



INDUÇÃO ELECTROMAGNÉTICA ORIGINADA PELAS LINHAS ELÉCTRICAS E MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS SOBRE AS ESTRUTURAS CONDUTORAS VIZINHAS



Programa de Trabalhos *Apresentação e Descrição Sumária*

Dezembro de 2015



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA



Campo de Aplicação

Este programa de trabalhos destina-se às linhas eléctricas aéreas, em corrente alternada, de MT, AT e MAT¹ equipadas com cabos condutores nus.

Introdução e Objectivos

Os campos electromagnéticos originados pelo funcionamento das linhas eléctricas induzem correntes e tensões em objectos condutores vizinhos. Em muitos casos esses objectos não estão devidamente ligados à terra e as pessoas podem experimentar choques eléctricos quando entram em contacto com os mesmos.

Quando esses objectos vizinhos são de grandes dimensões ou constituem estruturas metálicas extensas, aramados de suporte de frutícolas, em particular de vinhas, é necessário adoptar medidas para prevenir ou eliminar esses choques que na maior parte dos casos são apenas incómodos.

Tendo em vista a definição de metodologias para análise destas ocorrências e a minimização ou eliminação das suas incidências sobre as pessoas a EGSP estabeleceu um programa de trabalho específico, com as seguintes três etapas:

- Desenvolvimento de *software* para cálculo das tensões e correntes induzidas em estruturas lineares na vizinhança de linhas eléctricas.
- Desenvolvimento de soluções para ligações à terra eficazes, duradouras e economicamente viáveis.
- Estabelecimento de metodologias e critérios de projecto com vista a:
 - Determinar, em cada caso, a necessidade de realizar as ligações à terra.
 - Determinar, em cada caso, as partes a ligar à terra.
 - Estabelecer, para cada caso, as soluções construtivas a executar.

¹ Em Portugal a designação MT, média tensão, compreende as tensões acima de 1.000 V e inferiores a 60.000 V, AT, alta tensão, compreende as tensões entre 60.000 V e 110.000 V, MAT, muito alta tensão, acima de 110.000 V. Segundo EN 60071, MV, média tensão, compreende a gama entre 1.000 e 45.000 V, HV, alta tensão, entre 45.000 V e 300.000 V, EHV, extra-alta tensão, entre 300.000 V e 750.000 V e UHV, ultra-alta tensão, acima de 800.000 V.

- Verificação das tensões induzidas após a realização das ligações à terra².

A primeira etapa deste programa encontra-se concluída, decorrendo actualmente a verificação da conformidade dos resultados do *software* com as medições realizadas nos dias 14 e 15 de Outubro de 2015, sobre uma estrutura linear instalada sob a linha a 400 kV³ Rio Maior-Alto de Mira, no vão entre os apoios 30 e 31, na zona do Cadaval. Os registos das medições constam no **“RELATÓRIO DE ENSAIO 06676/15-TE/AT”**.

A segunda etapa do programa de trabalho está já em curso e comporta, no essencial, aquisição de *software* e de *hardware* específicos e a simulação de eléctrodos de terra com diversas configurações e materiais. Durante esta etapa serão construídos os eléctrodos de terra simulados e medidas as respectivas resistências de terra que serão confrontadas com os valores previamente calculados durante a fase de simulação. É também nesta fase que são estabelecidos os valores máximos a considerar para as tensões induzidas e que são determinantes para a decisão de realizar, ou não, a ligação à terra dos objectos expostos à radiação electromagnética.

Para validação da concepção dos eléctrodos de terra está previsto realizar um novo ensaio sobre aramados de uma vinha atravessada ou exposta a uma ou várias linhas eléctricas de Alta Tensão e/ou de Muito Alta Tensão, na zona do Douro. A localização e data deste ensaio, que não poderá interferir no desenvolvimento natural dos frutos, serão decididas até final de Fevereiro de 2016.

A terceira etapa, que trata no essencial da validação das soluções, realiza-se igualmente em vinha, após a vindima, também na região do Douro.

