos civis e políticos, com residência, principal ou secundária, no concelho ou concelhos limítrofes da localização do projecto, bem como as suas organizações representativas, organizações não governamentais de ambiente e, ainda quaisquer outras entidades cujas atribuições ou estatutos o justifiquem, salvo quando aquelas sejam consultadas no âmbito do procedimento de AIA.
- 4) Compete ao IPAMB decidir em função da natureza e complexidade do projecto, dos seus impactes ambientais previsíveis, ou do grau de conflitualidade potencial da execução daquele, a forma de execução daquele, a forma de concretização adequada da consulta pública, a qual pode incluir a realização de audiências públicas a realizar nos termos do artigo seguinte, ou constituir qualquer outra forma adequada de auscultação dos interessados.
- 5) No prazo de 15 dias após realização da consulta pública o IPAMB envia ao presidente da comissão de avaliação «relatório da consulta pública», que deve conter a descrição dos meios e formas escolhidos para a publicação do projecto e participação dos interessados, bem como a síntese das opiniões predominantemente expressas e a respectiva representatividade.
- 6) O IPAMB pode responder por escrito, no prazo de 30 dias, aos pedidos de esclarecimento que lhe sejam dirigidos por escrito pelos interessados devidamente identificados no decurso da consulta pública.

4.2.5.2 Audiências públicas.

1 - O IPAMB convoca, define as condições em que se realizam, conduz e preside às audiências públicas.

2 - A realização de audiências públicas é sempre publicitada com uma antecedência mínima de 10 dias.

3 - Nas audiências públicas participam representantes da comissão de avaliação, dos técnicos responsáveis pelo EIA e do proponente.

4 - Compete ao IPAMB registar em acta ou em outro suporte adequado, desde que posteriormente reduzido a acta, a identificação e opinião de cada participante.

4.2.6 Fase 4- Decisão.

4.2.6.1 Parecer Final e proposta de DIA.

1- No prazo de 25 dias a contar da recepção do relatório da consulta pública, a comissão de avaliação, em face do conteúdo dos pareceres técnicos recebidos, da apreciação técnica do EIA, do relatório da consulta pública e de outros elementos de relevante interesse constantes do processo, elabora e remete à Autoridade de AIA o parecer final do procedimento de AIA.

2 - A Autoridade de AIA deve remeter ao Ministro do Ambiente e do Ordenamento do Território a proposta de DIA.

4.2.6.2 Declaração de impacte ambiental.

- **Conteúdo.**

1) - A decisão sobre o procedimento de AIA consta da DIA, a qual pode ser favorável, condicionalmente favorável ou desfavorável, devendo, neste caso, fundamentar as razões daquela conclusão.

2) - A DIA condicionalmente favorável especifica as condições em que o projecto pode ser licenciado ou autorizado e contém obrigatoriamente as medidas de minimização dos impactes ambientais negativos que o proponente deve adoptar na execução do projecto.

3) - O disposto na segunda parte do número anterior pode ser igualmente aplicável à DIA favorável.

4) - A DIA deve mencionar as sugestões reiteradamente formuladas pelos interessados no âmbito da consulta pública que não tenham sido acolhidas, fundamentando a posição adoptada.

- **Competências e prazos.**

- 1) - A DIA é proferida pelo Ministro do Ambiente e do Ordenamento do Território no prazo de 15 dias contados a partir da data da recepção da proposta da Autoridade de AIA.
- 2) - A DIA é notificada, de imediato e em simultâneo, à entidade licenciadora ou competente para a autorização e ao proponente.
- 3) - Os prazos estabelecidos para o licenciamento ou a autorização ficam suspensos até à data em que ocorra a notificação da entidade licenciadora ou competente para a autorização ou ocorra a situação prevista no artigo seguinte.

4.2.6.3 Publicidade das componentes de AIA.

- **Princípio geral.**

1 - O procedimento de AIA é público, encontrando-se todos os seus elementos e peças processuais disponíveis para consulta, nomeadamente:

- a) Na Autoridade de AIA;
- b) No IPAMB;
- c) Nas direcções regionais do ambiente da área de localização do projecto;
- d) Nas câmaras municipais da área de localização do projecto.

- **Âmbito da publicação.**

A publicação tem que conter os seguintes documentos:

- a) O EIA;
- b) O resumo não técnico;
- c) O relatório da consulta pública;
- d) O parecer final da comissão de avaliação;
- e) A DIA;
- f) O relatório previsto no n.º 1 do artigo 28.º;
- g) A decisão de dispensa de procedimento de AIA;
- h) A decisão relativa ao pedido de licenciamento ou de autorização.

4.2.6.3.4 Pós-Avaliação.

- **Objectivos.**

Após a emissão da DIA favorável ou condicionalmente favorável compete à Autoridade de AIA dirigir e orientar a pós avaliação do projecto, abrangendo as condições do seu licenciamento ou autorização, construção, funcionamento, exploração e desactivação, visando as seguintes finalidades:

- a) Avaliação da conformidade do projecto de execução com a DIA, nomeadamente o cumprimento dos termos e condições nela fixados;
- b) Determinação da eficácia das medidas previstas para evitar, minimizar ou compensar os impactes negativos e potenciar os efeitos positivos, bem como, se necessário, da adopção de novas medidas;
- c) Análise da eficácia do procedimento de avaliação de impacte ambiental realizado.

- **Relatório e parecer de conformidade com a DIA.**

1 - Sempre que o procedimento de AIA ocorra em fase de estudo prévio ou de anteprojecto, o proponente apresenta junto da entidade licenciadora ou competente para a autorização o correspondente projecto de execução, acompanhado de um relatório descritivo da conformidade do projecto de execução com a respectiva DIA.

2 - A DIA estabelece se a verificação da conformidade do projecto de execução pode ser feita em sede de licenciamento, pela entidade competente para a licença ou para a autorização, ou se carece de apreciação pela Autoridade de AIA, nos termos previstos nos números seguintes.

3 - A entidade licenciadora ou competente para a autorização envia a documentação para a Autoridade de AIA, a qual deve, de imediato, remetê-la à comissão de avaliação e enviar uma cópia do relatório ao IPAMB, para efeito de publicitação.

4 - A comissão de avaliação, no prazo de 40 dias contados a partir do seu recebimento, emite e envia à Autoridade de AIA um parecer sobre a conformidade do projecto de execução com a DIA.

5 - Caso o parecer mencionado no número anterior conclua pela não conformidade do projecto de execução com a DIA, deve fundamentar as razões daquela conclusão e indicar expressamente as medidas que o projecto de execução deve observar ou a necessidade da sua reformulação.

6 - No prazo de cinco dias a contar do recebimento do parecer, a Autoridade de AIA notifica a entidade licenciadora e o proponente, o qual, no caso previsto no número anterior, fica obrigado ao cumprimento das condições constantes daquele parecer.

7 - Decorridos 50 dias contados a partir da recepção, pela Autoridade de AIA, da documentação prevista, se nada for transmitido à entidade licenciadora, considera-se que o projecto de execução está conforme com a DIA, pelo que pode ser licenciado ou autorizado.

4.2.7 Estudo de incidências.

Caso o projecto não esteja contido dentro da lista dos projectos nos quais tem obrigatoriamente de ser efectuado um EIA, poderá ou não estar sujeito a efectuar um Estudo de Incidências Ambientais.

Para este tipo de projectos que contêm abertura de valas e nivelamento de terrenos, é de bom senso proceder à sua execução.

4.2.8 Fluxograma.

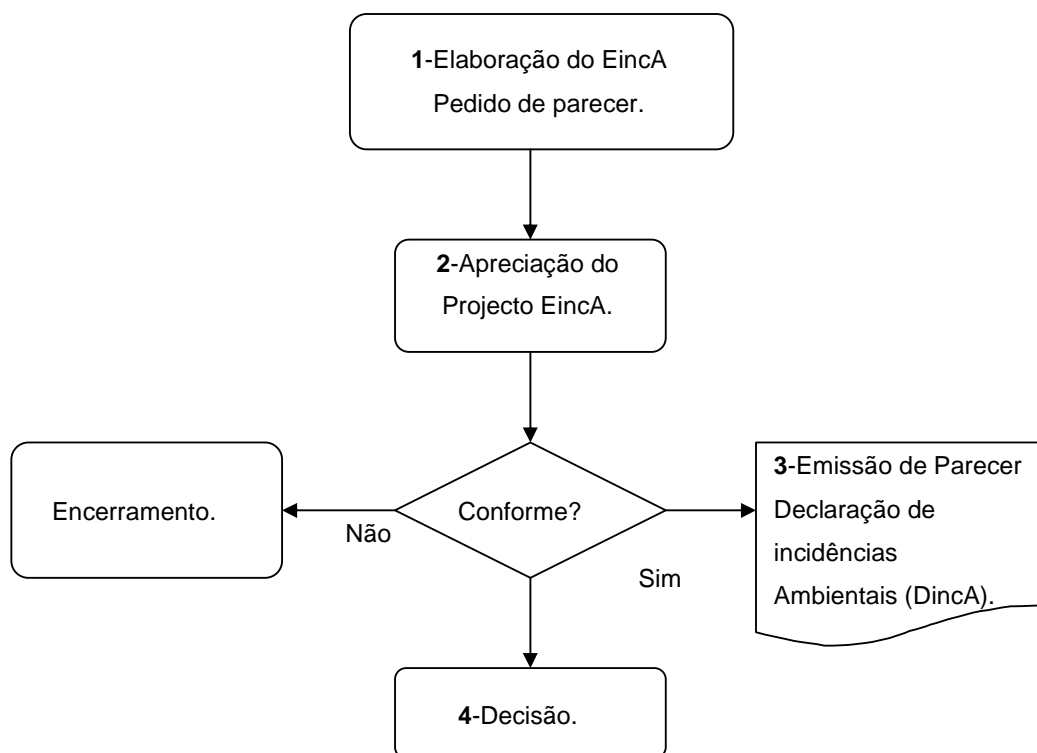


Fig.59- Fluxograma resumo do processo do EincA.

O Estudo de Incidências Ambientais (EincA) é então composto pelas seguintes fases:

4.2.9 Fase 1 – Elaboração do Estudo de incidências Ambientais.

1.1. O Proponente envia o EincA, o projecto e o plano de acompanhamento ambiental para a Entidade Licenciadora.

1.2. A Entidade Licenciadora recebe por parte do Proponente, o EincA e os restantes documentos que o acompanham e envia-os para a CCDR.

1.3. A CCDR recebe por parte da Entidade Licenciadora o EInCA e os restantes documentos que o acompanham.

4.2.10 Fase 2- Apreciação do Projecto EincA.

2.1. A CCDR verifica a conformidade dos documentos recebidos, tendo 12 dias úteis para o fazer. Se os documentos estiverem conformes, o procedimento segue para o passo 2.8.

2.2. Se a CCDR verificar que os documentos recebidos não estão conformes, convoca o promotor para conferência instrutória.

2.3. A CCDR solicita ao Proponente, os elementos necessários para o seguimento da instrução do processo. Este conta com 50 dias úteis para apresentar os referidos elementos.

2.4. O Proponente entrega os elementos solicitados à CCDR.

2.5. A CCDR verifica os elementos recebidos. (Se os elementos recebidos estão de acordo com o que foi solicitado, o procedimento segue para o passo 2.8).

2.6. Se os elementos recebidos não estão de acordo com o que foi solicitado, o processo de avaliação é encerrado.

2.7. A CCDR notifica o Proponente e a Entidade Licenciadora desta decisão. (O procedimento segue para o passo 4.3).

2.8. Nas situações em que todos os elementos apresentados pelo Proponente estão conformes, a CCDR solicita o pagamento de taxa e promove a consulta pública. (A CCDR tem 10 dias úteis, a contar da data de recepção dos elementos, para publicar o aviso de consulta pública. Esta consulta deve ter uma duração de 20 dias úteis).

2.9. A CCDR, consoante as características do projecto, consulta outras entidades. As entidades consultadas contam com 20 dias úteis para se poder pronunciar sobre o projecto. (No caso do projecto se localizar em sítios da Rede Natura 2000 ou da Rede Nacional de Áreas Protegidas é consultado obrigatoriamente o ICNB).

4.2.11 Fase 3- Emissão de Parecer Declaração de incidências Ambientais (DincA).

3.1. A CCDR recebe os pareceres das entidades consultadas.

3.2. A CCDR elabora e envia a proposta de decisão para o Ministro do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional (MAOTDR).

3.3. O MAOTDR profere a Declaração de Incidências Ambientais (DincA), tendo 12 dias úteis, a contar da data de recepção da proposta de decisão, para o fazer.

4.2.12 Fase 4- Decisão.

4.1. A CCDR recebe a DincA por parte do MAOTDR.

4.2. A CCDR notifica o Proponente e a Entidade Licenciadora.

4.3. O Proponente e a Entidade Licenciadora tomam conhecimento da decisão (A decisão do procedimento é favorável se nada for comunicado ao proponente no prazo de 60 dias úteis a contar da data de recepção do EIncA e documentos que o acompanham (1.3)).

4.3 Componente arqueológica.

4.3.1 A presença da arqueologia na execução da obra de uma linha aérea.

No traçado de um projecto de linhas aéreas as escavações existentes, fora das zonas de ligação são efectuadas nas fundições dos postes de suporte às linhas e na colocação dos eléctrodos, sendo tudo isto na vizinhança da futura localização onde se erguem as estruturas. Podendo existir somente nivelamentos de terra para se efectuar caminhos de passagem entre postes, caso não exista forma de se chegar ao local. Desta forma, nessa escavação é necessário que haja um acompanhamento arqueológico com maior ou menor atenção, dependendo da zona em que se situa, pelo que após o E.I.A. exigido pelo ministério do Ambiente, é emitido um relatório para o IGESPAR, I. P, com recomendações nas várias hipóteses de traçado. Esta entidade avalia o relatório e determina as condicionantes com exigência ou não de sondagens. Após a determinação do traçado definitivo com base nestas condicionantes, um novo levantamento no terreno é efectuado (Prospecção integral do traçado definitivo) e novamente é enviado um novo relatório para o IGESPAR, I. P, que avalia o n.º de Arqueólogos necessários, face à extensão e complexidade da obra. Nesta fase se for indicado no relatório somente é avaliado se são necessárias novas sondagens.

Neste tipo de obra, este acompanhamento é muito importante, não só para prevenir uma possível interferência com os achados de períodos anteriores ao presente e desta forma aumentar o património arqueológico existente, como também, para identificar a descoberta de achados que podem ocorrer na execução da obra.

Logo, a importância da arqueologia neste tipo de projectos é na generalidade, dividida, pelo menos em 6 fases, nomeadamente, na parte do E.I.A., em que caso seja exigido pelo IGESPAR, I.P., se a zona for considerada sensível, terá que se proceder a sondas mecânicas ou arqueológicas previamente no local, após essa fase, quando existe uma abertura do estaleiro de obra é preciso garantir que a sua execução no caso de nivelamentos de terreno e escavações, não danifiquem algum ponto sensível, posteriormente a isso, quando a parte de execução se inicia, a abertura de fundições para se colocar os maciços dos postes tem que ter acompanhamento das equipas de profissionais envolvidos no projecto. Após essa escavação ergue-se o poste e será necessária a colocação dos cabos, que irão passar por todas as estruturas. Durante essa colocação e em toda a extensão desse projecto, as equipas só serão necessárias se a colocação das bobinas de cabos eléctricos implicar nivelamentos de terreno e logicamente escavações. Por último, após a finalização da execução do projecto, à semelhança da abertura de estaleiro, quando este é para fechar e, se for necessário, terá que estar presente o acompanhamento arqueológico. As diferentes fases pelas quais a execução

de um projecto de uma linha aérea passa encontram-se ilustradas de forma resumida na figura 60.



*(1) - Caso seja exigido pelo IGESPAR.

*(2) - Caso implique nivelamentos ou aberturas no terreno.

Fig.60- Fases de um projecto de Linhas Aéreas em que a Arqueologia está inserida [anexo 6].

4.3.2 A presença da arqueologia na execução da obra em cabos subterrâneos.

Com o transporte de energia através de cabos subterrâneos a importância da arqueologia torna-se ainda mais marcante, dado que, ao contrário do que sucede no caso da linha aérea deixam de existir escavações dispersas e passa a existir uma escavação contínua, variando a cota de escavação com o nível de tensão em jogo, pelo que quanto maior a tensão, maior a profundidade.

Se o traçado passar numa zona habitacional deve, por lei, salvo casos excepcionais devidamente justificados, seguir o alinhamento da estrada podendo originar uma diferença de cotas, pois pode existir a necessidade de ter que se afundar ou subir a infra-estrutura, de forma a passar por obstáculos presentes no terreno que podem ser outras infra-estruturas como caso de água, gás, esgotos, telefones, etc. Pois como estamos na presença de um cabo eléctrico, ao estar em carga, ou seja, em serviço e ser percorrido por uma corrente, origina a criação de um campo magnético, cuja intensidade varia com a corrente em jogo. Por sua vez, se estivermos perto de outras infra-estruturas esse campo magnético poderá provocar indução nas mesmas, logo não só é necessário garantir o afastamento suficiente para que não se juntem infra-estruturas diferentes, mas também tentar garantir que se mantenha uma distância suficiente para evitar essa indução. Problema que não se verifica, caso o projecto seja em linha aérea pois, ao garantir as distâncias mínimas de segurança, já estaremos salvaguardados.

Pode também existir algum tipo de achado arqueológico que não pode ser afectado e, que em último caso, se não houver forma de ser ultrapassado, obriga a que o traçado, inicialmente previsto, tenha de ser alterado, o que pode ser prejudicial para a evolução do projecto, pois este tipo de infra-estruturas são demoradas e caso seja perto de zonas com habitações, isto implica um transtorno acrescido, uma vez que existe não só a passagem prévia da infra-estrutura, como também, se esta já estiver totalmente concluída, o caminho alternativo tem que ser definido e isto pode demorar tempo e tem que ser conectado com parte do percurso já efectuado originando uma reabertura do local.

Sendo estes projectos tão extensivos ao nível de aberturas de terreno, logicamente que exigem um acompanhamento mais constante por parte dos arqueólogos na altura exacta da abertura, porque neste tipo de abertura de valas, por questões de segurança e devido ao facto de para este nível de tensão as valas terem, em média, cotas de escavação de 1,90 m de profundidade, não permitindo a exclusão da protecção às pessoas que vão estar no seu interior. As valas têm de ter entivação, originando que, logo após a abertura da mesma, seja colocada a entivação nas zonas laterais e, conseqüentemente, a cobertura do terreno com painéis, impossibilitando a visualização das valas.

Desta forma, a importância da arqueologia irá repercutir-se em mais fases do projecto. À semelhança do projecto de linhas aéreas na sua fase inicial, o E.I.A, e caso seja necessário proceder a sondas mecânicas ou arqueológicas, é preciso a participação, por parte da arqueologia, e volta igualmente, a ser necessário na abertura do estaleiro, caso existam nivelamentos de terra que impliquem escavações. Como explicado anteriormente, a execução deste tipo de projectos tem algumas diferenças o que origina, previamente, a abertura das valas para a colocação da infra-estrutura, podendo ser necessário recorrer a sondas no terreno, a fim de se concluir se o traçado previsto para um determinado local não terá impedimentos de outras estruturas já anteriormente colocadas para que o projecto não tenha de sofrer qualquer tipo de alteração de traçado. Logo, nestas duas fases de abertura de valas e sondas, caso seja preciso, o acompanhamento de um arqueólogo é necessário.

Após a abertura da vala e passagem de cabos, as ligações destes serão feitas em estruturas próprias e terão que ser abertas, também no terreno, as caixas de junção o que obviamente irá também requisitar a presença de um profissional. À semelhança das linhas aéreas quando as infra-estruturas estão prontas para a passagem dos cabos aquando da colocação das bobinas de cabo, se houver necessidade de nivelamentos de terreno para a colocação das mesmas, estes nivelamentos terão que ser logicamente acompanhados, bem como na parte de fecho de estaleiro, nas condições faladas anteriormente podendo ser necessário a presença das equipas de profissionais envolvidas. As diferentes fases pelas quais a execução de um projecto de cabos subterrâneos passa encontram-se ilustradas de forma resumida na figura 61.



*(1) - Caso seja exigido pelo IGESPAR.

*(2) - Caso implique nivelamentos ou aberturas no terreno.

Fig.61- Fases de um projecto de Cabos Subterrâneos em que a Arqueologia está inserida [anexo 6].

4.4 Proposta para uma função de penalização.

Das secções anteriores resalta a importancia que tanto a componente ambiental, como a componente arqueológica têm nos projectos de linhas e cabos para o transporte de energia eléctrica.

Uma forma de as representar através de uma função de penalização, passa por efectuar o levantamento dos sítios considerados como sensíveis dentro das áreas assinaladas. Consoante o grau de sensibilidade e sabendo também qual o nível de tensão, consegue-se estimar o custo efectivo da alteração do projecto base. Esse custo depende dessa tensão, pois o custo da substituição é cada vez mais marcante com o aumento da tensão, como indicado no Capítulo 2.

A variação do custo final irá variar também com a sensibilidade, anteriormente falada dos sítios, pois isso origina mais ou menos quilómetros de cabo, o que representa, um sobrecusto. Deste modo uma função de penalização possível, para cada área, poderá ter o formato da figura 62.

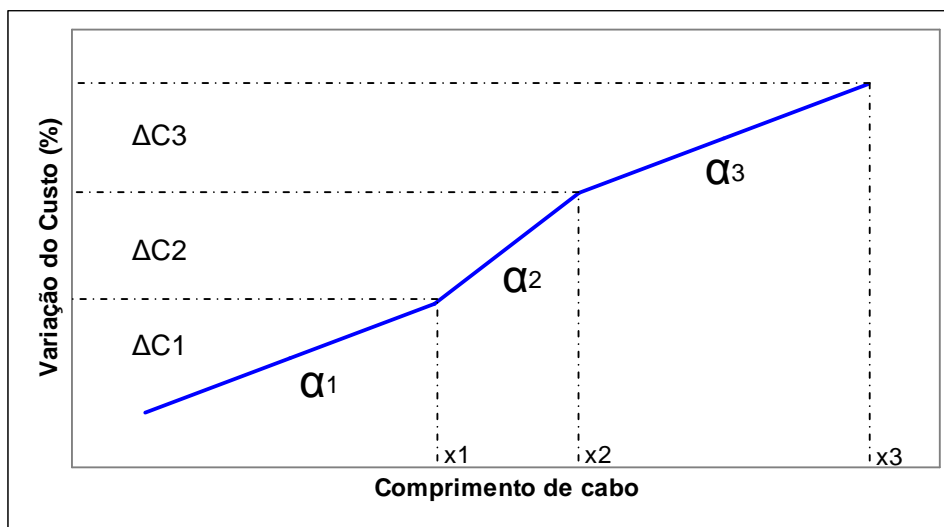


Fig.62- Proposta para uma possível função de penalização da componente Ambiental e Arqueológica, para estudos técnicos e económicos.

O caso apresentado pode eventualmente ser enquadrado numa situação real. Caso fosse uma interligação entre duas subestações, a variação de custo seria mais sensível no meio desse percurso do que próximo das subestações.

Junto às subestações, a margem que os cabos têm para fazer desvios é diminuta devido à probabilidade que estas têm de nas suas entradas estarem instalados cabos que não permitem outros percursos de entrada que não os já reservados, o que origina que o troço da função de penalização nesse local tenha um declive baixo, significando menos variações de custo por kilometro do cabo instalado.

Capítulo V - Impactes na rede Aplicação.

Neste capítulo é efectuado um estudo do trânsito de energia, para um caso real, após a substituição de troços de linhas aéreas por cabos de MAT. São avaliadas não só as perdas associadas a esta mudança, como também verificada a evolução das tensões em cada barramento e as correspondentes variações nas correntes de curto-circuito.

Tendo as perdas activas associadas a esta substituição e com o respectivo custo de projecto, verifica-se qual o comprimento óptimo para cada nível de tensão nessa substituição.

São também mapeadas as componentes da avaliação da alternativa do projecto, facto que se revela importante, principalmente na fase ante-projecto.

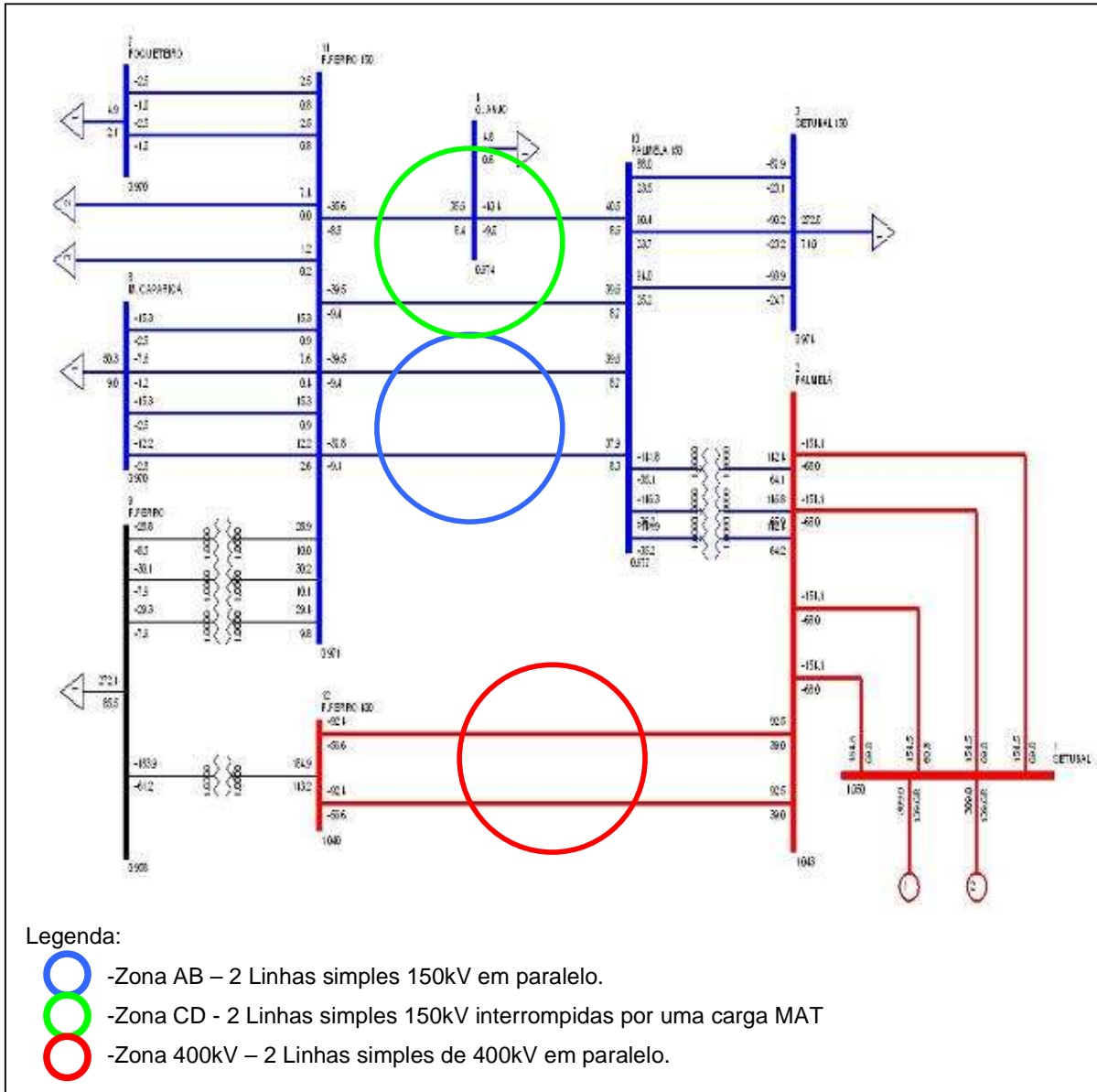


Fig. 64 - Rede modelizada no software.

5.1.2 Metodologia.

Para analisar os impactes ao nível do transito de energia, da substituição de linhas aéreas por cabo, procedeu-se à introdução de troços com características específicas de cabos (km, nível de tensão, tipo, etc.) em cada uma das zonas indicadas na figura 64.

A substituição de linha aérea por cabo foi efectuada com extensão de cabos entre 1 a 10km , pois em Portugal os comprimentos para projectos de cabos subterrâneos de MAT rondam os 10km, desta forma, as substituições no programa, tomaram esse valor como máximo

Para se efectuar as substituições de troços de linha aérea por troços de cabo, escolheu-se como imagens de saída, somente a parte das linhas e respectivos barramentos que iriam ser

simulados para se facilitar a visualização. Nomeou-se também as respectivas linhas para se poder ter um acesso rápido.

Para facilitar a visualização de quais as linhas que iriam ser simuladas nomeou-se conforme mostra a imagem seguinte:

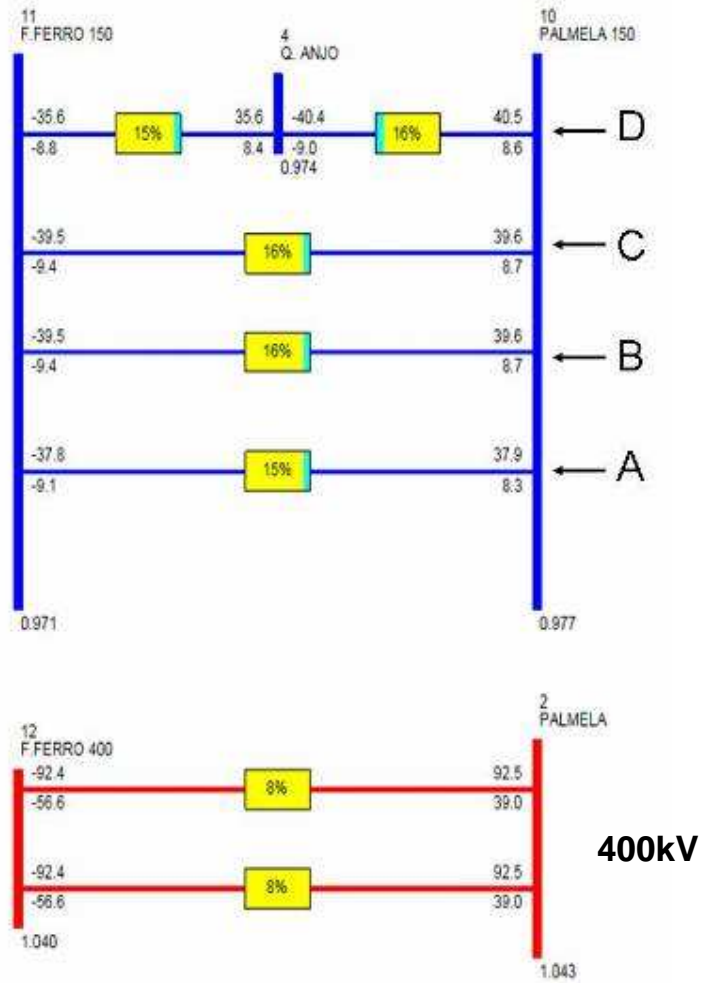


Fig. 65 - Linhas usadas na substituição linha aérea por cabo.

5.1.3 Substituição de troço de cabo subterrâneo nos 400kV.

Na figura 66, encontram-se ilustrados os resultados do trânsito de energia, para a substituição de cabo em duas situações distintas 2km e 10km. Para a zona dos 400kV.

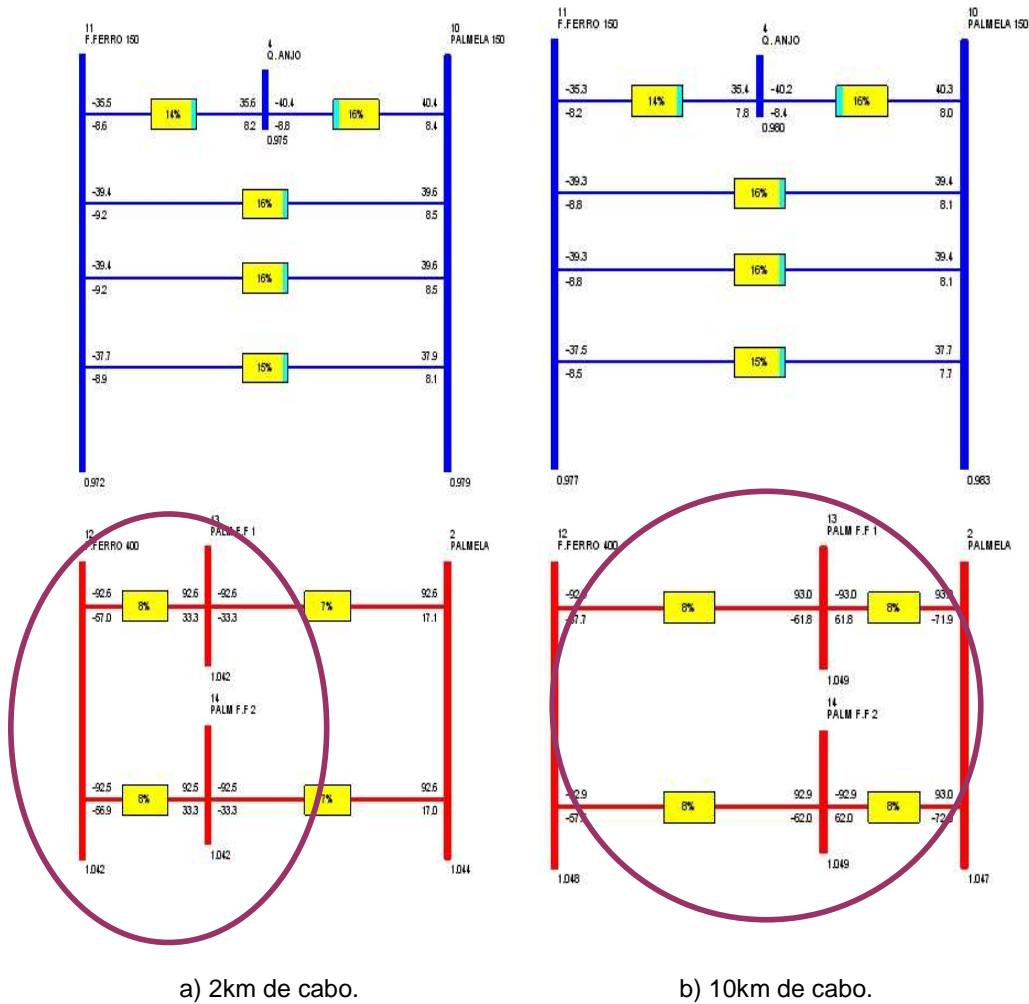


Fig. 66 - Substituição de cabo subterrâneo nos 400kV.

Com a introdução destes cabos nos 400kV, em primeira análise, repara-se que após o trânsito de energia a linha D fica mais aliviada passando essa energia pelos 400kV, sendo que este trânsito de energia se deve à diminuição de resistência que está inerente à substituição de linha aérea para cabo subterrâneo.

5.1.4 Substituição de troço de cabo subterrâneo na linha AB dos 150kV.

Na figura 67, encontram-se ilustrados os resultados do trânsito de energia, para a substituição de cabo em duas situações distintas 2km e 10km. Para a zona dos 150kV AB.

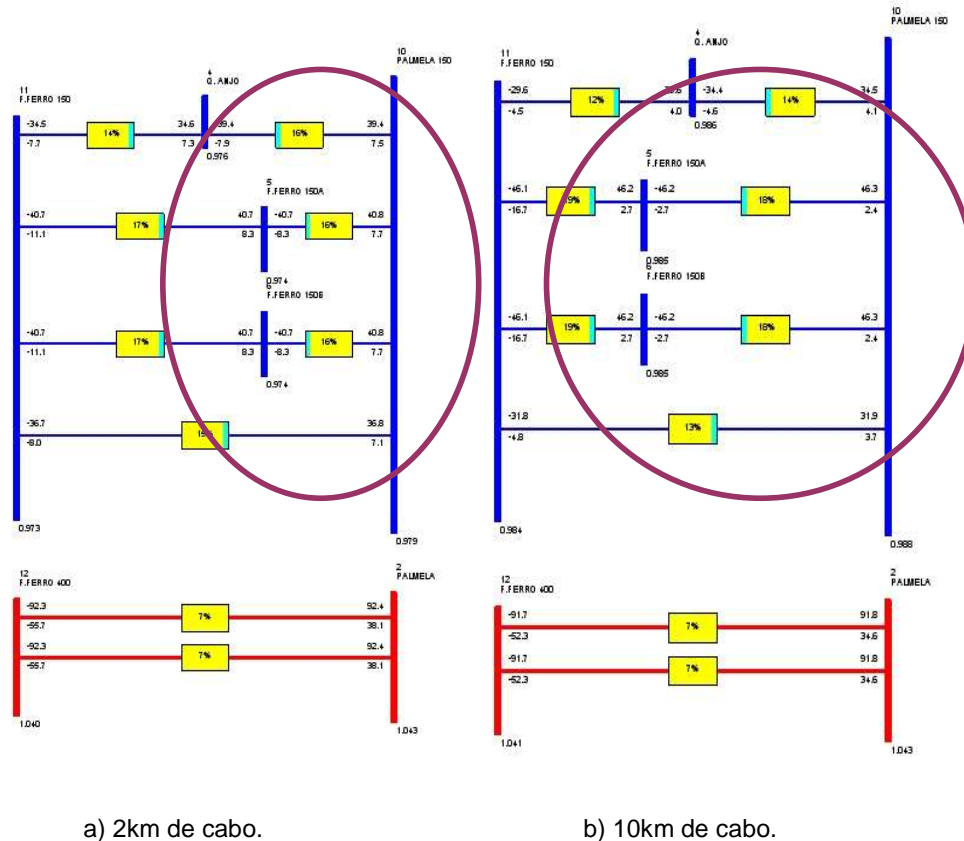


Fig. 67 - Substituição de cabo subterrâneo nos 150kV troço AB.

Com a introdução destes cabos nos 150kV, repara-se que após o trânsito de energia as linhas dos 400kV aliviam também, embora com uma variação menor à verificada nas linhas de 400kV para o caso do estudo anterior. Este facto verifica-se, pois as linhas de 400kV têm menor impedância.

De notar, igualmente, que a introdução de cabo no mesmo nível de tensão das outras linhas alivia o trânsito de energia das mesmas, isto acontece por estarem indirectamente ligadas aos mesmos barramentos, estando desta forma em paralelo e sendo que o troço com menor impedância serve de “escoamento” dessa energia.

5.1.5 Substituição de troço de cabo subterrâneo na linha CD dos 150kV.

Na figura 68, encontram-se ilustrados os resultados do trânsito de energia, para a substituição de cabo em duas situações distintas 2km e 10km. Para a zona dos 150kV CD.

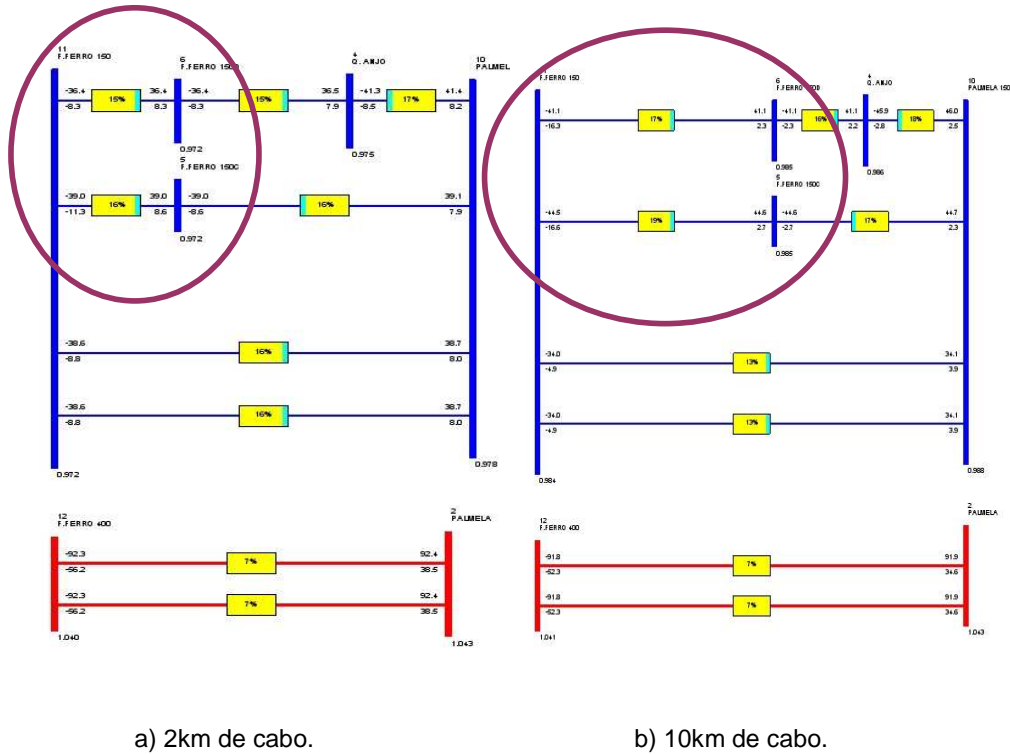


Fig. 68 - Substituição de cabo subterrâneo nos 150kV troço CD.