Lisboa, Dezembro de 2015

² As correntes escoadas para o solo quando as estruturas induzidas possuem ligação à terra são em geral muito baixas (da ordem da dezena de miliampere) pelo que o eventual cálculo das tensões de passo e de contacto não se justifica. Os casos em que as correntes escoadas são significativas representam situações que têm de ser eliminadas através da alteração da linha eléctrica indutora ou da estrutura induzida.

³ 400 kV=400.000 V



INDUÇÃO ELECTROMAGNÉTICA ORIGINADA PELAS LINHAS ELÉCTRICAS E MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS SOBRE AS ESTRUTURAS CONDUTORAS VIZINHAS



Ensaio realizado nos dias 14 e 15 de Outubro de 2015

*“Medições realizadas sob a Linha a 400 kV Rio Maior - Alto de Mira,
no vão entre os apoios 30 e 31, na zona do Cadaval”*



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA



Ensaio Realizado nos Dias 14 e 15 de Outubro de 2015

**"Medições realizadas sob a Linha a 400 kV Rio Maior-Alto de Mira,
no vão entre os apoios 30 e 31, na zona do Cadaval"**

Agradecimento

A EGSP regista com grande apreço a amabilidade e cooperação da Santa Casa da Misericórdia do Cadaval que disponibilizou gratuitamente o seu terreno para instalação dos equipamentos e da estrutura linear que permitiu a realização deste ensaio.

O nosso agradecimento à Santa Casa da Misericórdia do Cadaval.

Entidades que Participaram no Ensaio

- CME – Construção e Manutenção Electromecânica, S. A., fornecedor e instalador da estrutura linear de ensaio.
- LABELEC – Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S. A., realizou as medições e registos constantes do Relatório que constitui o Anexo A.
- ISEL/IST – Desenvolveu o *software* de cálculo das tensões e correntes induzidas e participou na concepção da estrutura linear de ensaio.
- Estereofoto – Geoengenharia, S. A. – Produziu a cartografia da zona do ensaio e realizou as medições das coordenadas dos cabos da linha Rio Maior - Alto de Mira.

Anexos

Anexo A – Relatório de Ensaio 06676/15-TE/AT

Anexo B – Fotografias do Ensaio

ANEXO A

**Relatório de Ensaio
06676/15-TE/AT**

RELATÓRIO DE ENSAIO

06676/15-TE/AT

Medição da Tensão Induzida num Aramado Instalado sob o vão 30-11 da Linha MAT de 400 kV LRMAM, no Cadaval

Laboratório LAB-AT - Laboratório de Alta Tensão

Objeto Medição da tensão induzida num aramado colocado sob uma linha MAT de 400 kV, da resistividade do solo na sua vizinhança e dos campos eletromagnéticos num perfil perpendicular à linha.

Cliente EGSP – ENERGIA E SISTEMAS DE POTÊNCIA LDA

Endereço Largo do Casal Vistoso, nº 2D, 1º Letra E, 1900-142 Lisboa

Registo	06676_15_TE_AT_TRT_EGSP_LRMAM 400kV_Cadaval.pdf		
Data Ensaio	2015-10-14 a 2015-10-15		
Proposta	0342/14 LABELEC		
Encomenda	FNE/F1		
Ref. PAA	N/A		
Distribuição	EGSP		1
	EDP Labelec – LAB-AT		1
Anexos	1		

Data 2015-10-27

NAS FORM ER RI Fne LAB-AT FdA Rev 3 15Jan2014

Índice

1 - Introdução	3
2 - Objeto de ensaio	3
3 - Equipamento utilizado	4
4 - Resultados obtidos	4
5 - Conclusões.....	5

Anexo I – Esquemas de Montagem

Anexo II – Resultados dos Ensaios Efectuados

1 - Introdução

A Área de Testes e Ensaios da Labelec (TE/AT) realizou, por solicitação da EGSP, a medição das tensões induzidas num aramado, por si colocado ao longo do vão 30-31 da Linha MAT LRMAM de 400 kV, sob o condutor central.

O aramado, com um comprimento de 250 m, era constituído por postes de madeira distanciados de 20 m, com três arames de aço galvanizado, isolados, colocados às alturas de 0,85 m, 1,45 m e 2,05 m (ver figura 1 do anexo).

Foram instalados nos extremos e ao centro do aramado dois elétrodos de terra, um com um piquet de cobre e o outro com uma cantoneira de 50x50 mm de aço galvanizado, que serviam para ligar à terra individualmente e alternadamente cada um dos arames.

Os ensaios consistiram no registo das tensões induzidas em cada um dos arames, em diversas condições de ligação destes à terra (todos desligados, ligado o superior num e em dois pontos, ligado o médio, etc.), e nas medições das respetivas correntes de escoamento.

Mediram-se, também, os campos eletromagnéticos num perfil perpendicular à linha acima referida no topo do aramado e no ponto onde esta estava mais próxima de terra, e a resistividade do terreno num dos topos do aramado.

Os ensaios decorreram nos dias 14 e 15 de Outubro de 2015.

2 - Objeto de ensaio

Aramado instalado no vão 30-31 da Linha MAT SRM-SAM sob o condutor central, com as seguintes características:

- Comprimento de 250 m.
- Três arames de aço galvanizado, isolados e colocados à altura de 0,85 m, 1,45 m e 2,05 m.
- Ligações à terra de cada arame, amovíveis, em três pontos: Topos e meio do aramado.
- Dois tipos diferentes de elétrodos de terra, um construído com um piquet de cobre e outro com uma cantoneira de aço galvanizado.
- A distância mínima do arame superior ao condutor da linha era de 15,4 m.
- A distância mínima ao solo do condutor da linha, na área aonde estava instalado o aramado, era de 10,7 m.

3 - Equipamento utilizado

No registo das diversas grandezas foram utilizados equipamentos, com as seguintes características

	Equipamentos de medição		
	Tensões e Correntes	Resistividade	Campo Elétrico e Magnético
Marca	TEKTRONIX	FLUKE	PMM
Modelo	TDS 2014	1623	8053A + EHP50A
Nº Série	C033364	S061903523B2	0020J00906/352WN60312

4 - Ensaios efetuados e Resultados obtidos

4.1. Medição das Tensões Induzidas e das Correntes Escoadas para a Terra

Efetuaram-se medições das tensões induzidas, em cada um dos topos do aramado, nas seguintes condições:

- Todos os arames desligados da terra.
- Um dos arames ligado à terra, alternadamente, no Piquet e na cantoneira num dos topos do aramado.
- Um dos arames ligado à terra, alternadamente, no Piquet e na cantoneira nos dois topos do aramado.
- Um dos arames ligado à terra, alternadamente, no Piquet e na cantoneira nos dois topos do aramado e a meio.

Mediu-se, ainda, a corrente na ligação à terra, nos dois topos do aramado.

Na Figura 1 do Anexo I, apresenta-se o esquema de medições usado para o registo das tensões e correntes dos arames. Nas Figuras 7, 8 e 9 apresentam-se as formas de onda obtidas neste ensaio. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados no Quadro 1 do Anexo II.

4.2. Medição dos campos eletromagnéticos na linha

Mediram-se os campos eletromagnéticos ao longo de um perfil, perpendicular à linha, num dos topos do aramado, ver Figura 2 e no ponto do vão onde os condutores estavam mais próximos do solo.

Realizaram-se medições a 0,65 m, 1,45 m e 2,05 m do solo nos pontos acima indicados.

Os resultados obtidos encontram-se sintetizados nos Quadros 2 (Resumo) e 3 (Resultados) do Anexo II. Os diagramas de carga da linha encontram-se também apresentados no Anexo II, nomeadamente nas Figuras 9 (dia 14/10/2015) e 10 (dia 15/10/2015).

4.3. Medição da resistividade do solo

Na medição da resistividade do solo em função da profundidade, utilizou-se o método de “Wenner”.

Mediu-se a resistividade do solo num local próximo de um dos topos do aramado, suficientemente afastado dos seus elétrodos de terra, num terreno idêntico àquele onde estava instalado o aramado.

A partir do resultado obtido foi elaborado o gráfico correspondente, representado na Figura 4 do Anexo II.

5 - Conclusões

Este relatório tem como finalidade apresentar de maneira ordenada os resultados obtidos nos ensaios não cabendo no seu âmbito a análise dos mesmos.