As conclusões tiradas para este caso são em tudo semelhantes ao caso anterior. Ao substituir partes da linha por cabos diminui a impedância global dessa linha originando, que quando este está em paralelo com outras linhas, passa a ser a mais privilegiada para esse transporte. O que se conclui que em caso de sobrecarga de uma das linhas se a mesma não puder ser substituída, então é preferível fazer a substituição de outra linha no mesmo nível de tensão.

5.1.6 Variações dos níveis de Tensão nos barramentos.

Após as simulações no programa PSS/E, observou-se a evolução dos valores de tensão em cada barramento e desenvolveu-se uma tabela de resumo com esses dados.

Os barramentos 5 e 6 foram barramentos fictícios criados para simular, no programa, o barramento de transição de linha aérea para cabo subterrâneo, pelo que os mesmos não aparecem nesta tabela pois dependendo do caso de estudo a sua posição física no diagrama mudaria, sendo que no caso Base estes barramentos não existem.

Os resultados obtidos encontram-se indicados na tabela 5.

Tabela 5 - Nível de tensão em cada barramento [pu].

Caso de Estudo	km de Cabo	Tensão no Barramento [pu]									
		1-Setubal 400	2- Palmela 400	3-Setubal 150	4- Q. Anjo 150	7- Foqueteiro	8-M. Caparica	9-F.Ferro 60	10-Palmela 150	11-F.Ferro 150	12-F.Ferro 400
Base	0	1,0500	1,0427	0,9741	0,9738	0,9704	0,9698	0,9578	0,9774	0,9706	1,0398
400kV	2	1,0500	1,0435	0,9754	0,9751	0,9718	0,9711	0,9594	0,9786	0,9719	1,0418
400kV	4	1,0500	1,0444	0,9766	0,9764	0,9730	0,9724	0,9609	0,9799	0,9732	1,0437
400kV	6	1,0500	1,0452	0,9778	0,9776	0,9743	0,9736	0,9624	0,9811	0,9744	1,0454
400kV	8	1,0500	1,0461	0,9790	0,9788	0,9755	0,9748	0,9637	0,9822	0,9756	1,0469
400kV	10	1,0500	1,0469	0,9801	0,9799	0,9766	0,9760	0,9650	0,9833	0,9768	1,0483
150kV AB	2	1,0500	1,0428	0,9762	0,9762	0,9731	0,9724	0,9600	0,9795	0,9732	1,0400
150kV AB	4	1,0500	1,0430	0,9795	0,9798	0,9770	0,9764	0,9632	0,9827	0,9771	1,0402
150kV AB	6	1,0500	1,043	0,9805	0,9809	0,9783	0,9777	0,9643	0,9837	0,9784	1,0403
150kV AB	8	1,0500	1,0432	0,9826	0,9833	0,9809	0,9803	0,9664	0,9858	0,9810	1,0405
150kV AB	10	1,0500	1,0433	0,9848	0,9857	0,9834	0,9828	0,9685	0,988	0,9836	1,0407
150kV CD	2	1,0500	1,0428	0,9762	0,9761	0,9730	0,9724	0,9600	0,9795	0,9732	1,0400
150kV CD	4	1,0500	1,0429	0,9783	0,9784	0,9757	0,9750	0,9621	0,9816	0,9758	1,0402
150kV CD	6	1,0500	1,0430	0,9805	0,9807	0,9783	0,9776	0,9642	0,9837	0,9784	1,0403
150kV CD	8	1,0500	1,0432	0,9826	0,9831	0,9808	0,9802	0,9664	0,9858	0,9810	1,0405
150kV CD	10	1,0500	1,0433	0,9848	0,9855	0,9834	0,9827	0,9684	0,988	0,9835	1,0407

A evolução dos valores em pu das tensões encontram-se ilustrados nas figuras 69 a 77.

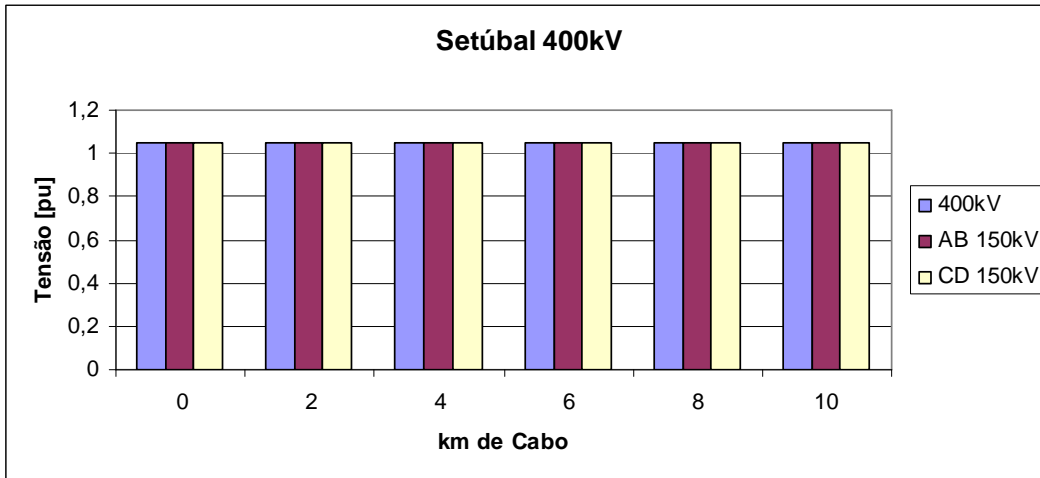


Fig. 69 - Evolução da tensão no barramento Seúbal 400kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

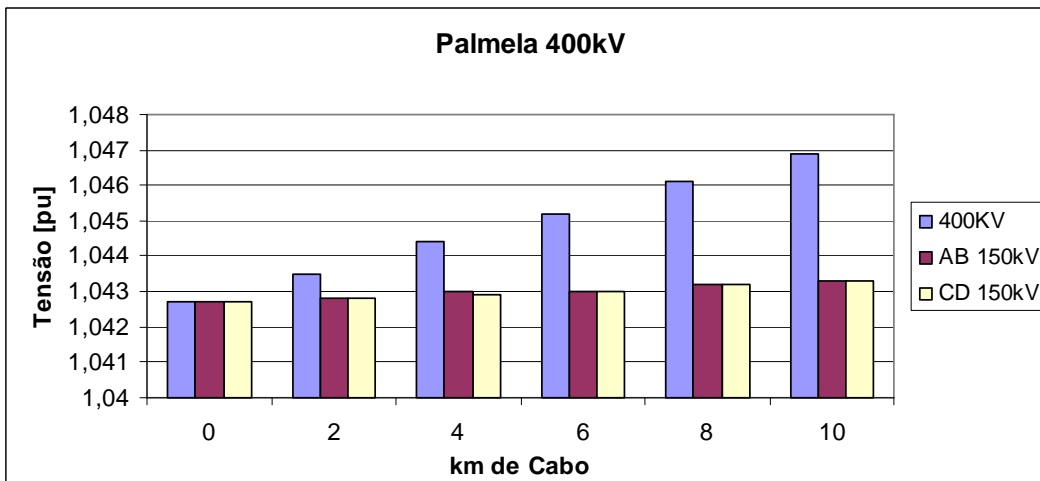


Fig. 70 - Evolução da tensão no barramento Palmela 400kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

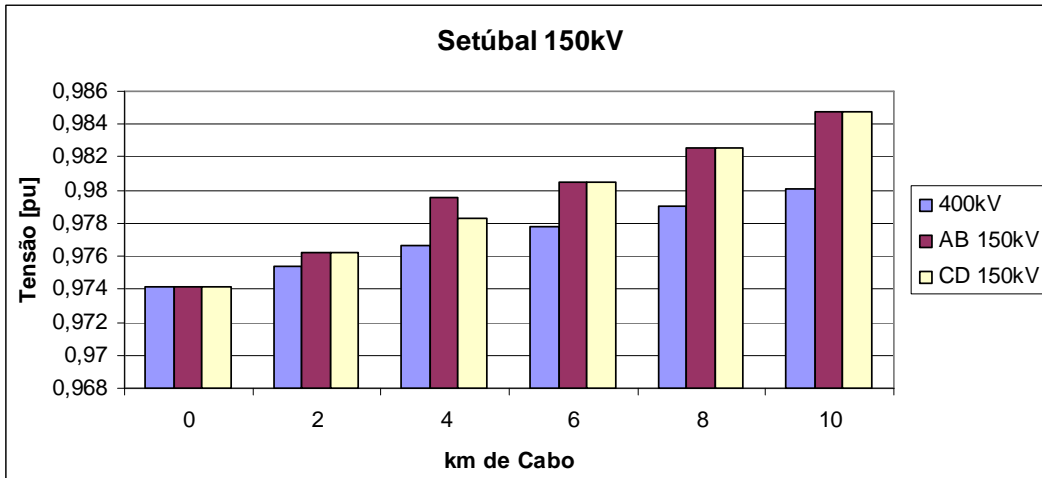


Fig. 71 - Evolução da tensão no barramento Setúbal 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

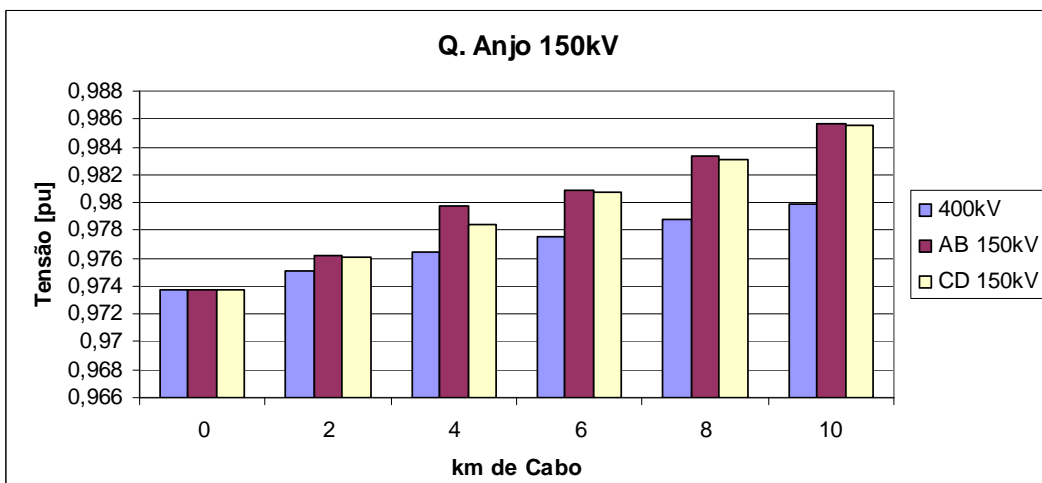


Fig. 72 - Evolução da tensão no barramento Q. Anjo 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

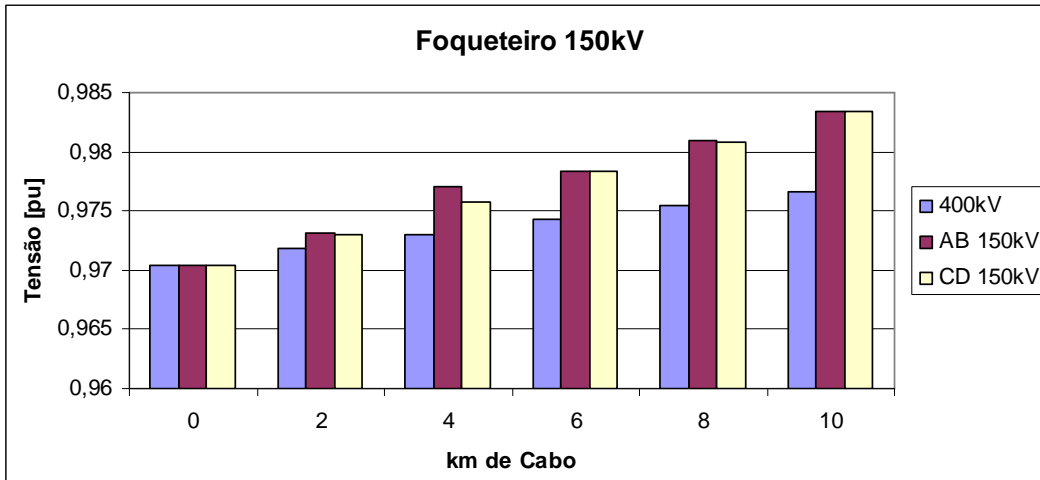


Fig. 73 - Evolução da tensão no barramento Foqueteiro 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

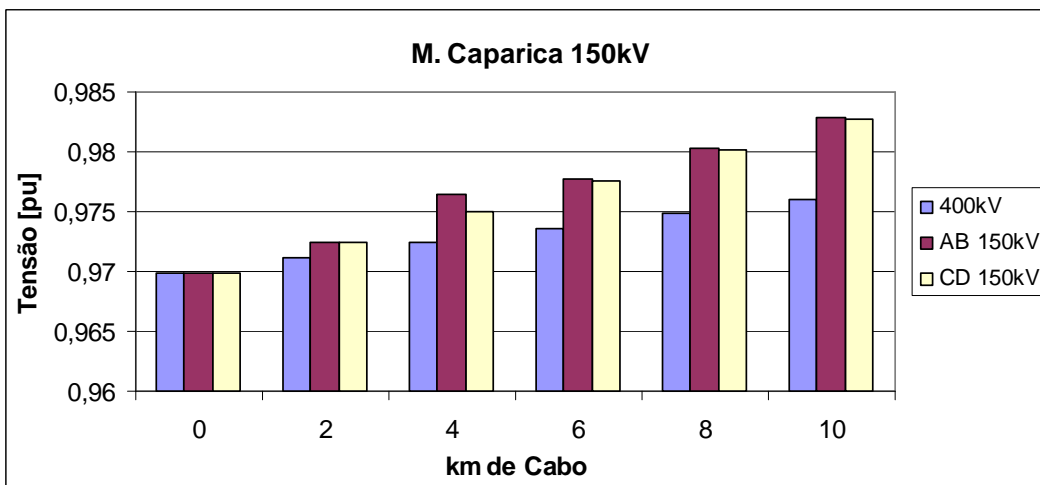


Fig. 74 - Evolução da tensão no barramento M. Caparica 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

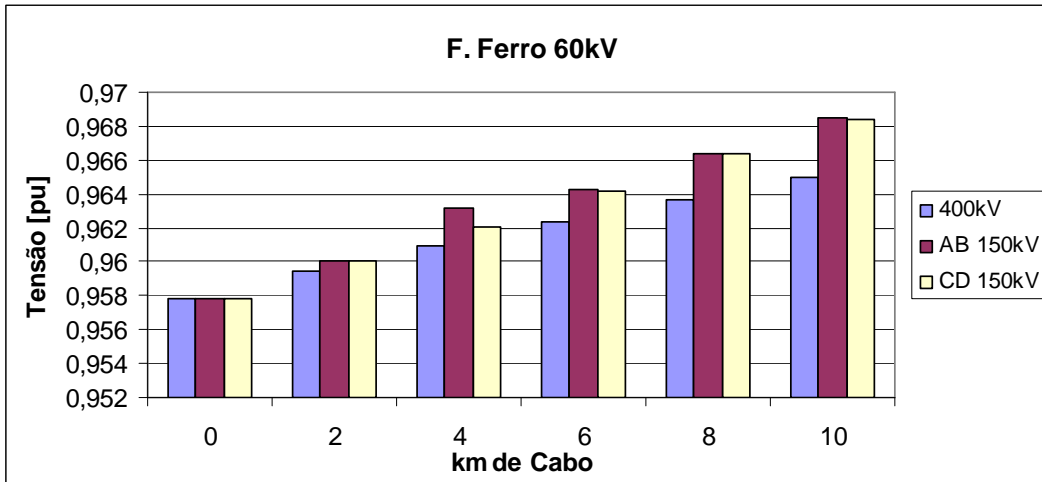


Fig. 75 - Evolução da tensão no barramento F. Ferro 60kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

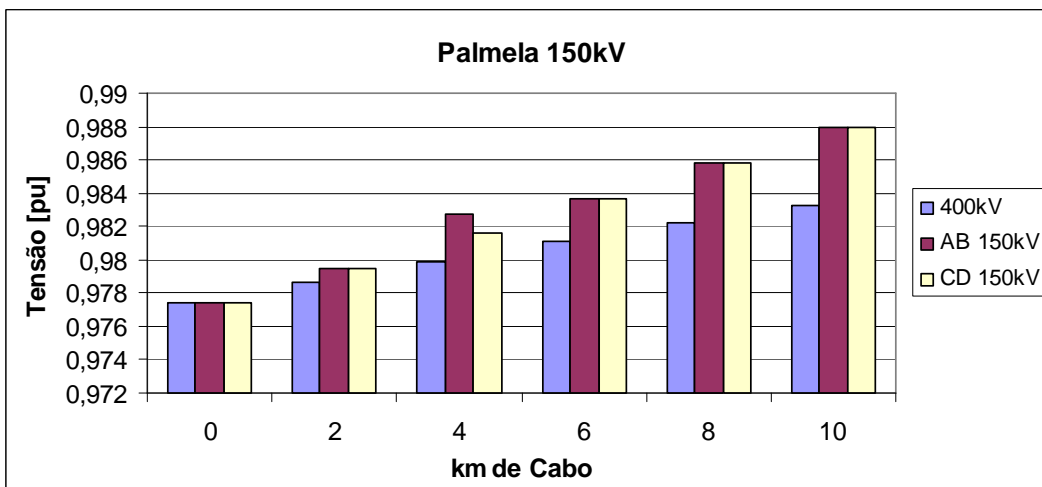


Fig. 76 - Evolução da tensão no barramento Palmela 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

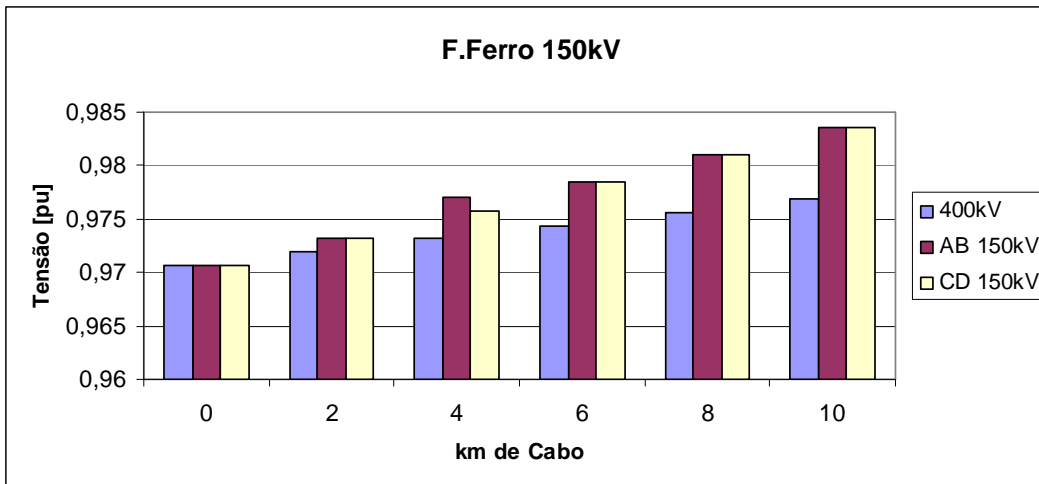


Fig. 77 - Evolução da tensão no barramento F. Ferro 150kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

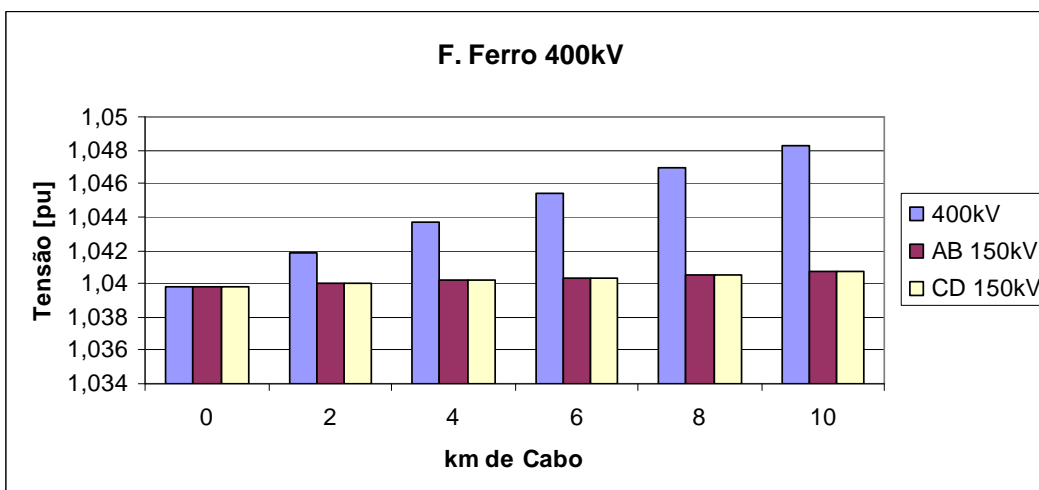


Fig. 78 - Evolução da tensão no barramento 12- F. Ferro 400kV, com a introdução de cabo com comprimento a variar até 10km.