Elaborado por



Luís Rocha
(Autor)

Aprovado por



Jorge Simões Alves
(Responsável Técnico)

Figura 1
Características do Aramado e Esquema de Medições

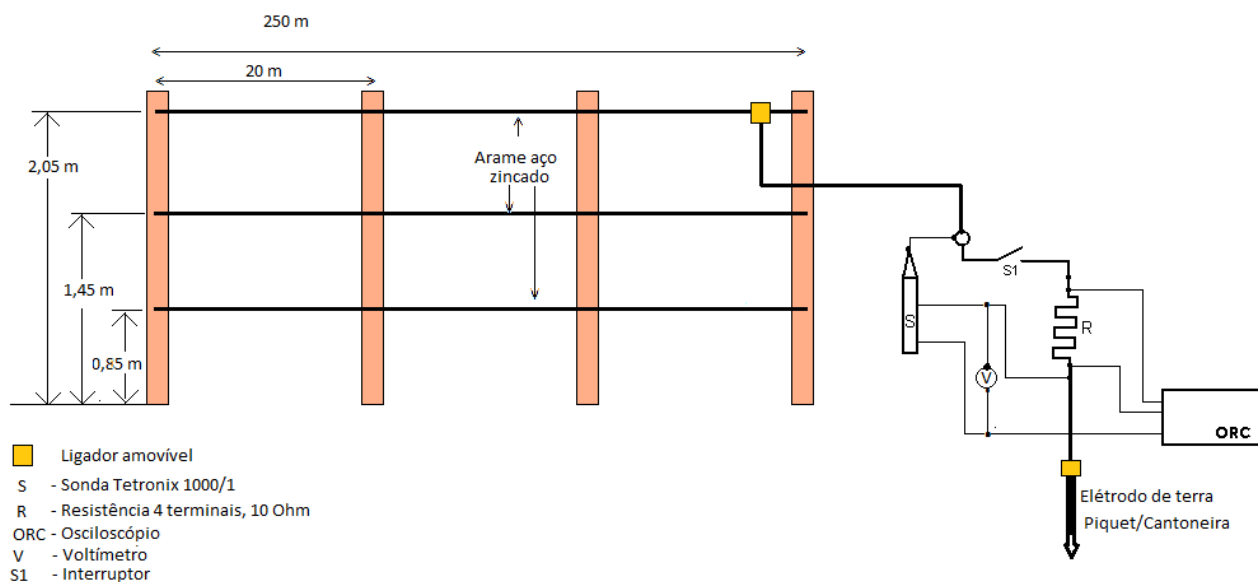
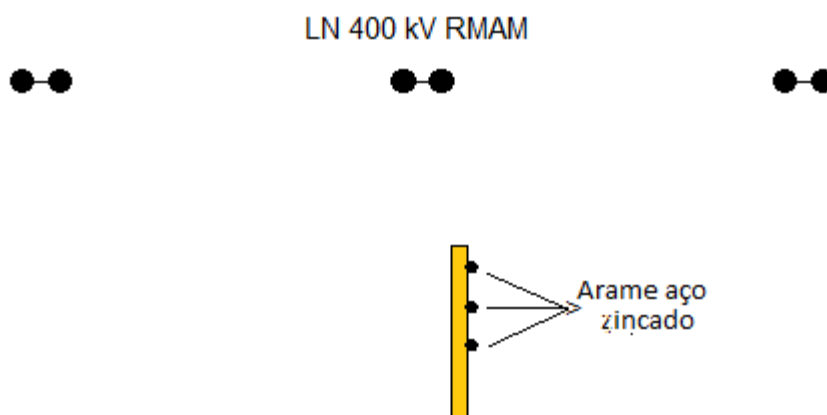