Como podemos verificar, a introdução de cabo subterrâneo provoca um aumento do valor em módulo da tensão em cada barramento.

No caso dos barramentos Setúbal 150kV, Q. Anjo 150kV, Foqueteiro 150kV, M. Caparica 150kV, Palmela 150kV e F. Ferro 150kV, sendo que são barramentos de com o mesmo nível de tensão, era de esperar que tivessem resultados mais relevantes com a introdução de cabo no nível de tensão 150kV. O que se verificou, e sempre muito mais marcante essa substituição no troço AB dos 150kV. Outro pormenor interessante, advém do facto de quando se efectua a substituição de 4km de cabo no troço AB a elevação de tensão, comparativamente com os outros casos de km de cabo, é bastante superior.

Relativamente aos barramentos Palmela 400kV e F. Ferro 400kV, sendo a 400kV a situação mantém-se semelhante ao caso dos 150kV, uma substituição no mesmo nível de tensão origina uma variação de tensão mais sensível à introdução de cabo.

5.1.7 Perdas eléctricas activas.

Após o primeiro estudo e tendo acesso aos relatórios para cada cenário possível, retirou-se os dados das perdas activas da rede em função do comprimento de cabo subterrâneo que se substituiu na linha aérea, para cada um dos casos estudados. Esses dados encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Perdas activas, da rede em função do comprimento de cabo subterrâneo que se substituiu a linha aérea para cada um dos casos estudados.

Caso de estudo	km de Cabo	Perdas activas (MW)
Base	0	5
400kV	2	4,9
400kV	4	4,8
400kV	6	4,7
400kV	8	4,7
400kV	10	4,7
150kV AB	2	4,9
150kV AB	4	4,9
150kV AB	6	4,8
150kV AB	8	4,8
150kV AB	10	4,8
150kV CD	2	5
150kV CD	4	4,9
150kV CD	6	4,8
150kV CD	8	4,8
150kV CD	10	4,8

Como se pode verificar, as perdas activas globais do sistema, vão diminuindo com a substituição da linha aérea por cabo subterrâneo.

A variação dessas perdas é mais marcante quando essa alteração é feita ao nível dos 400kV, pois estes cabos possuem uma resistência inferior às linhas para a mesma tensão. Para melhor visualização dessa variação, encontra-se na figura 79 a comparação entre a substituição do cabo nos 400kV ou no troço 150kV AB.

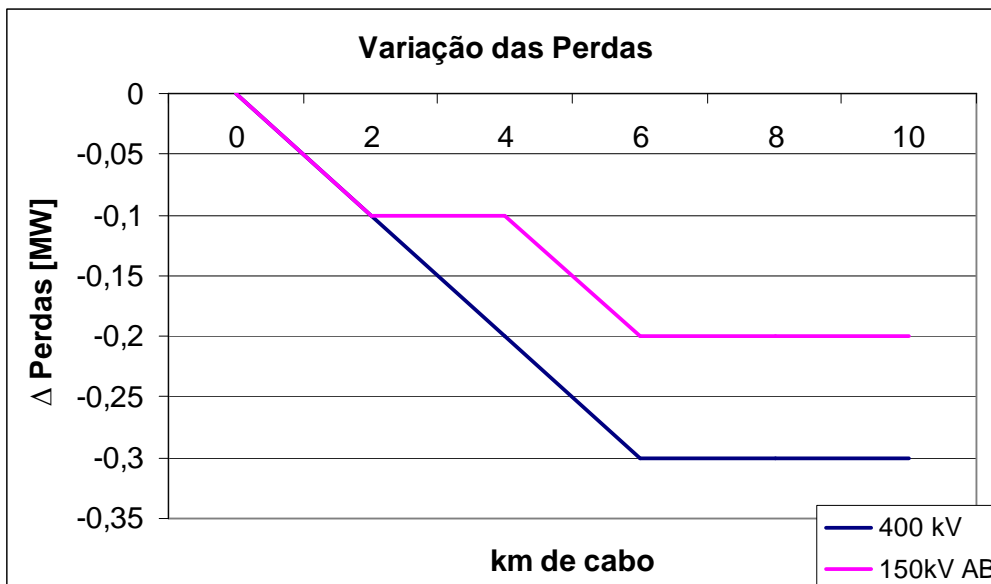


Fig. 79 - Variação das perdas com a introdução de cabo subterrâneo nos troços 400kV e 150kV AB.

Como primeira análise, seríamos levados a pensar que se no futuro o objectivo fosse reduzir as perdas activas deste sistema, compensaria mais efectuar a substituição ao nível dos 400kV. Mas segundo dados internacionais, a variação de custos entre um projecto de cabos subterrâneos de 150kV e 400kV é cerca de 3 vezes superior, pelo que para se poder tomar uma decisão correcta será necessário saber quantos quilómetros de cabo serão substituídos e qual o nível que compensaria mais.

5.2 Impacte ao nível das correntes de curto-circuito.

Para o transporte de energia, a escolha entre cabos e linhas pode ser determinante, pois as características eléctricas dos cabos subterrâneos são distintas das características eléctricas das linhas aéreas.

A indutância de um sistema trifásico de condutores, isolados ou não, é directamente proporcional ao logaritmo da distância entre condutores. Em virtude do espaçamento entre condutores de uma linha aérea ser consideravelmente superior ao espaçamento entre condutores de um cabo isolado, a indutância de uma linha aérea tem um valor superior à indutância de um cabo.

A capacidade de um sistema trifásico de condutores é função do espaçamento entre condutores, do espaçamento entre estes e a terra e da constante dieléctrica do meio isolante. Nos cabos isolados o espaçamento entre condutores e entre condutores e bainhas é relativamente pequeno e a constante dieléctrica do isolador é superior à do ar, pelo que a capacidade de um cabo é consideravelmente superior à capacidade de uma linha aérea.

Logo existe uma variação da impedância entre cabos e linhas aéreas, originando que a sua substituição, altere o valor das correntes de curto-circuito trifásicas simétricas em cada barramento.

5.2.1 Cálculo da variação do curto-circuito trifásico simétrico franco.

Para o cálculo da variação do curto-circuito trifásico simétrico franco utilizei a seguinte expressão:

$$I_{CC_{TSf\%}a} = \frac{\overline{I_{CC_{TSf}a}} - \overline{I_{CC_{TSf}Ba}}}{\overline{I_{CC_{TSf}Ba}}} \quad (\%) \quad (\text{eq. 23})$$

Em que:

- $I_{CC_{TSf\%}a}$, é a percentagem da variação do módulo, da corrente de C.C. trifásica simétrica franca, no barramento "a";
- $I_{CC_{TSf}a}$, é o módulo da corrente de C.C trifásica simétrica francano barramento "a";
- $I_{CC_{TSf}Ba}$, é o módulo do valor base da corrente de C.C trifásica simétrica franca, no barramento "a".

Os valores obtidos para a variação do C.C. trifásico simétrico franco, em cada barramento encontra-se representado na figura 80.

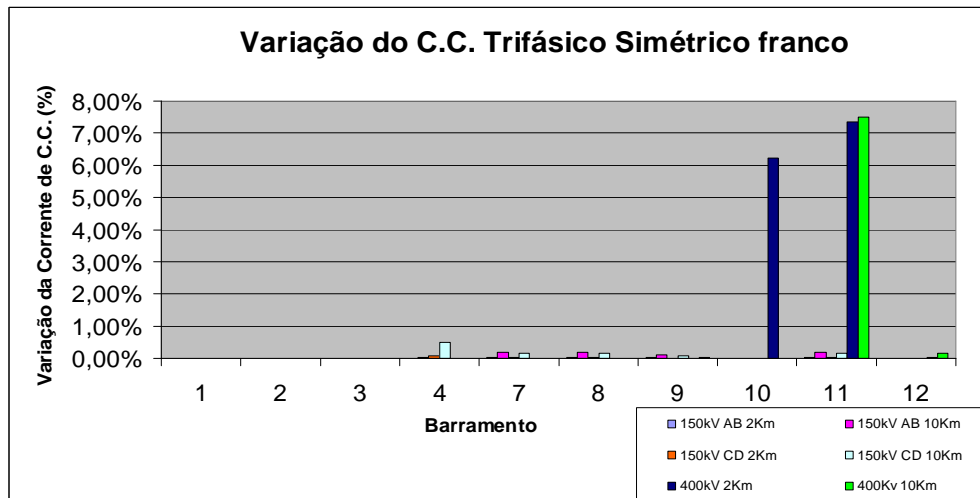


Fig. 80 - Variação do C.C. Trifásico Simétrico franco com a substituição de troços de linha aérea por cabos de MAT, para os vários barramentos.

Como podemos verificar a introdução de cabos subterrâneos aumenta as correntes de c.c. em alguns barramentos.

A introdução de cabo pode originar um custo acrescido ao projecto, pois é possível originar a troca dos aparelhos de corte das subestações, que estão interligadas a linhas que são objecto da substituição.

5.3 Aplicação.

5.3.1 Rácio $\Delta\text{Perdas}/\Delta\text{Custo}$ com o aumento do comprimento do cabo.

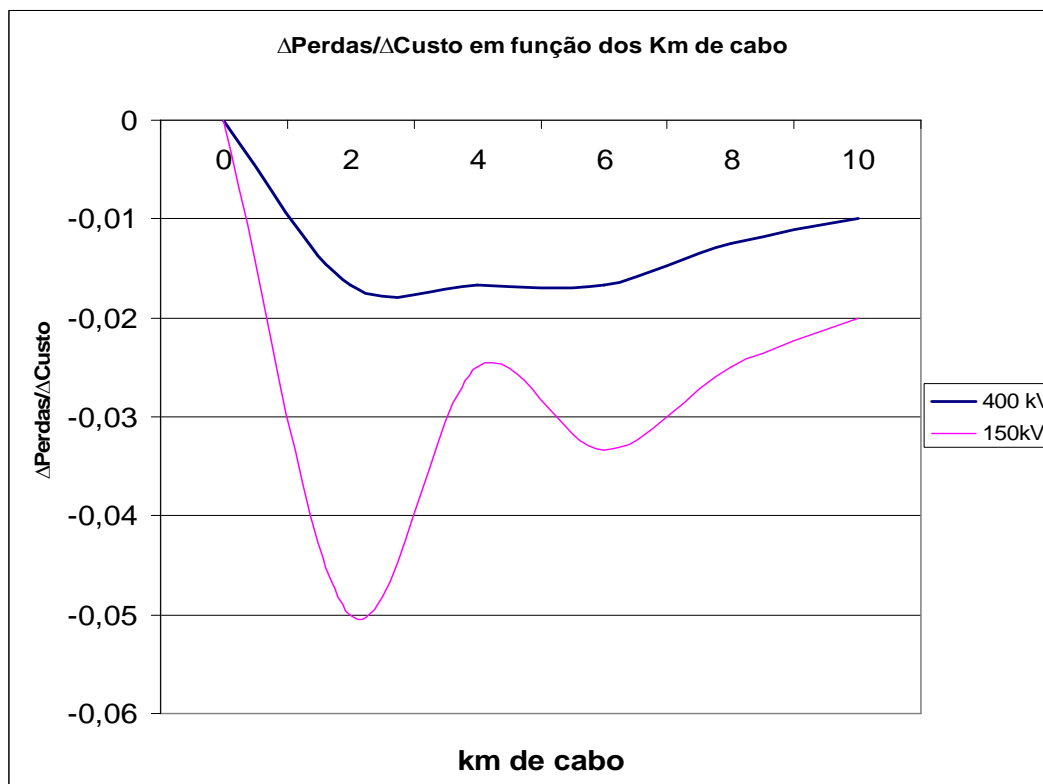


Fig. 81 - Variação das perdas por variação de custos de projecto, com a substituição de km de linha aérea por cabo subterrâneo.

Sendo a variação das perdas mais marcante quando ocorre a substituição de cabo ao nível dos 400kV, no futuro, caso fosse necessário reduzir as perdas globais do sistema, o responsável pelo projecto poderia ser levado a pensar que esse seria o melhor investimento para soluções a curto prazo, o que não seria a solução ideal segundo estas condições.

Como podemos verificar a variação das perdas por custo de projecto, é muito mais benéfica ao nível dos 150kV, dado que se consegue uma maior variação quando actuamos neste nível de tensão. Em ambos os casos, o óptimo global será a substituição de 2km de cabo.

Quanto maior for o comprimento de substituição, menor vai ser a variação por custo.

Outro pormenor a ter atenção é o facto de que neste caso, a substituição de 4km é um caso pouco benéfico, pois a variação do ponto anterior para este possui um grande declive, e este, nestas condições é um mínimo local. Por outro lado, como vimos anteriormente para o caso 150kV AB, quando substituíamos 4km de cabo, para os barramentos com o mesmo nível de tensão a evolução desta era melhor comparativamente com os outras substituições, logo, caso o objectivo fosse uma situação de compromisso entre aumento de tensão num determinado

barramento e diminuição de perdas globais, outro tipo de função para auxílio de decisão teria que ser criada respectiva a cada barramento.

5.3.2 Componente arqueológica.

Após o estudo inicial e trabalhando novamente no traçado dos 400kV e no circuito 150kV AB, traçou-se esses dois circuitos num mapa e com o auxílio do site do Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR) [12], pesquisou-se e introduziu-se no mapa todos os locais considerados sensíveis e inseridos como património Português.

Caso o futuro traçado da substituição de linha para cabo coincidissem com esses traçados, o que por norma o Instituto de Gestão do Património Arquitectónicos Arqueológico, IP (IGESAR) aquando do estudo de impacte ambiental ou de incidências, exigiria que esse traçado seja colocado a mais de 50m desse local.

Só com uma localização geográfica poderia ter essa percepção.



Fig. 82 - Localização geográfica dos sítios arqueológicos considerados como património nacional.

Após a colocação dos locais sensíveis no mapa considerou-se um raio de 2km em redor do traçado existente da linha

No futuro, caso houvesse a necessidade de substituir a linha por cabo, não fazia muito sentido alterar muito o comprimento actual do circuito, com um desfasamento superior a 2km do traçado existente, pois isso poderia originar a mudança das aparelhagens que interligam as linhas nas subestações.

Em Portugal os comprimentos para projectos de cabos subterrâneos de MAT rondam os 10km, desta forma, os ensaios no programa tomaram esse valor como máximo. Tendo estas linhas aproximadamente 20km teve que se efectuar 2 traçados distintos.

Desta forma à medida que avançava em km no traçado efectuava o registo de quantos achados coincidiam dentro do raio de 2km.

Os resultados obtidos para os achados arqueológicos verificados para um raio de 2km nos dois traçados considerados encontram-se de seguida na figura 83 e 84.

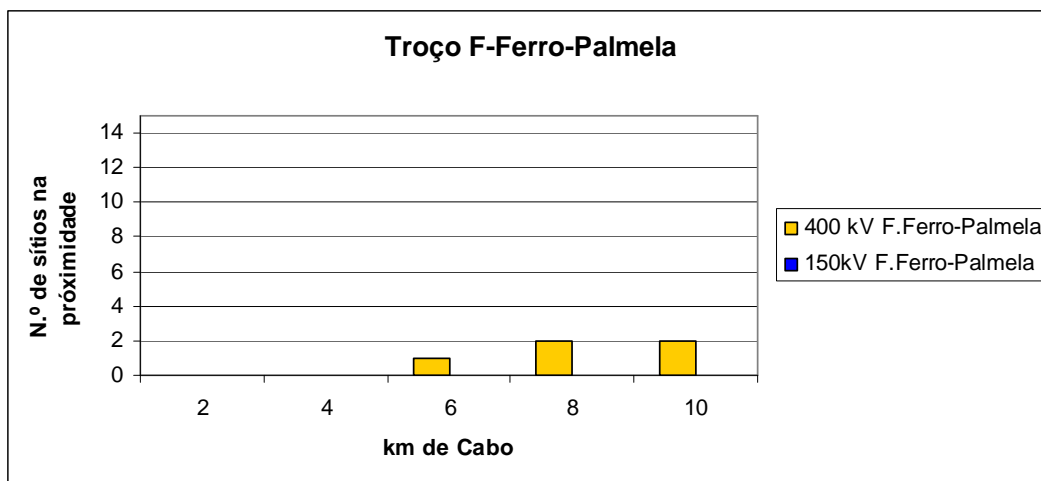


Fig. 83 - Achados arqueológicos verificados para um raio de 2km, no traçado F.Ferro-Palmela.

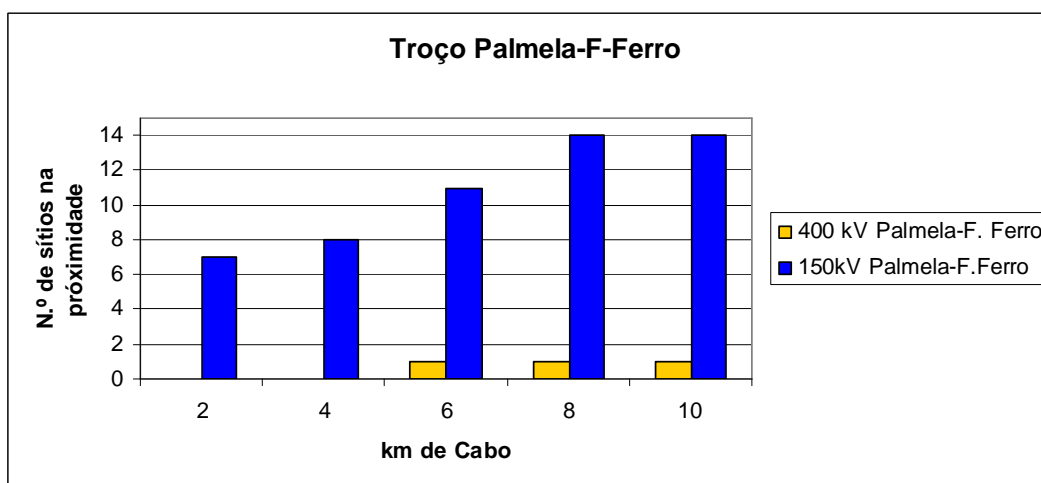


Fig. 84 - Achados arqueológicos verificados para um raio de 2km, no traçado Palmela-F.Ferro.

Com isto conclui-se que o local da substituição de linha para cabo não é indiferente.

Se o traçado tiver a sua origem em F. Ferro, a mudança da linha de 400kV é menos benéfica, pois é a única que contém achados na sua proximidade.

Por outro lado, se o traçado começar em Palmela, os 150kV passam a ser a pior situação, devido à existência de mais achados na sua periferia.

5.3.3 Componente ambiental.

À semelhança da arqueologia, para a parte ambiental fez-se um levantamento das zonas sensíveis na proximidade da linha. Os resultados encontram-se ilustrados na figura 85.

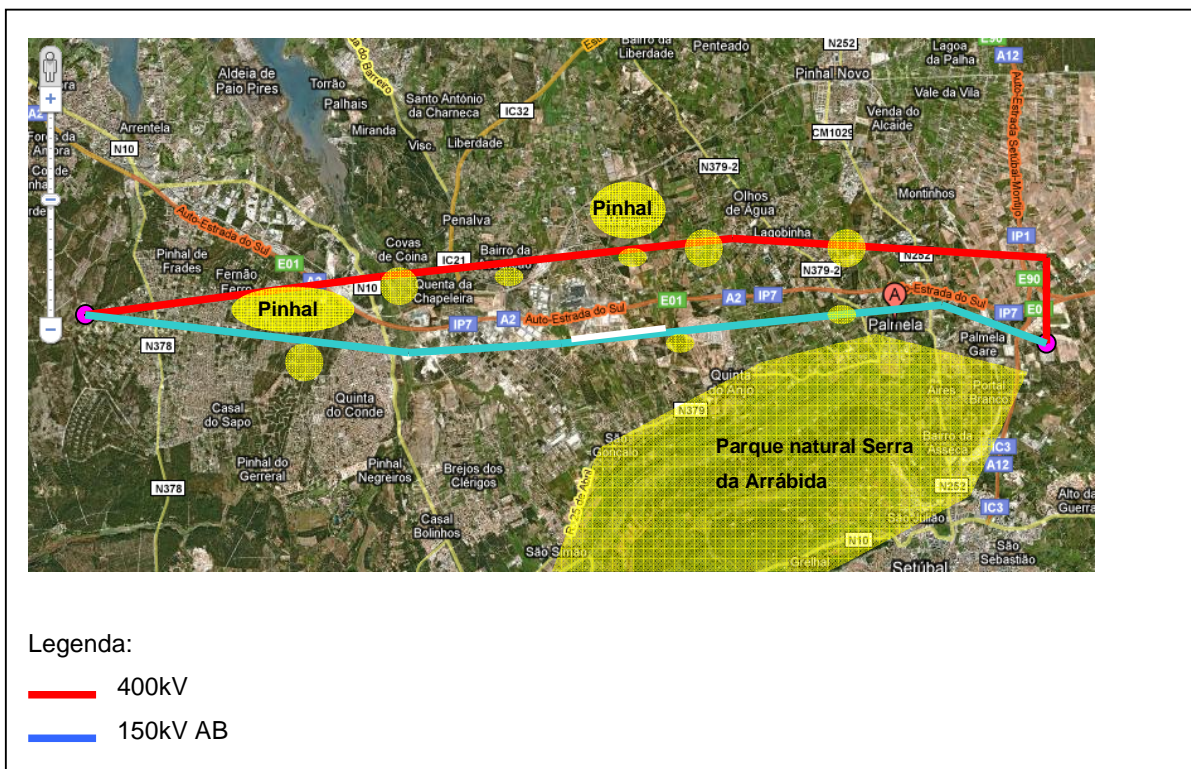


Fig. 85 - Localização geográfica dos sítios ambientais sensíveis mais relevantes.

De todos os sítios indicados no mapa, o Parque natural da Arrábida, destaca-se de todos os outros, pois é considerado um local ambiental de extrema sensibilidade e tem força legislativa para tal, tais como:

- Decreto-Lei n.º 622/76, de 28 de Julho: cria o Parque Natural da Arrábida;
- Através do Decreto n.º 55/71, de 16 de Agosto, já tinha sido criada a Reserva da Serra da Arrábida;
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/97, de 28 de Agosto: cria o Sítio “Arrábida - Espichel” (proposto para Sítio de Importância Comunitária - SIC - rede Natura 2000);
- Rede de Reservas Biogénicas do Conselho da Europa: “Serra da Arrábida” (área actualmente integrada no Sítio “Arrábida - Espichel” - rede Natura 2000).

Efectuou-se então, o registo dos sítios que estavam coincidentes com o raio de 2km.

O resumo é apresentado em seguida, para os dois traçados nas figuras 86 e 87.

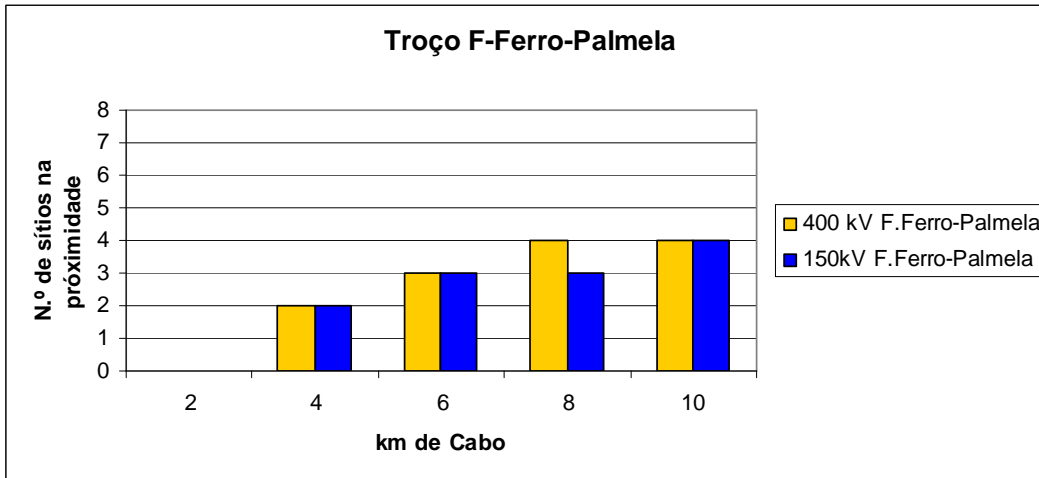


Fig. 86 - Achados ambientais verificados para um raio de 2km, no traçado F.Ferro-Palmela.

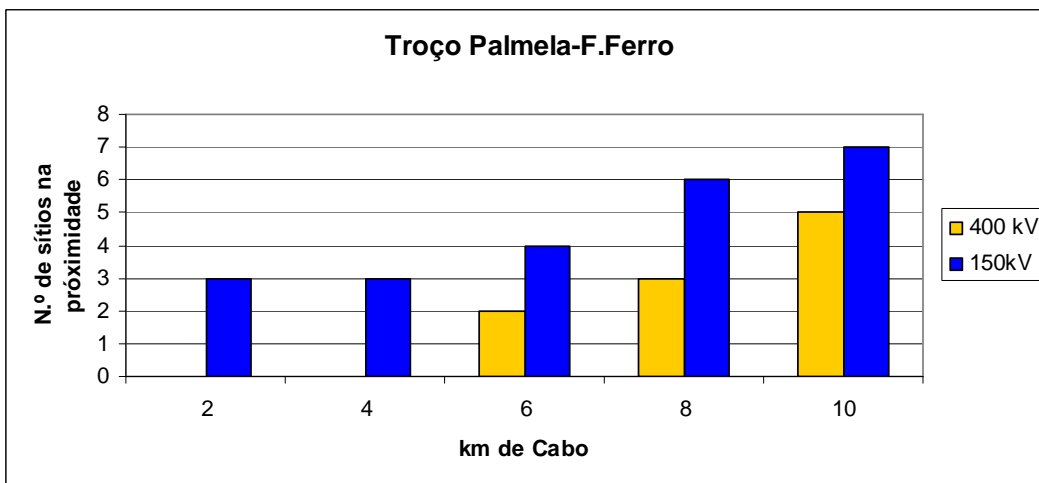


Fig. 87 - Achados ambientais verificados para um raio de 2km, no traçado Palmela-F.Ferro.

À semelhança com a parte de arqueologia, o sítio geográfico dessa substituição não é indiferente.

Se o traçado tiver início em F. Ferro as duas linhas irão ser quase semelhantes à excepção do km 8, que no traçado dos 400kV irá coincidir com mais um achado.

Por sua vez, se o traçado tiver como origem Palmela, a pior situação será os 150kV pois a sua periferia intersecta com mais achados.

5.3.4 Estudo Final.

Para se poder aceder à informação mais facilmente no que diz respeito, quais as linhas que estão a ser substituídas, junto apresento novamente a figura representativa das linhas de transporte, com os respectivos nomes.

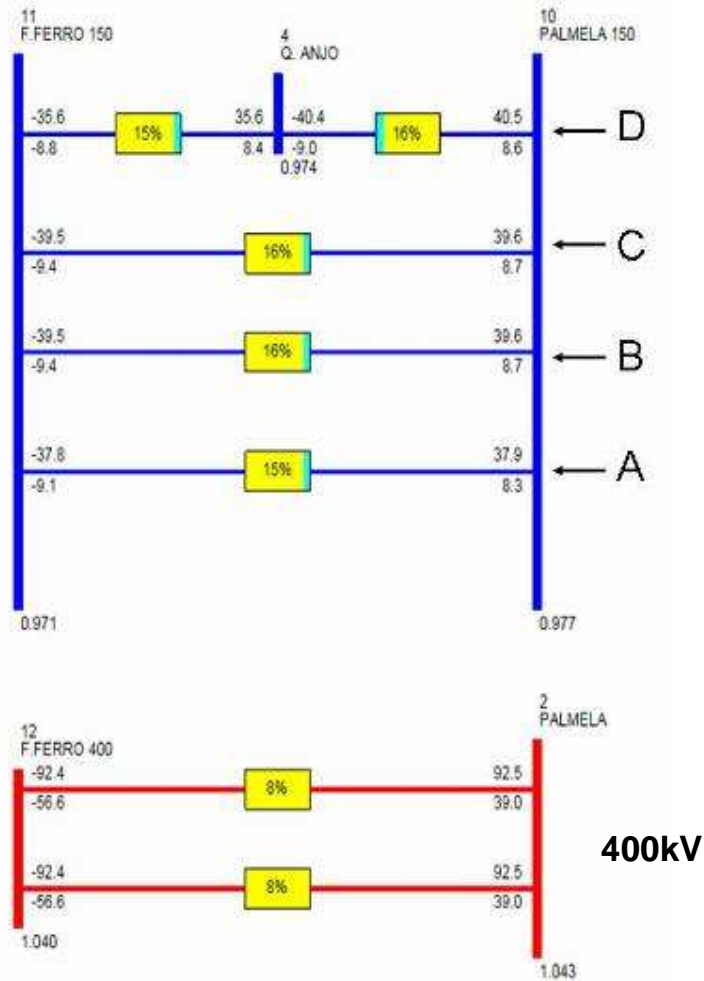


Fig.65 - Linhas usadas na substituição linha aérea por cabo.

Sabendo que as linhas eléctricas têm cada uma aproximadamente 20km, origina os mesmos resultados, na parte eléctrica, quando se substitui 10km em cabo subterrâneo.

Para a parte de arqueologia e ambiente, esta situação muda, pois a introdução de cabo poderá estar, ou não, na proximidade de uma zona sensível o que poderá representar um custo acrescido para a instalação.

O resumo dos sítios encontrados à medida que se aumentava o comprimento do cabo encontra-se nas tabelas seguintes. Para a componente arqueológica a tabela 7 e a tabela 8 para a componente ambiental.

Tabela 7 - Sítios sensíveis para ambos os troços respectivos a Arqueologia.

		Sentido F.Ferro-Palmela	Sentido Palmela-F.Ferro
Caso de Estudo	km de Cabo	Sítios sensíveis num raio de 2km	Sítios sensíveis num raio de 2km
Base	0	-	-
400kV	2	0	0
400kV	4	0	0
400kV	6	1	1
400kV	8	2	1
400kV	10	2	1
150kV AB	2	0	7
150kV AB	4	0	8
150kV AB	6	0	11
150kV AB	8	0	14
150kV AB	10	0	14

Tabela 8 - Sítios sensíveis para ambos os troços respectivos a Ambiente.

		Sentido F.Ferro-Palmela	Sentido Palmela-F.Ferro
Caso de Estudo	km de Cabo	Sítios sensíveis num raio de 2 km	Sítios sensíveis num Raio de 2 km
Base	0	-	-
400kV	2	0	0
400kV	4	2	0
400kV	6	3	2
400kV	8	4	3
400kV	10	4	5
150kV AB	2	0	3
150kV AB	4	2	3
150kV AB	6	3	4
150kV AB	8	3	6
150kV AB	10	4	7

Tendo como base o custo de um projecto de cabos subterrâneos de 400kV três vezes superior a um projecto de 150kV, considerou-se que, num troço de 500m não fazia muito sentido um desvio maior que 75m e logicamente um acréscimo de cabo deste comprimento.

Sabendo também que se o cabo estiver na proximidade de um dos sítios arqueológicos nomeados neste trabalho, no futuro caso o traçado do cabo estiver proposto passar nesse

espaço, a parte arqueológica do projecto, tentaria sensibilizar o dono do projecto para evitar este local e sendo estes casos bastante sensíveis, iria resultar muito provavelmente na alteração do traçado, o que representaria um aumento do custo associado ao projecto.

Em relação à parte ambiental se o futuro traçado tivesse também coincidência com os sítios nomeados, tentava minimizar-se o dano que este tipo de obra encarta, mas a alternativa do traçado seria na proximidade, ou seja, o desvio do cabo previsível seria menor.

Com isto, considerou-se os sítios arqueológicos originários de um maior desvio, e como foi dito anteriormente, não mais que 75m em 500m, ou seja, 15%. Considerando desta forma, metade, para um desvio causado pela parte ambiental, ou seja, 7,5%.

Após o cálculo os custos totais agora com as parcelas ambientais e arqueológicas inseridas, conseguiu-se demonstrar o efeito destes custos, na variação das perdas por custo, anteriormente apresentadas, com o aumento do comprimento do cabo.

Os custos respectivos para cada traçado e para cada nível de tensão estudado apresenta-se em seguida entre as figuras 88 e 91.

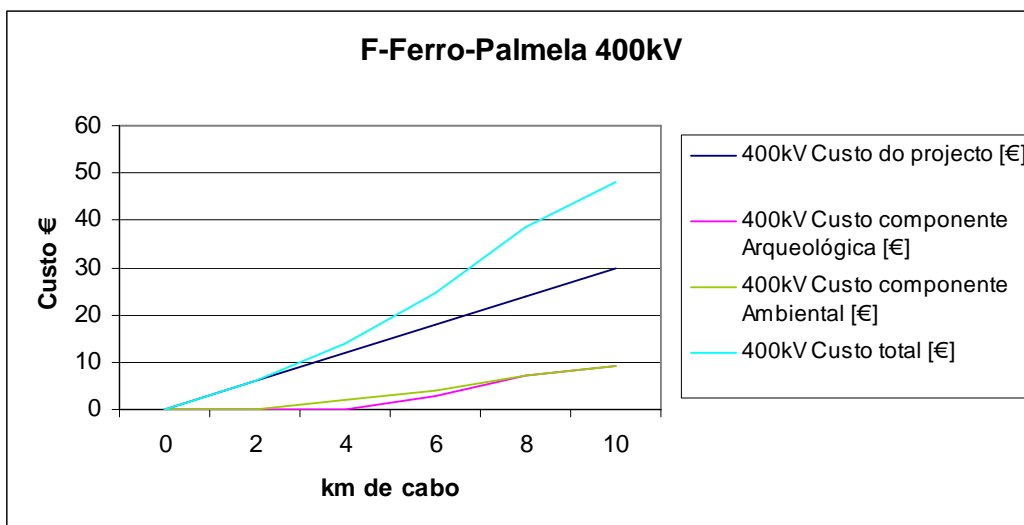


Fig. 88 - Incrementos de custos, para o troço F.Ferro-Palmela, no nível de tensão 400kV.

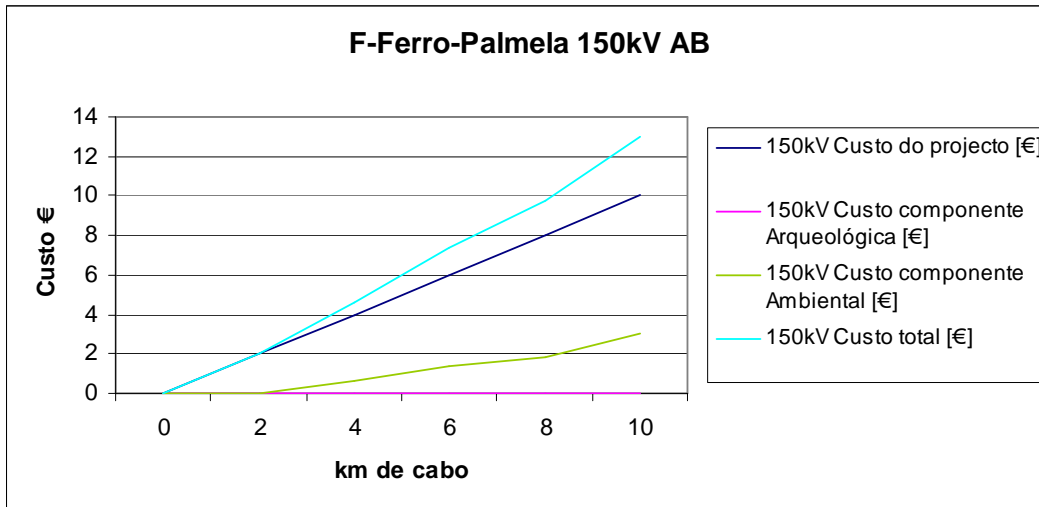


Fig. 89 - Incrementos de custos, para o troço F.Ferro-Palmela, no nível de tensão 150kV.

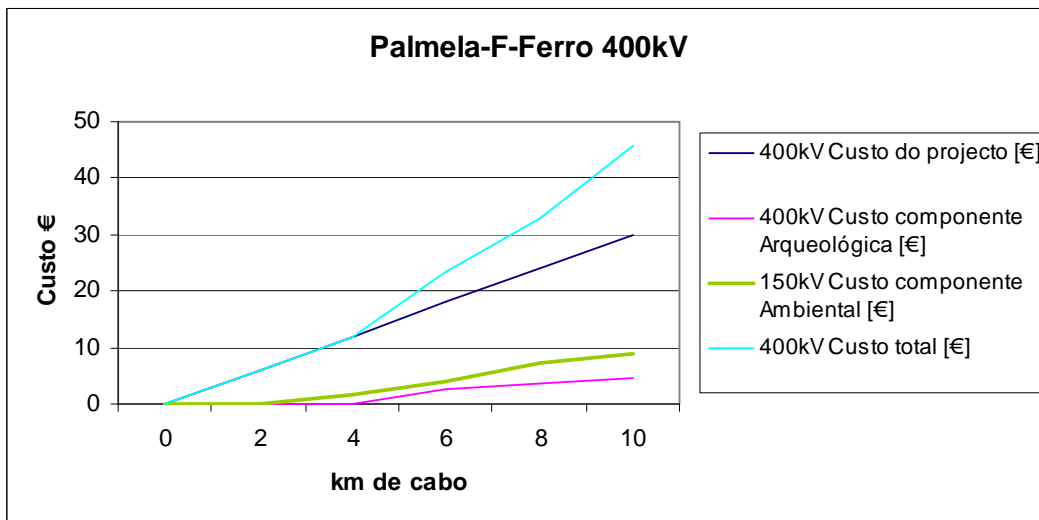


Fig. 90 - Incrementos de custos, para o troço Palmela-F.Ferro, no nível de tensão 400kV.

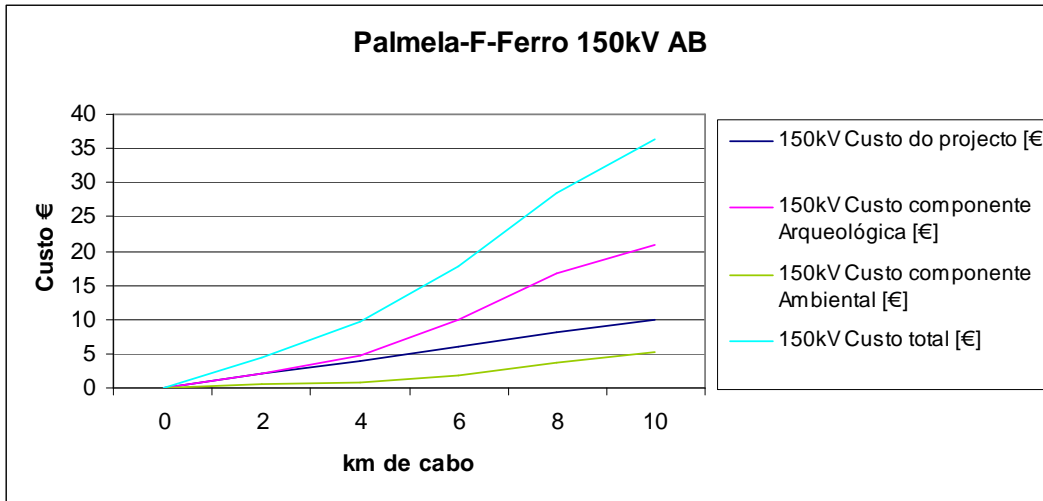


Fig. 91 - Incrementos de custos, para o troço Palmela-F.Ferro, no nível de tensão 150kV.

Após o cálculo destes custos, aplicou-se os mesmos à curva anteriormente apresentada na figura 81, mostrando desta forma a importância da arqueologia e do ambiente neste tipo de projectos.

5.3.4.1 Troço F.Ferro-Palmela.

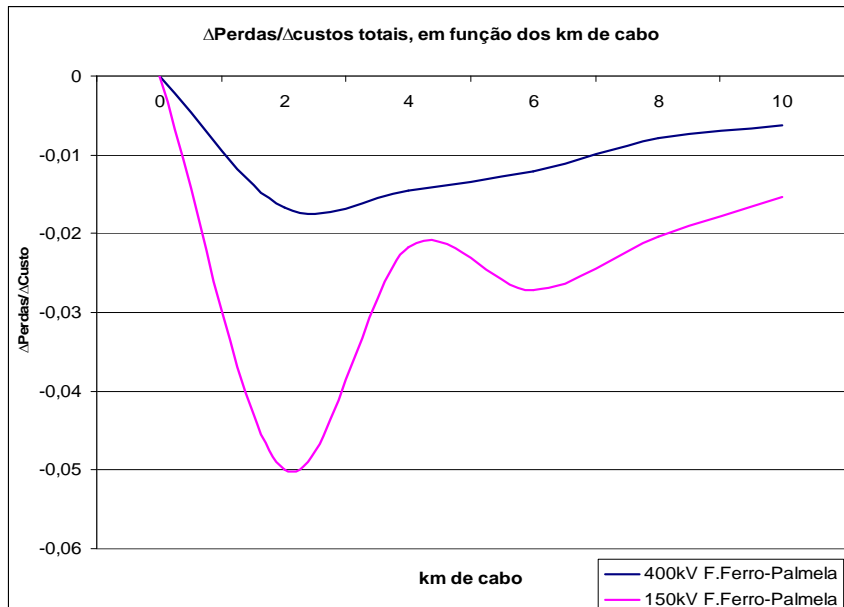


Fig. 92 - Variação das perdas por variação de custos total de projecto, com a substituição de km de linha aérea por cabo subterrâneo, para o troço F.Ferro-Palmela, incluindo as componentes ambiental e arqueológica.

5.3.4.2 Troço Palmela-F.Ferro.

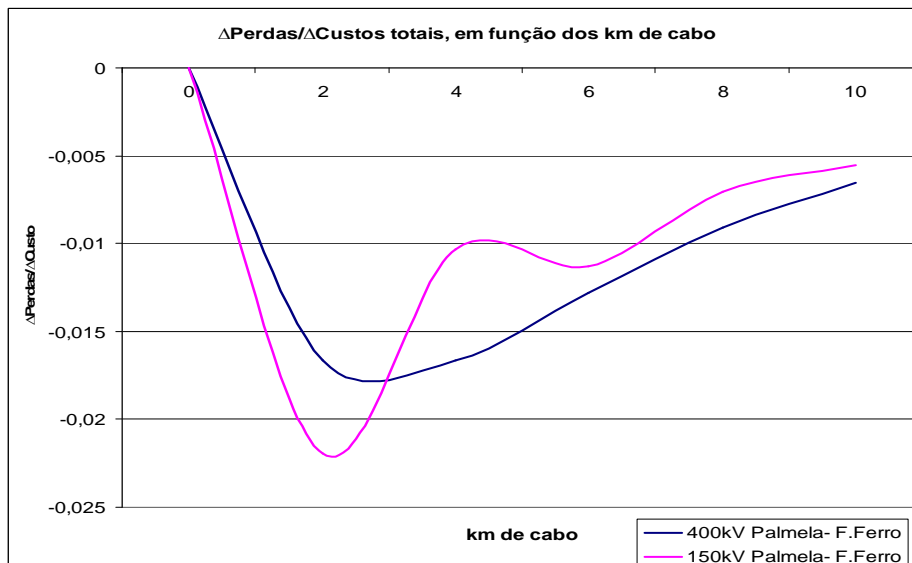


Fig. 93 - Variação das perdas por variação de custos total de projecto, com a substituição de km de linha aérea por cabo subterrâneo, para o troço Palmela-F.Ferro, incluindo as componentes ambiental e arqueológica.

5.3.5 Conclusão.

Com o resultado anterior conseguiu-se ter a percepção que, para a parte eléctrica é indiferente a parte geográfica do troço em que é feita a substituição de linha aérea para cabo subterrâneo. Quando estamos na presença de partes importantes do projecto como a arqueologia e o ambiente, a localização desse troço, pode ser decisiva num possível desvio do traçado do cabo, o que por sua vez resulta num custo suficientemente decisivo para originar a alteração dessa substituição.

Conclui-se, também, que com este tipo de análise podem evitar-se custos adicionais que a parte responsável de projecto não contemplou, pois se numa fase de ante-projecto o acesso às restrições de cada elemento, parte eléctrica, ambiental e arqueológica for acessível, a tabela de base para a decisão de custo é mais correcta, com uma maior probabilidade, também, de na parte do estudo de impacte ambiental, o mesmo não ser penalizado com traçados não previstos anteriormente, podendo conduzir a traçados relativamente maiores do que os originais.

Capítulo VI - Conclusão.

Neste capítulo são apresentadas as conclusões principais do trabalho e indicados os principais contributos. São igualmente apresentadas propostas de linhas de orientação para trabalho futuro.

6.1 Conclusões principais.

Após este estudo concluí-se que os impactes causados na substituição de troços de linhas aéreas para cabos subterrâneos abrangem vários níveis.

Numa primeira análise, a passagem de uma linha existente para cabo de MAT só é efectuada devido a uma externalidade, que pode passar, por exemplo, por um impacte visual causado pelas linhas. Estas passagens originam custos, que aumentam com a extensão considerada para a substituição.

Estes projectos, como podemos concluir, têm diferenças entre as tecnologias empregues em cada método, linha aérea ou cabos subterrâneos. A tecnologia usada num cabo é bastante superior à usada numa linha aérea, logo mais dispendiosa, pois este condutor é transportado sem isolamento, o que origina um custo bastante inferior nas junções quer ao nível da tecnologia empregue para a sua execução quer ao nível do tempo que se ganha ao efectuar a junção.

O tipo de execução nestes projectos é francamente diferente. O projecto de cabo, por ter uma grande componente de construção civil, origina um aumento de custo em relação ao outro, que, tal como foi demonstrado, não se pode quantificar ao certo qual o valor exacto desse rácio de comparação de custos, uma vez que depende de caso para caso e do nível de tensão envolvido. Por sua vez, a execução deste tipo de projecto causa mais impacte na execução, que no caso das linhas aéreas.

O ruído produzido nestes projectos só está presente nas linhas aéreas. Como foi descrito, a sua causa tem como fonte o efeito de coroa nas linhas, factor este que não afecta os cabos de MAT que estão no subsolo.

Outra conclusão que se pode tirar é que sendo estes projectos dispendiosos e estando estes custos inerentes ao projecto, a única forma de os tentar atenuar é na fase de ante-projecto, pois se a possibilidade do projecto ocorrer num sítio sensível em termos ambientais ou arqueológicos for reduzida, origina que os custos não previstos no projecto podem também ser reduzidos.

Este trabalho apresentou, então, uma forma de representar estas duas componentes em forma de custo por quilómetro, podendo desta forma associar este custo com o custo da componente electrotécnica do projecto representando um custo global por quilómetro. Este custo pode associar-se numa tabela, para se estudar a sensibilidade de parâmetros de saída com esta substituição, como é o caso do trânsito de energia, das perdas activas, das perdas reactivas, da tensão em cada barramento ou mesmo do aumento das correntes de curto-circuito em cada barramento.

Ao associar estas parcelas nessa tabela, observamos também um factor importante, o factor de custo da parte electrotécnica é independente do sítio geográfico dessa substituição. Caso

este, que pode não se verificar quando o custo é associado com as parcelas mencionadas anteriormente, pois este estudo tem uma sensibilidade elevada a essa localização e pode originar mais ou menos sítios na periferia desse traçado.

Os campos eléctricos só estão presentes nas linhas aéreas, o que no caso dos cabos, só não são totalmente nulos devido a perturbações no meio. Este campo por sua vez não tem significado ao nível do solo devido à profundidade normalmente usada nestas infra-estruturas. O valor destes campos eléctricos, como foi demonstrado, quando a linha segue as distâncias mínimas de segurança, consegue-se assegurar um valor de campo eléctrico dentro dos valores definidos pelas normas. Em Portugal, as linhas aéreas encontram-se sempre com uma distância superior às estabelecidas nas normas em vigor, o que representa, um menor campo eléctrico ao nível do solo.

Os campos magnéticos, como foi demonstrado, não são anulados com a substituição de linhas aéreas por cabos de MAT. Essa mudança origina uma mudança na distribuição do campo, passando a ser mais concentrado na periferia do cabo. A passagem de linhas para cabos pode ainda originar um valor de campo mais intenso para o mesmo nível de tensão na proximidade. À semelhança dos campos eléctricos, os valores em Portugal, estão dentro dos valores definidos pelas recomendações da OMS [2].

Deste modo, a afirmação que o impacto ao nível dos campos é anulado com a substituição de linhas para cabos, só é parcialmente verdadeira para os campos eléctricos, pois, como foi dito, para os campos magnéticos essa mudança pode ainda intensificar mais o valor desse campo, logo esse impacto é mais relevante.

A componente electrotécnica destes projectos tem uma sensibilidade elevada à substituição de linha aérea por cabo de MAT, pois como foi demonstrado anteriormente, o trânsito de energia passará a ser mais intenso no troço que sofre a substituição. As tensões em cada barramento juntamente com as correntes de curto-circuito tendem a aumentar com essa substituição, o que para o caso das correntes, pode originar uma substituição da aparelhagem de corte instalada nas subestações, que estão interligadas por estas linhas. Devido ao facto de a impedância dos cabos ser inferior ao das linhas para o mesmo nível de tensão, origina uma redução das perdas activas totais da rede.

Devido ao facto da execução de um projecto de linhas aéreas ser diferente da de cabos de MAT, os estudos ambientais inerentes também são diferentes. Este facto é expresso pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, no qual para concretização de projectos é obrigatório efectuar um EIA. Como foi demonstrado para as linhas aéreas, se a tensão de projecto for de 220kV e a extensão superior a 15km, estão reunidas as condições que obrigam a um estudo de impacto ambiental. Nos outros casos, quer para cabos MAT, quer para outros níveis de tensão MAT, é recomendado um estudo de incidências ambientais.

Como foi demonstrado, um EIA é um documento bastante mais complexo que um EinCa, tanto em termos logísticos como temporais. Sendo as linhas aéreas, nas condições anteriormente

faladas, um projecto sujeito a um EIA é espectável que a fase ante-projecto demore mais tempo, mas por sua vez a sua execução é mais rápida.

A parte arqueológica é independente do estudo aplicado, dado que é sempre feito um estudo na localização do traçado, podendo originar, dependendo do local, sondas prévias para se evitar, na fase de execução, um achado não esperado que resulte numa paragem da obra e se possa repercutir em custos adicionais ao mesmo. Estas sondas têm como principal função apoiar a realização de um levantamento de achados e contribuir para a definição do traçado futuro que, após o levantamento, são apresentadas várias alternativas de traçado.

Se numa fase de ante-projecto estes traçados já estiverem previamente levantados consegue-se então prevenir impactes ao nível de custos não contemplados. Desta forma, o método anteriormente apresentado pode aplicar-se no futuro, não só a projectos de substituição de troços de linhas aéreas por cabos subterrâneos, mas também a projectos novos na fase de decisão de um traçado futuro. Usando este método para a decisão e tendo como saída o custo da variação do novo traçado, pode prevenir durante o estudo de impacte ambiental um traçado não previsto e, de certa forma, uma vantagem para o projectista.

6.2 Direcções de Investigação.

Este tipo de análise pode vir a dar um grande contributo para estudos futuros, uma vez que com base neste método, é possível aplicar o estudo da variação de qualquer outra variável de saída, com a substituição de troços de linhas por cabos.

Pode-se então apresentar uma série de direcções de investigação:

- Analisar os impactes técnicos e económicos decorrentes do comportamento em regime transitório de um troço de cabo num circuito constituído por uma linhas aéreas de MAT.
- Efectuar a variação das perdas reactivas por custo de projecto de cabo, com o aumento da substituição de linha aérea por cabo subterrâneo.
- Achar o ponto óptimo na substituição de linha por cabo, para o compromisso da diminuição das correntes de curto-circuito em cada barramento com o custo de projecto.

Referências.

- [1] "Statistics of AC underground Cables in Power Networks, Working Group B1.07"
, Dezembro de 2007.
- [2] "Análise e simulação numérica aplicadas à predição de campos electromagnéticos", EDP-Labelec, Lisboa, 5 de Março de 2009.
- [3] Decreto Regulamentar n.º 1/92, 18 de Fevereiro de 1992.
- [4] "*Precautionary approaches to ELF EMFs - Supporting Papers to First Interim Assessment*", do "*Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs*" (SAGE), Reino Unido, Abril de 2007.
- [5] "Campos Electromagnéticos de extremamente baixa Frequência, Saude Pública e Linhas de Alta Tensão", José Luís C. Pinto de Sá, Fevereiro de 2008.
- [6] Ligações à Terra em circuitos de Alta Tensão, ICAT 2005.
- [7] Decreto-Lei n.º 69/2000, 3 de Maio de 2000.
- [8] Folhas da cadeira "Electrotécnica Teórica II, teoria", Instituto Superior Técnico, J.F. Borges da Silva, Julho de 1986.
- [9] Caracterização da Rede Nacional de Transporte, [www.ren.pt] REN, 2008.
- [10] Guia Metodológico para a Avaliação de Impacte Ambiental , [www.ren.pt] REN e Agência Portuguesa do Ambiente; Elaborado pela Associação Portuguesa de Avaliação de Impactes, Janeiro de 2008.
- [11] Guia Técnico, SOLIDAL, 2007.
- [12] www.ippar.pt ,Fevereiro 2009.

Anexo 1- Tipo de linhas e postes.

Linhas aéreas de 150kV.

Postes tipo: T (Linhas simples) CW (Linha dupla) e TC (tubulares).

Cabos condutores: Zebra ou Bear (Linhas antigas).

Cabos de guarda: Guinea e OPGW.

Linhas aéreas de 220kV.

Postes tipo: MT (Linhas simples), CW (Linha dupla) e TBA (tubulares).

Cabos condutores: Zebra.

Cabos de guarda: Guinea e OPGW.

Linhas aéreas de 400kV.

Postes tipo: Y ou Q (Linhas simples) e DL (Linha dupla).

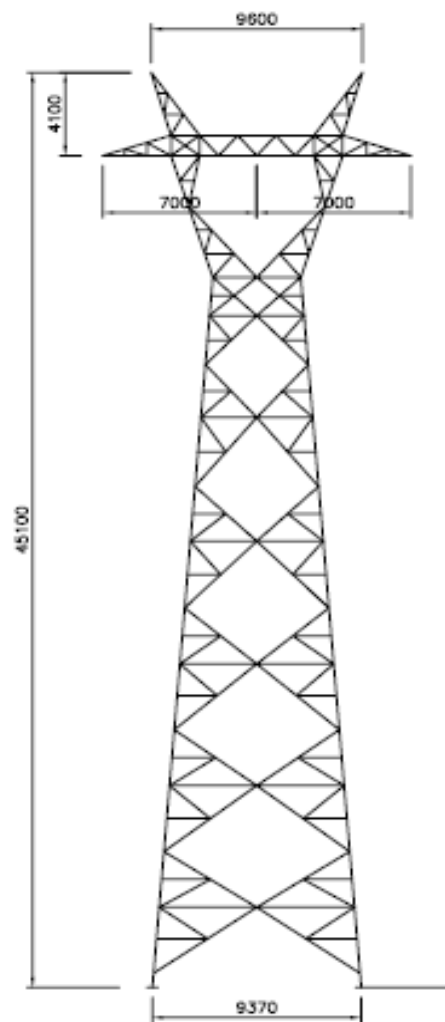
Cabos condutores: Zambeze.

Cabos de guarda: Dorking.

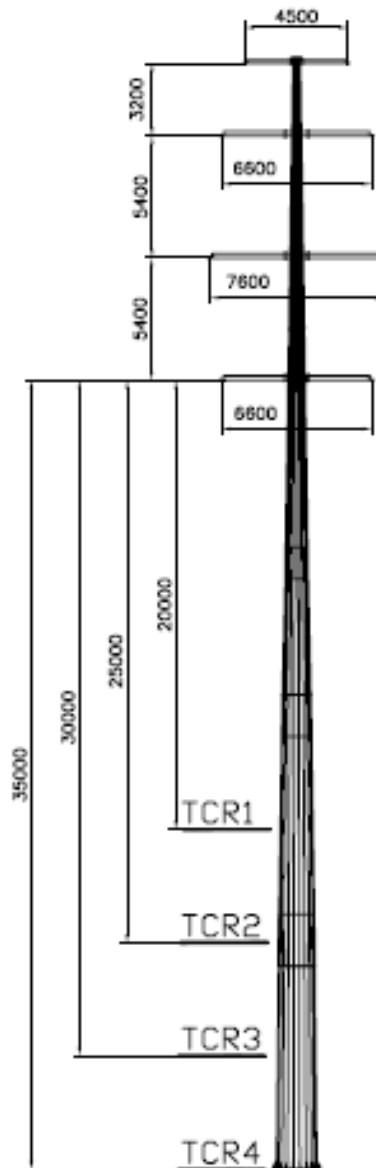
Postes.

Linhas 150kV.

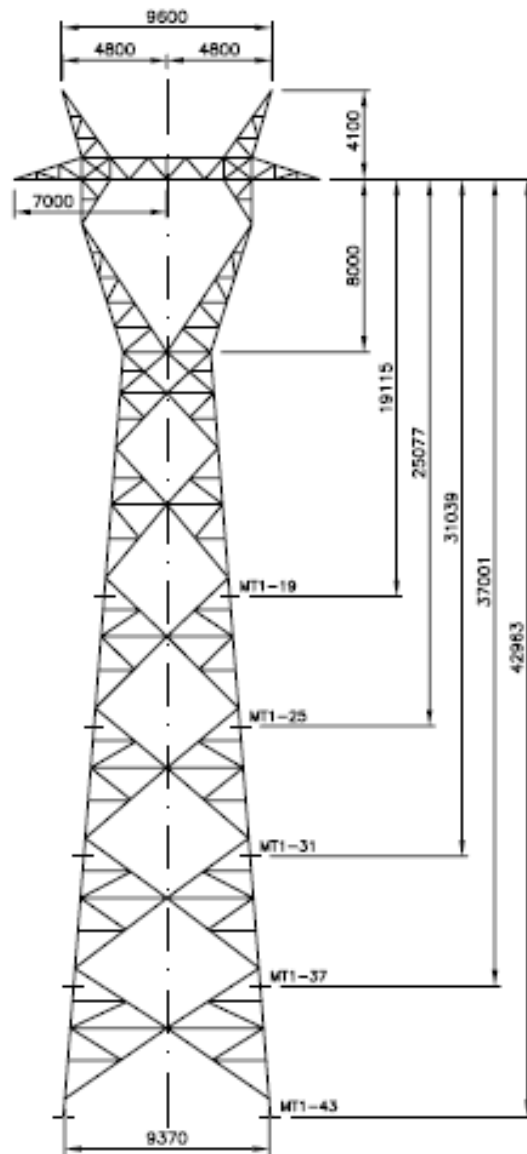
Postes tipo "T".



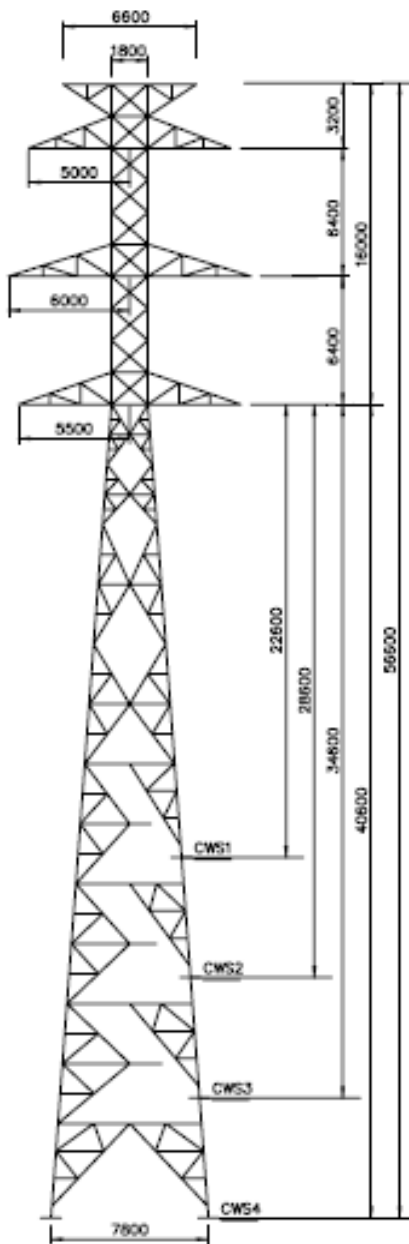
Linhas 150kV.
Postes tipo "TCR".



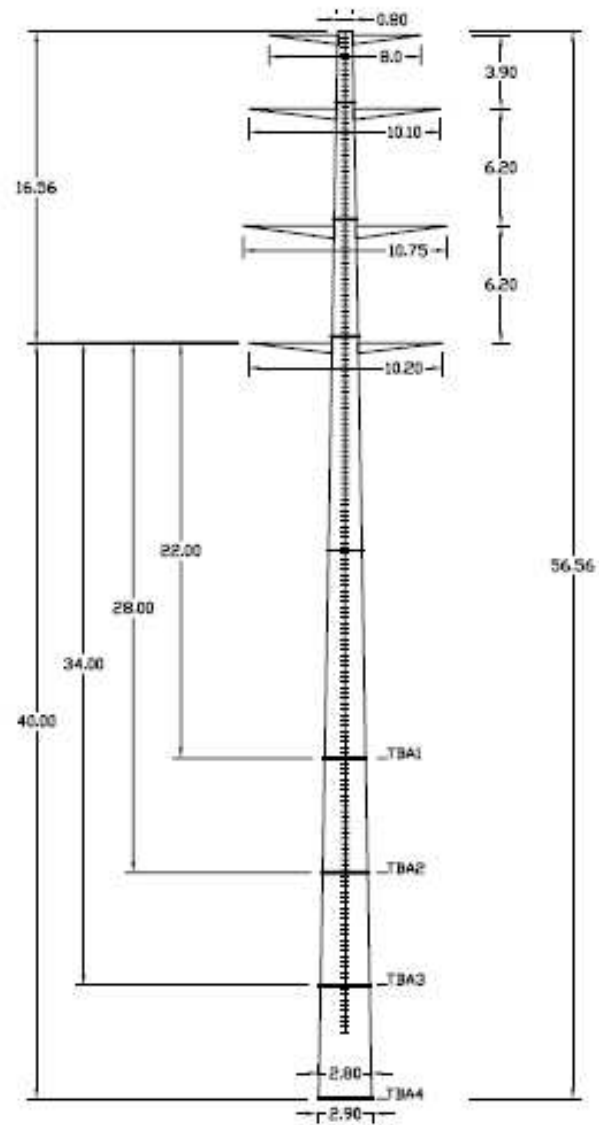
Linhas 220kV.
Postes tipo "MT".



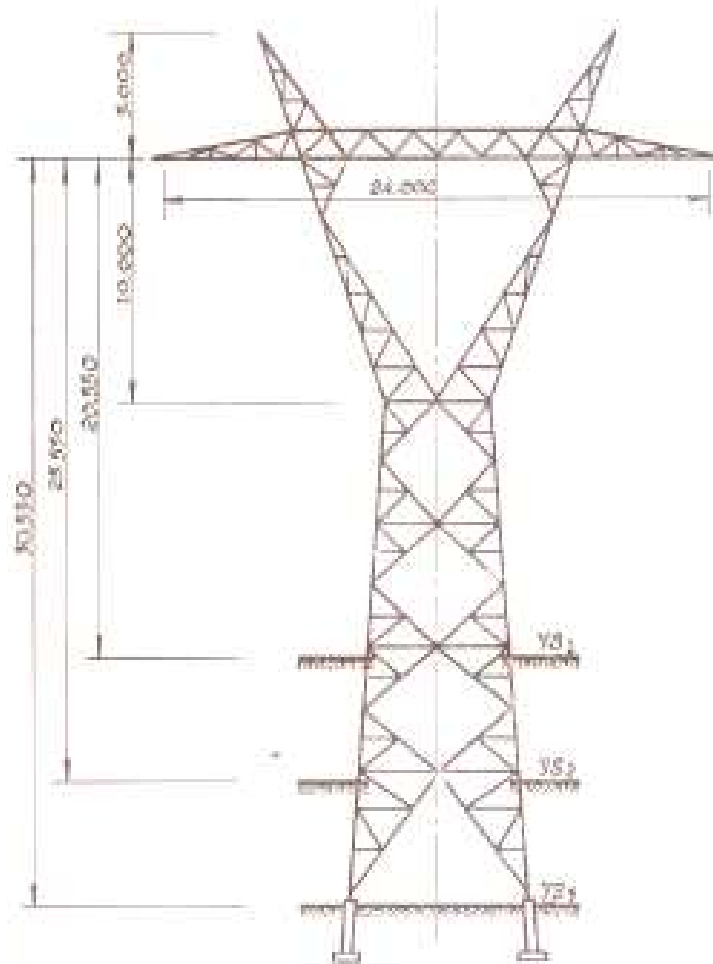
Linhas 220kV.
Postes tipo "CWS".



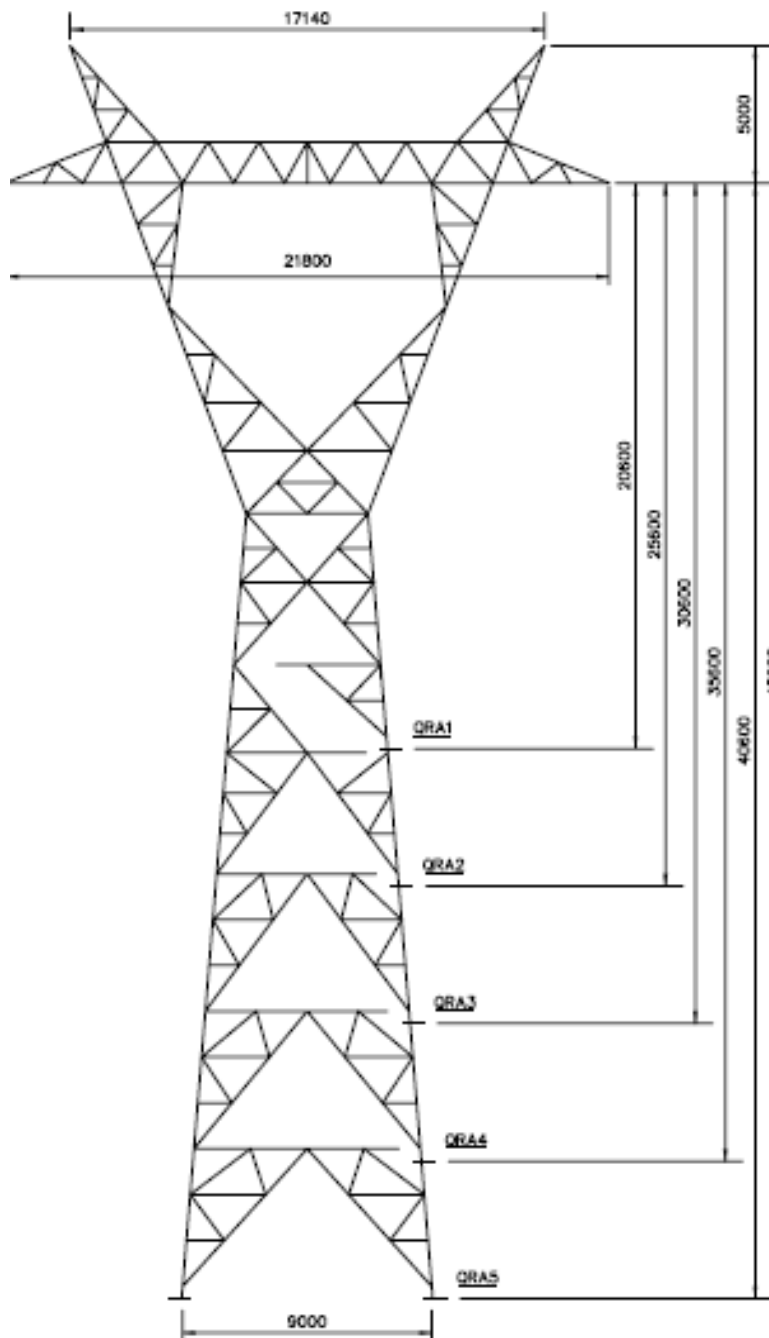
Linhas 220kV.
Postes tipo "TBA".



Linhas 400kV.
Postes tipo "YS".



Linhas 400kV.
Postes tipo "QRA".



Tipo de cabos.

Os tipos de cabos nus e as suas características para linhas aéreas de MAT, encontram-se apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Características dos cabos nus para linhas aéreas de MAT.

Cabos		Composição						Composição	Diâm.	Diâm.	Secção	Secção
Designação	N.comercial	Nr	Dia	Typo	Nr	Dia	Typo	por camada	cabo (mm)	aço (mm)	cabo (mm ²)	aço (mm ²)
AAAC 1144	Aster 1144	91	4.00	Lal	-	-	-		44.00	-	1143.50	-
AAAC 570	Aster 570	61	3.45	Lal	-	-	-	1;6;12;18;24	31.05	-	570.24	-
ACSR 325	Bear	30	3.35	Al	7	3.35	Aç	1;6;12;18	23.45	10.05	326.12	61.70
ACSR 546	Cardinal	54	3.38	Al	7	3.38	Aç	1;6;9;15;21	30.38	10.13	546.10	62.70
ACSR 153	Dorking	12	3.20	Al	7	3.20	Aç	1;6;12	16.00	9.60	152.81	56.30
ACSR 130	Guinea	12	2.92	Al	7	2.92	Aç	1;6;12	14.60	8.76	127.24	46.88
ACSR 260	Panther	30	3.00	Al	7	3.00	Aç	1;6;12;18	21.00	9.00	261.20	49.50
AACSR147.1	Pastel147.1	30	2.25	Lal	7	2.25	Aç	1;6;12;18	15.75	6.75	147.11	27.83
ACSR/AW 517	RAIL AW	45	3.70	Al	7	2.47	Aç	1;6;9;15;21	29.61	7.41	517.39	33.53
ACSR 374	Tejo	42	2.79	Al	19	2.79	Aç	1;6;12;18;24	25.11	13.95	373.90	116.40
ACSR 595	Zambeze	42	4.14	Al	7	2.32	Aç	1;6;8;14;20	31.80	6.96	594.97	29.59
ACSR 485	Zebra	54	3.18	Al	7	3.18	Aç	1;6;12;18;24	28.62	9.54	484.48	55.60

Anexo 2 - Decreto Regulamentar n.º 1/92- Fundações.

O Decreto Regulamentar n.º 1/92 define as fundações dos apoios para linhas aéreas, em que para as fundações de postes estes serão:

- 1) Implementados directamente no solo ou consolidados por fundações adequadas, de modo a ficar assegurada a estabilidade correspondente às solicitações actuantes e à natureza dos solos;
- 2) Quando os postes de madeira forem consolidados por intermédio de fundações, deverá ser adoptada uma das soluções seguintes:
 - Fixação dos postes a base de betão, de ferro ou de outros materiais de modo que fiquem afastados do solo;
 - Encastramento em maciços de betão, desde que a face superior do maciço fique, pelo menos, 0,5m abaixo da superfície do solo e coberta com terra;
 - Nos casos corrente de postes implantados directamente no solo, a profundidade de enterramento h_e , em metros, arredondada ao décimetro, não deverá ser inferior à dada pela expressão:

$$h_e=0,1xH+0,5$$

Em que H, em metros é a altura total do poste.

- 3) Para postes de altura total superior a 15m admitir-se-ão profundidades de enterramento menores que as dadas pela expressão do parágrafo anterior, mas nunca inferiores a 2m, desde que seja convenientemente justificada a estabilidade do poste;
- 4) No mesmo Decreto-Regulamentar é definido também como é feito o cálculo das fundações de acordo com o Artigo 74.º;
- 5) As fundações dos apoios deverão ser calculadas tendo em conta as seguintes condições:
 - Nas fundações cuja estabilidade se basear principalmente nas reacções verticais do terreno deverá considerar-se um coeficiente de segurança ao derrubamento, a justificar conforme o método utilizado, não inferior a:
 - 1,5, para solicitações normais;
 - 1,25 para solicitações excepcionais.
 - Nas fundações cuja estabilidade se basear principalmente nas reacções horizontais do terreno a inclinação dos apoios, em consequência do deslocamento das fundações, não deverá ser superior a 1%.

- Deverá comprovar-se que as cargas máximas que as fundações transmitem ao terreno não excedem os valores admissíveis, tendo em conta as características do terreno.
- Deverão avaliar-se as características do terreno nos locais de implementação ou, no caso de não se dispor das características, poderão utilizar-se os valores indicados na seguinte tabela 10:

Tabela 10 – Valores das fundações consoante determinadas características do terreno.

Natureza do solo	Massa volúmica (kg/m ²)	Ângulo de atrito int. (graus)	Pressão admissível (kPa)	Ângulo β (Graus) (a)		Coeficiente de compressibilidade (daN/cm ³) (b)
				Fundação do monobloco	Fundação dividida	
Aterro não artificialmente compactado.						
Conforme a constituição e espessura da camada da fundação e a densidade e regularidade do seu empilhamento.	1400 a 1600	20 a 25	0 a 70	5	14 a 20	0 a 10 (C0)
Terreno Natural.						
Lodo, turfa, terreno sedimentar em geral	650 a 1100	0	0	0	0	0
Terreno incoerente bem acamado.						
Areia Fina e média até 1mm de diâmetro de grão.	1600	30 a 32	200 a 300	8 a 10	20 a 22	60 a 80
Areia grossa até 3mm de diâmetro de grão e areão com, pelo menos, um terço em volume de calhau rolado e calhau rolado até 70mm de diâmetro.	1800	33 A 35	300 a 400	8 1 12	20 a 25	80 a 100 (C7)
Terreno coerente (barro, argila):						
Muito Mole.	1600	0	0	0	0	0
Mole.	1800	11 a 17	50	4	8 a 10	20 a 40 (C2)
Consistente.	1800	16 a 22	100	6	14 a 16	50 a 70 (C4)
Médio.	1700	20 a 24	200	8	22	80 (C7)
Rijo.	1700	22 a 30	400	10	22 a 25	90 (C7)

Notas: Ângulo β , ângulo de inclinação, em relação à vertical, que fazem as superfícies limítrofes do sólido de terreno que se considera no cálculo das fundações e que têm início nas arestas inferiores de todos os lados do maciço

Força em decanewtons, necessária para fazer penetrar 1 cm no terreno de uma placa normal à força com 1 cm² de superfície.

Os valores indicados são valores do coeficiente de compressibilidade médio numa direcção horizontal a cerca de 2m de profundidade.

Anexo 3 -Decreto Regulamentar n.º 1/92- Eléctrodos terra.

Em concordância com Decreto Regulamentar n.º1/92 os eléctrodos terra terão como características:

- 1) Dimensões que permitam das escoamento fácil às correntes de terra previstas, de forma que o seu potencial e o gradiente de potencial à superfície do solo sejam os menores possível. As dimensões dos mesmos não devem ser inferiores a:

Tabela 11- Dimensões do eléctrodos de terra.

Tipos de eléctrodos		Material constituinte	Superfície de Contacto	Espessura (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Comprimento (m)	Dimensão transversal (mm)	Secção (mm ²)	Diâmetro dos fios componentes (mm)
Verticais	Chapas	Cobre.	1	2					
		Aço galvanizado (1).	1	3					
	Varetas	Cobre.			15	2			
		Aço revestido a cobre.			0,7 (2)	15	2		
		Aço galvanizado (1).			15	2			
	Tubos	Cobre.			2	20	2		
		Aço galvanizado (1).			2,5	25	2		
Perfilados	Aço galvanizado (1).			3		2	60		
Horizontais	Cabos nus	Cobre.	1					25	1,8
		Aço galvanizado (1).	1					100	1,8
	Fitas	Cobre.	1	2				25	
		Aço galvanizado (1).	1	3				100	
	Varões	Aço galvanizado (1).	1		10				

- Notas:** (1) A protecção deve ser assegurada por galvanização, por imersão a quente, com espessura de revestimento mínima de 120µm
(2) Espessura de revestimento. Admite-se que este valor seja reduzido desde que os eléctrodos sejam executados por tecnologia adequada e sujeitos a prévia aprovação da Direcção Geral de Energia

- 2) Os eléctrodos terra serão de cobre, de aço galvanizado ou aço revestido a cobre ou de outro material apropriado, sob a forma de chapas, de varetas, de tubos, de perfilados, de cabos ou de fitas;

- 3) As espessuras do revestimento dos eléctrodos terra quando de aço ou outro material não resistente à corrosão pelo terreno não deverão ser inferiores a:
- 70 μm se o revestimento for de zinco (imersão a quente);
 - 0,7 mm, se o revestimento for de cobre (poderá ser inferior se for de uma tecnologia adequados e com a aprovação prévia da Direcção-Geral de Energia);
 - 1 mm, se o revestimento for de chumbo;
 - 0,7 mm, se o revestimento for de materiais que só por si tenham resistência à corrosão da classe C₃ (aço inoxidável e bronze).
- 4) Os eléctrodos terra podem ainda serem constituídos por qualquer outro elemento anteriormente referido ou de tipos diferentes, convenientemente afastados uns dos outros.

Anexo 4- Parâmetros a monitorizar na medição do ruído.

Os parâmetros a monitorizar são.

As campanhas de monitorização a realizar consistirão na caracterização do parâmetro nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A [LAeq], nos 3 períodos de referência (diurno, entardecer e nocturno) e posterior determinação dos indicadores “diurno-entardecer-nocturno” Lden, e “nocturno” Ln. As medições deverão ser efectuadas tendo em conta as normas portuguesas aplicáveis:

- Norma Portuguesa 1730-1: 1996 (Descrição e medição do ruído ambiente Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos);
- Norma Portuguesa 1730-2: 1996 (Descrição e medição do ruído ambiente Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo);
- Norma Portuguesa 1730-3: 1996 (Descrição e medição do ruído ambiente Parte 3: Aplicação aos limites do ruído).

Em cada campanha de medição sonora deverão também ser registadas as seguintes informações:

- Equipamento utilizado: tipo, modelo e série;
- Data das medições;
- O intervalo de tempo escolhido e a hora de início e fim de cada medição;
- Identificação das principais fontes que compõem o ruído ambiente e caracterização do ruído particular durante o período de medição;
- Local da medição identificado em registo cartográfico (com legenda e representação do traçado da linha ou do limite da subestação) e registo fotográfico (incluindo posicionamento do microfone);
- Classificação das condições meteorológicas observadas em cada ponto de medição em desfavoráveis, sempre que se verifiquem aguaceiros de chuva fraca e neblina, e em favoráveis, nas restantes situações, sendo registados os seguintes aspectos meteorológicos: direcção e velocidade do vento; chuva fraca, nevoeiro ou aguaceiros; temperatura; humidade relativa;
- Registo dos resultados das medições, incluindo registos do sonómetro e gráficos de espectro de 1/3 de oitava das medições.

Locais e frequência das amostragens.

Dever-se-ão monitorizar todos os receptores sensíveis identificados na situação de referência do EIA. Caso a faixa envolvente exposta tenha uma ocupação urbana significativa então dever-se-á proceder à selecção de receptores representativos do universo exposto.

Deverá realizar-se uma medição antes do início da obra, para garantir uma correcta caracterização da situação de referência. As restantes medições desenvolver-se-ão durante a fase de exploração da linha.

Efectuar, pelo menos, duas campanhas de medições acústicas durante o primeiro ano de funcionamento da linha em duas épocas distintas (Verão/Inverno) e durante os períodos diurno, entardecer e nocturno.

O prosseguimento de acções de monitorização do ruído ficará dependente dos resultados dessas primeiras campanhas e da existência de eventuais reclamações.

Técnicas e métodos de análise e equipamentos necessários.

Serão efectuadas medições no sítio dos parâmetros a monitorizar utilizando um tipo de monitorização directa.

O tempo de medição deverá ser no mínimo de 30 minutos ou corresponder à estabilização do valor do parâmetro nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, LAeq.

Os dados resultam de leituras directas no sítio pelo que não se utilizam métodos específicos de tratamento de dados.

Os meios, devidamente calibrados, necessários à execução do Programa de Monitorização são, no mínimo, os seguintes:

- a) Um sonómetro integrador de Classe 1, aprovado pelo Instituto Português da Qualidade;
- b) Um termómetro;
- c) Um higrómetro;
- d) Um anemómetro.

Relação entre os factores ambientais a monitorizar e o projecto.

Registo das condições meteorológicas (humidade atmosférica, velocidade do vento, precipitação, nevoeiros).

Tipo de medidas de gestão ambiental a adoptar face aos resultados da monitorização.

As medidas a adoptar caso não sejam cumpridos os limites legais podem passar por:

Substituição de cadeias de isoladores de vidro por cadeias de isoladores de compósitos;

Lavagem de isoladores;

Alteamento de postes.

Periodicidade dos relatórios de monitorização e critérios de revisão do Programa de Monitorização.

Deverá ser entregue um relatório de monitorização por campanha efectuada e um relatório final.

O relatório final de monitorização será entregue à Agência Portuguesa do Ambiente, pela REN S.A., após a conclusão da monitorização ou de acordo com a periodicidade estabelecida na DIA.

Estes programas deverão ser objecto de revisão, tendo em conta o seguinte:

- No caso de existência de reclamações, o plano de monitorização deverá ser objecto de revisão para dar resposta às mesmas, sem embargo da necessidade de resposta atempada a reclamações. Caso sejam necessárias medidas de minimização, deverá ser efectuada uma campanha de medições após a sua adopção, para se verificar da eficácia das mesmas.
- Os Relatórios de Monitorização deverão seguir a estrutura, com as devidas adaptações, do estipulado no Anexo V da Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril.
- Os Relatórios de Monitorização deverão fazer referência ao EIA e à DIA, bem como a adopção de medidas de prevenção ou redução, de acordo com o disposto no anexo V da Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril.
- As plantas de traçado com a localização dos pontos de medições devem incluir legenda e o próprio traçado da linha.

Metodologia de cálculo do ruído gerado pelas linhas aéreas de MAT.

O cálculo dos níveis de ruído, LAeq, LT, com origem nas linhas MAT da REN, para verificação da conformidade com o estabelecido no Regulamento Geral do Ruído (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro), deverá efectuar-se de acordo com a metodologia a seguir indicada:

1) Verificação do cumprimento do critério de exposição máxima

- Considerar dois tipos de períodos em cada ciclo climatológico com a duração de um ano:
 - Período de referência correspondente a condições desfavoráveis, caracterizado por aguaceiros de chuva fraca e nevoeiro, conducentes à acumulação de água nos condutores;
 - Período de referência correspondente a condições favoráveis, definido como o restante período do ano.
- Obter, a partir de dados climatológicos disponíveis para uma zona específica da linha onde se deseje efectuar o controlo de conformidade em tempo de projecto, a probabilidade de ocorrência de condições desfavoráveis p .
- Conhecidos os valores de nível sonoro contínuo equivalente, em dB, para cada um dos dois tipos climatológicos identificados em 1, calcular o valor do nível sonoro médio de longa duração, para o intervalo de um ano.

- Efectuar a verificação de conformidade com os valores limites estabelecidos no RGR tendo por base o indicador Lden e o indicador Ln.
- O indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (Lden), expresso em dB(A), associado ao incómodo global, é dado pela seguinte expressão:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{Ld}{10}} + 3 \times 10^{\frac{Le+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{Ln-10}{10}} \right]$$

O indicador de ruído nocturno (Ln ou Lnight) é o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos nocturnos representativos de um ano.

Esta metodologia aplica-se tanto à fase de projecto como à fase de monitorização.

Assim a sequência de cálculos deverá ser a seguinte:

Calcular o nível sonoro equivalente contínuo, ponderado A, de cada fase a partir da expressão para um receptor a controlar:

$$L_{Aeq,i} = 179,23 \cdot \log(E_i) + 58,71 \cdot \log(d_i) - 55,02 \cdot \log(2 \cdot R_i \cdot E + 206 \cdot E) - 3,81^{0,29}$$

Com:

- E_i [kV/cm]: campo eléctrico à superfície dos condutores, na fase i [cm]: diâmetro dos condutores, na fase i
- R_i [m]: distância radial dos condutores ao receptor, para a fase i .

No cálculo de E_i considera-se que o condutor se dispõe de acordo com uma linha recta paralela ao solo cuja altura é a seguinte:

$$h_{med} = h_{mikn} + \frac{2}{3} \cdot f, \text{ com } h_{mikn} - \text{distância ao solo,}$$

Com h_{mikn} - distância ao solo, em metros, para cada um dos níveis de tensão segundo critério REN e f , em metros, é a flecha dos condutores.

Para o cálculo de f é suficiente a aproximação parabólica para a curva dos condutores. O valor de f é dado por:

$$f = \frac{a^2}{8 \cdot P}$$

onde p , em metros, é o parâmetro da catenária (relação T/w , entre tracção e peso linear dos condutores) e a , em metros, é o valor do vão médio ao longo da linha.

Para calcular a contribuição do conjunto de todas as fases, usa-se a seguinte expressão:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left[\sum_{i=1}^{nf} 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} \right]$$

nf : n.º de fases;

Nas linhas simples $nf=3$ e nas duplas $nf=6$

Para calcular o valor do nível sonoro equivalente de longa duração para um período climático de um ano, usa-se a seguinte expressão:

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq} + 10 \cdot \log \left[p + (1 - p) \cdot 10^{\frac{-\Delta L}{10}} \right]$$

Com um valor de ΔL em conformidade com a tensão da linha:

Para 150 e 220 kV: $\Delta L=20$ dB e para 400 kV: $\Delta L=12,5$ dB.

Um valor de probabilidade p obtido a partir de informação climatológica adequada à localização geográfica da linha de acordo com os critérios seguintes e considerando como condições desfavoráveis as seguintes:

- De aguaceiros de chuva fraca (até 1 mm por dia) - todo o período;
- De nevoeiro (ocorrências de oito horas de nevoeiro por cada dia registado pelo Instituto de Meteorologia) - 8 horas;
- De precipitação moderada (entre 1mm e 10 mm) - 10 minutos após o registo de cada ocorrência;
- De precipitação forte (mais de 10 mm) - 10 minutos após o registo de cada ocorrência.

Ou o valor de $p = 0,10$ na impossibilidade da sua obtenção por falta de elementos.

2) Verificação do cumprimento do critério de incomodidade (só aplicável para valores de LAeq do ruído ambiente no exterior superior a 45 dB (A))¹³

- De acordo com os valores das Normais Climatológicas estabelecer qual o mês mais crítico do ano e obter a probabilidade de ocorrência de condições desfavoráveis p , referente ao período desse mês.
- Calcular o valor de LAeq para o mês mais crítico, tendo por base a expressão:

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq} + 10 \cdot \log \left[p + (1 - p) \cdot 10^{\frac{-\Delta L}{10}} \right]$$

Com um valor de ΔL em conformidade com a tensão da linha:

Para 150 e 220 kV: $\Delta L=20$ dB e para 400 kV: $\Delta L=12,5$ dB e o valor de probabilidade p obtido como referido no ponto 1. Ou $p = 0,10$ na impossibilidade da sua obtenção por falta de elementos.

3) Efectuar a verificação de conformidade com os valores limites estabelecidos no RGR tendo por base a diferença entre o valor do indicador LAeq do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da linha em avaliação e o valor do indicador LAeq do ruído residual.

Anexo 5- Características de Alguns materiais que constituem as bainhas.

Policloreto de vinilo (PVC).

Devido à sua boa resistência aos agentes atmosféricos, ao envelhecimento, à corrosão, aos produtos químicos e em particular aos óleos e sais minerais, torna-se uma boa solução a sua colocação em bainhas exteriores. Embora este material não seja propagador de chama a sua combustão liberta gases nocivos.

Polietileno (PE).

Apresenta uma boa resistência às intempéries, ao dilaceramento e desgaste, módulo de Young elevado para alongamentos fracos, bem como uma impermeabilidade superior à dos outros materiais sintéticos, bom comportamento a baixas temperaturas e um baixo coeficiente de atrito, o que constitui uma vantagem em instalações difíceis, por exemplo, para cabos colocados no interior de tubos. No entanto, este material não se opõe à propagação da chama, embora perante a mesma a sua combustão não liberte gases corrosivos.

Materiais ignífugos sem halogéneos.

A sua principal qualidade advém do facto de em caso de incêndio libertar poucos fumos de toxicidade muito reduzida e nenhum gás corrosivo.

Em termos de características mecânicas têm, actualmente, características idênticas aos outros materiais usados para bainhas.

Anexo 6- Artigo a submeter.

O impacto da Arqueologia nos projectos de linhas aéreas e cabos subterrâneos em Muita Alta Tensão.

*Bruno F. Serôdio*¹

Resumo

Com o aumento do consumo de energia existe a necessidade de corresponder não só com um aumento de produção mas também com a necessidade de reforçar a auto-estrada de energia, ou seja, o transporte da mesma. Como o transporte em muita alta tensão (MAT) tem passado por várias razões cada vez mais dentro dos meios urbanos pode originar a mudança do transporte em linhas aéreas para cabos subterrâneos, pelo que com esta mudança cada vez mais latente na nossa sociedade a Arqueologia que já tinha uma grande importância na execução de projectos com linhas aéreas terá uma importância ainda mais relevante nos projectos de transporte de energia em cabos subterrâneos. Este trabalho pretende então demonstrar esse acréscimo de importância da arqueologia neste tipo de projectos.

Abstract

With the increase of the energy consuming it appears the need of not only corresponding this consuming with an increase of production, but also, with the necessity, of strengthen the highway of energy, that is, the transportation of this energy. The transportation is in much high tension, for several reasons more and more, has to passed inside of the urban places, it is possible to originate the change of the transport in airlines for underground cables, and with this change each more latent in our society, the Archaeology that already had a great importance in the execution of projects with airlines will have a more importance in the execution of projects of transportation of the energy in underground cables. This work intends then to demonstrate this increase of importance of archaeology in this type of projects.

¹Engenheiro Electrotécnico. Licenciado em Engenharia Electrotécnica e Finalista do Mestrado em Energia pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. bserodio@sapo.pt

1. Transição entre linhas aéreas para cabos subterrâneos em MAT.

O método mais usado para transportar energia em muita alta tensão sempre foi em linhas aéreas, dado que para além de ser um tipo de obra com um preço relativamente aceitável face à tecnologia empregue tem, igualmente, uma execução relativamente rápida. Neste sentido, a decisão da passagem deste tipo de infra-estrutura para o transporte de energia através de cabos subterrâneos é, na grande maioria dos casos, devida a impossibilidades que podem passar por:

1. Restrições camarárias.
2. Conseguir manter as distâncias mínimas de segurança [1].

O afastamento entre os corredores das linhas relativamente a objectos ou ao solo (facto este que devido ao crescimento exponencial da construção de habitações em resposta ao crescimento da população [2]), impossibilita por vezes a colocação das estruturas de apoio às linhas (postes) nos sítios desejados, podendo originar o aumento da altura dos mesmos para se poder manter essas distâncias de segurança.

Este facto por vezes gera desconforto para os habitantes locais devido ao tamanho das estruturas junto das suas habitações.

2. Flecha dos condutores das linhas aéreas.

A flecha do condutor, ou seja, a curvatura que o condutor da linha aérea faz entre postes, não é constante ao longo do ano e pode variar bastante. A curvatura efectuada é dimensionada na fase de projecto tanto para temperaturas ambientes de inverno e de verão.

Para a mesma temperatura de operação da linha, a que equivale uma determinada temperatura dos condutores, a maior flecha ocorre para temperaturas mais elevadas, uma vez que o condutor tende a dilatar com a temperatura e a sua distância ao solo ou objectos diminui.

3. A execução de uma linha aérea.

O projecto de uma linha aérea baseia-se no princípio de ligação de dois pontos, ou seja, entre duas subestações, sendo que nesse comprimento o número de postes é dado pela necessidade de manter a flecha do condutor dentro dos limites de segurança. Nesse traçado as escavações existentes fora das zonas de ligação são efectuadas nas fundições dos postes de suporte às linhas e na colocação dos eléctrodos, sendo tudo isto na vizinhança da futura localização onde se erguem as estruturas. Desta forma, nessa escavação é necessário que haja um acompanhamento arqueológico com maior ou menor atenção dependendo da zona em que se situa, pelo que na fase pré-projecto, o IGESPAR, após um estudo prévio, verifica se o traçado das linhas passa em sítios arqueológicos ou nas suas redondezas, podendo ser exigido também um acompanhamento integral desta obra. Cabe apenas a esta entidade a definição desta exigência pois pode depender não só da extensão do projecto mas também da sensibilidade da zona. Logo neste tipo de obra, este acompanhamento é extremamente importante não só para se manter o mais possível intactos os achados de períodos anteriores

ao presente e logicamente aumentar o património arqueológico existente, mas também porque pode ocorrer a descoberta de achados inesperados.

As escavações para este tipo de obras podem ser bastante dispersas dependendo do afastamento dos postes, podendo, por isso, originar que mesmo estando na proximidade de uma zona possível de ser relativamente sensível, a probabilidade de se encontrar algum achado acaba por ser reduzida.

Logo a importância da arqueologia neste tipo de projectos é na generalidade dividida em pelo menos 6 fases do projecto, nomeadamente, na parte do Estudo de Impacte Ambiental em que caso seja exigido pelo IGESPAR se a zona for considerada sensível terá que se proceder a sondas mecânicas ou arqueológicas previamente no local, após essa fase quando existe uma abertura do estaleiro de obra é preciso garantir que a sua execução no caso de nivelamentos de terreno e escavações não danifiquem algum ponto sensível, posteriormente a isso quando a parte de execução se inicia, a abertura de fundições para se colocar os maciços dos postes tem que ter acompanhamento das equipas de profissionais envolvidos no projecto, que após essa escavação ergue-se o poste e será necessário a colocação dos cabos que irão passar por todas as estruturas, durante essa colocação e em toda a extensão desse projecto as equipas só serão necessárias se a colocação das bobinas de cabos eléctricos implicar nivelamentos de terreno e logicamente escavações. Por último, após a finalização da execução do projecto, à semelhança da abertura de estaleiro, quando este é para fechar e, se for necessário, terá que estar presente o acompanhamento arqueológico.



*(1) - Caso seja exigido pelo IGESPAR

*(2) - Caso implique nivelamentos ou aberturas no terreno

4. A execução da obra em cabos subterrâneos.

Com o transporte de energia através de cabos subterrâneos a importância da arqueologia torna-se ainda mais marcante, dado que na interligação dessas subestações deixam de existir escavações dispersas e passa a existir uma escavação contínua entre ambos os pontos, variando a cota de escavação com o nível de tensão em jogo, pelo que como é lógico quanto maior a tensão maior a profundidade devido à atenuação dos campos magnéticos, uma vez que se tenta conseguir manter uma medida standard para os vários níveis de tensão, e também às questões de refrigeração dos cabos de transporte de energia, que para o caso de muita alta tensão devido ao facto de os cabos para este nível de tensão serem relativamente robustos e difíceis de se moldar implica que para facilitar a sua passagem na maior parte dos casos se crie previamente uma infra-estrutura em condutas e posteriormente se efectue a passagem no seu interior mantendo desta forma somente abertas as extremidades das

condutas, evitando principalmente o incómodo para as populações da existência de uma vala aberta ao longo de todo o percurso.

Se o traçado passar numa zona habitacional, tem, por lei, salvo casos excepcionais devidamente justificados, de seguir o alinhamento da estrada podendo originar uma diferença de cotas pois pode existir a necessidade de ter que se afundar ou subir a infra-estrutura de forma a passar por obstáculos presentes no terreno que podem ser outras infra-estruturas como caso de água, gás, esgotos, telefones, etc., pois como estamos na presença de um cabo eléctrico ao estar em carga, ou seja, em serviço e ser percorrido por uma corrente, origina a criação de um campo magnético cuja intensidade varia com a corrente em jogo, por sua vez, se estivermos perto de outras infra-estruturas esse campo magnético poderá provocar indução nas mesmas, logo não só é necessário garantir o afastamento suficiente para que não se juntem infra-estruturas diferentes, mas também tentar garantir que se mantenha uma distância suficiente para evitar essa indução, problema esse que não se verifica caso o projecto seja em linha aérea pois ao garantir as distâncias mínimas de segurança já estaremos salvaguardados. Pode também existir algum tipo de achado arqueológico que não pode ser afectado e, que em último caso, se não houver forma de ser ultrapassado, obriga a que o traçado inicialmente previsto tenha de ser alterado, o que pode ser prejudicial para a evolução do projecto pois este tipo de infra-estruturas são demoradas e caso seja perto de zonas com habitações isto implica um transtorno acrescido, uma vez que existe não só a passagem prévia da infra-estrutura, como também, se esta já estiver totalmente concluída, o caminho alternativo tem que ser definido e isto pode demorar tempo e tem que ser conectado com parte do percurso já efectuado originando uma reabertura do local.

Sendo estes projectos tão extensivos ao nível de aberturas de terreno, logicamente que exigem um acompanhamento mais constante por parte dos arqueólogos na altura exacta da abertura, porque neste tipo de abertura de valas por questões de segurança e devido ao facto de para este nível de tensão as valas terem em média cotas de escavação de 1,90 m de profundidade, não permitindo a exclusão da protecção às pessoas que vão estar no seu interior, as valas têm de ter entivação [3], originando que, logo após a abertura da mesma tem que ser colocada a entivação nas zonas laterais e, conseqüentemente, o terreno é coberto com os painéis, impossibilitando a visualização das valas.

Desta forma a importância da arqueologia irá repercutir-se em mais fases do projecto. À semelhança do projecto de linhas aéreas na sua fase inicial, o estudo de impacte ambiental, e caso seja necessário proceder a sondas mecânicas ou arqueológicas, é preciso a participação por parte da arqueologia e volta igualmente a ser necessário na abertura do estaleiro caso existam nivelamentos de terra que impliquem escavações. Como explicado anteriormente a execução deste tipo de projectos tem algumas diferenças o que origina previamente a abertura das valas para a colocação da infra-estrutura, podendo ser necessário recorrer a sondas no terreno a fim de se concluir se o traçado previsto para um determinado local não terá impedimentos de outras estruturas já anteriormente colocadas para que o projecto não tenha

de sofrer qualquer tipo de alteração de traçado. Logo nestas duas fases de abertura de valas e sondas, caso seja preciso, o acompanhamento de um arqueólogo é necessário.

Após a abertura da vala e passagem de cabos, as ligações destes serão feitas em estruturas próprias e terão que ser abertas também no terreno as caixas de junção, o que obviamente irá também requisitar a presença de um profissional. À semelhança das linhas aéreas quando as infra-estruturas estão prontas para a passagem dos cabos aquando da colocação das bobinas de cabo, se houver necessidade de nivelamentos de terreno para a colocação das mesmas, estes nivelamentos terão que ser logicamente acompanhados, bem como na parte de fecho de estaleiro, nas condições faladas anteriormente, pode ser necessário a presença das equipas de profissionais envolvidas.



*(1) - Caso seja exigido pelo IGESPAR

*(2) - Caso implique nivelamentos ou aberturas no terreno

5. Coordenação com a Arqueologia.

A importância da presença dos arqueólogos na fase abertura tem que ser muito bem coordenada com as pessoas responsáveis pela execução do projecto, porque a decisão de que frentes são as próximas a abrir e qual a previsão temporal só compete aos mesmos, logo só com uma perfeita comunicação entre ambos se consegue fazer a ponte e assim coordenar perfeitamente as equipas de arqueólogos envolvidas onde cabe logicamente a estes decidir onde podem vir a ser mais ou menos importantes no decorrer do trabalho. Este tipo de projectos não tem a obrigação de seguir o traçado ininterruptamente, porque para além disso existem vários factores que o impossibilitam, existindo vários troços onde decorrem aberturas em simultâneo possibilitando ganhar tempo global de obra, tentando assim manter os prazos estabelecidos pelos donos de obra, pelo que estas equipas de arqueólogos podem ter várias frentes de obra em simultâneo, cabendo-lhes a eles, consoante as amostras anteriores, decidirem o que é mais ou menos importante acompanhar.

6. Conclusão.

Com isto pode concluir-se que a mudança de tecnologia no transporte de energia de linhas aéreas para cabos subterrâneos irá originar directamente um aumento da importância da arqueologia e do acompanhamento que é pedido aos profissionais envolvidos nos projectos.

Concluí-se também que se não existir uma boa coordenação entre as equipas de Arqueólogos envolvidos e as pessoas responsáveis pela execução da obra estes poderão não ter acesso a informação valiosa em relação a que aberturas se irão efectuar e as bases temporais o que poderá originar o prejuízo da sua função na obra.

Referências:

[1] *Decreto Regulamentar n.º 1/92* de 18 de Fevereiro de 1992.

[2] *Estimativas de População Residente* fonte INE de 29 de Maio de 2008.

[3] *Decreto-lei n.º 41 821, de 11 Agosto de 1958, Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil.*