Figura 2
Vista de Perfil do Aramado sob a LN 400kV RMAM



Quadro 1
Medição das Tensões Induzidas e da Corrente de Escoamento à Terra

Ensaio			Grandezas Medidas			
Dia	Local	Descrição	U _{SUPERIOR} [V]	U _{MEIO} [V]	U _{INFERIOR} [V]	I _{ESC.} [mA]
14/10	Topo Apoio 31	Sem Ligação à Terra (Arame Isolados)	1746,0	1109,0	595,0	----
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Copperweld)	1548,0	0,0	431,0	----
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Cantoneira)	1546,0	0,0	437,0	----
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Copperweld no Outro Extremo)	1567,0	0,0	437,0	----
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Copperweld nas Duas Extremidades)	----	----	----	19,0
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Copperweld nas Duas Extrem. e no Pto. Intermédio)	----	----	----	18,5
14/10	Topo Apoio 31	Arame do Meio Ligado à Terra (Cantoneira nas Duas Extrem. e no Pto. Interm.)	----	----	----	26,0
15/10	Topo Apoio 30	Sem Ligação à Terra (Arame Isolados)	1740,0	1082,0	580,0	----
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Copperweld)	0,0	796,0	443,0	----
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Cantoneira)	0,0	770,0	458,0	----
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Copperweld nas Duas Extremidades)	0,0	796,0	443,0	11,0
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Cantoneira nas Duas Extremidades)	0,0	785,0	450,0	6,0
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Copperweld nas Duas Extrem. e no Pto. Intermédio)	0,0	796,0	443,0	10,3
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra (Cantoneira nas Duas Extrem. e no Pto. Intermédio)	0,0	785,0	450,0	4,3
15/10	Topo Apoio 30	Arame Superior Ligado à Terra através de 1 Resistência de 1241 Ω	----	----	----	1,03

Quadro 2
Resumo Resultados de Campos Eletromagnéticos

Localização	Data e Hora	Condições ambientais		E máx. (V/m)	B máx (μ T)	Carga Linha (A)	*B máx previsível (μ T)
		(°C)	(%)				
Perfil 1 (Ortogonal à LN)	14/10/2015 12:00	21,0	53,5	2641	6,00	474	25,32
Perfil 2 (Junto ao Aramado)	15/10/2015 11:00	23,2	40,7	1600	3,84	337	22,82
Ponto + Baixo da Linha	15/10/2015 12:30	25,2	40,3	5460	5,30	315	33,70

(*) O valor do campo B máx previsível foi calculado com base nos valores fornecidos da carga da linha e do campo máximo medido (B máx), podendo não corresponder a um valor real. Carga máxima da linha é de 1386 MVA, o que equivale a 2000 A, assumindo que as variações na tensão em relação ao seu valor nominal são negligenciáveis.

Quadro 3
Resultados Obtidos de Campo E e H nos Perfis 1 e 2

Perfil	Dia	Ponto	E (V/m)			B (μ T)		
			0,85 m	1,45 m	2,05 m	0,85 m	1,45 m	2,05 m
1	14/10	0	1000	1455	1620	5,30	5,15	6,00
1	14/10	1	1044	1290	1555	5,30	5,20	6,00
1	14/10	2	950	1215	1400	5,30	5,17	5,74
1	14/10	3	1025	1216	1440	5,23	5,07	5,58
1	14/10	4	1275	1350	1680	5,16	5,05	5,57
1	14/10	5	1735	1696	1840	5,02	4,80	5,37
1	14/10	6	2220	1805	1860	4,82	4,74	5,11
1	14/10	7	2452	1857	1930	4,50	4,55	4,82
1	14/10	8	2641	1900	1890	4,15	4,17	4,50
1	14/10	9	2510	1940	1902	3,85	3,83	4,10
1	14/10	10	2305	1938	1900	3,31	3,43	3,70
1	14/10	11	2280	1916	1880	3,89	3,10	3,30
1	14/10	12	1154	1420	1615	5,18	5,73	5,35
1	14/10	13	1150	1420	1625	5,01	5,58	5,08
1	14/10	14	1475	1730	1955	4,89	5,40	5,00
1	14/10	15	1940	1927	2075	4,56	5,17	4,77
1	14/10	16	2230	1950	2140	4,50	4,94	4,53
1	14/10	17	2533	1925	2070	4,07	4,52	4,19
1	14/10	18	2460	1870	1926	3,82	4,22	3,80
1	14/10	19	2370	1907	1865	3,46	3,75	3,47
1	14/10	20	2210	1836	1807	3,18	3,34	3,10
2	15/10	1	1094	1230	1600	3,6	3,33	3,84

Figura 3
Diagrama de Localização das Medições de Campo Elétrico e Magnético

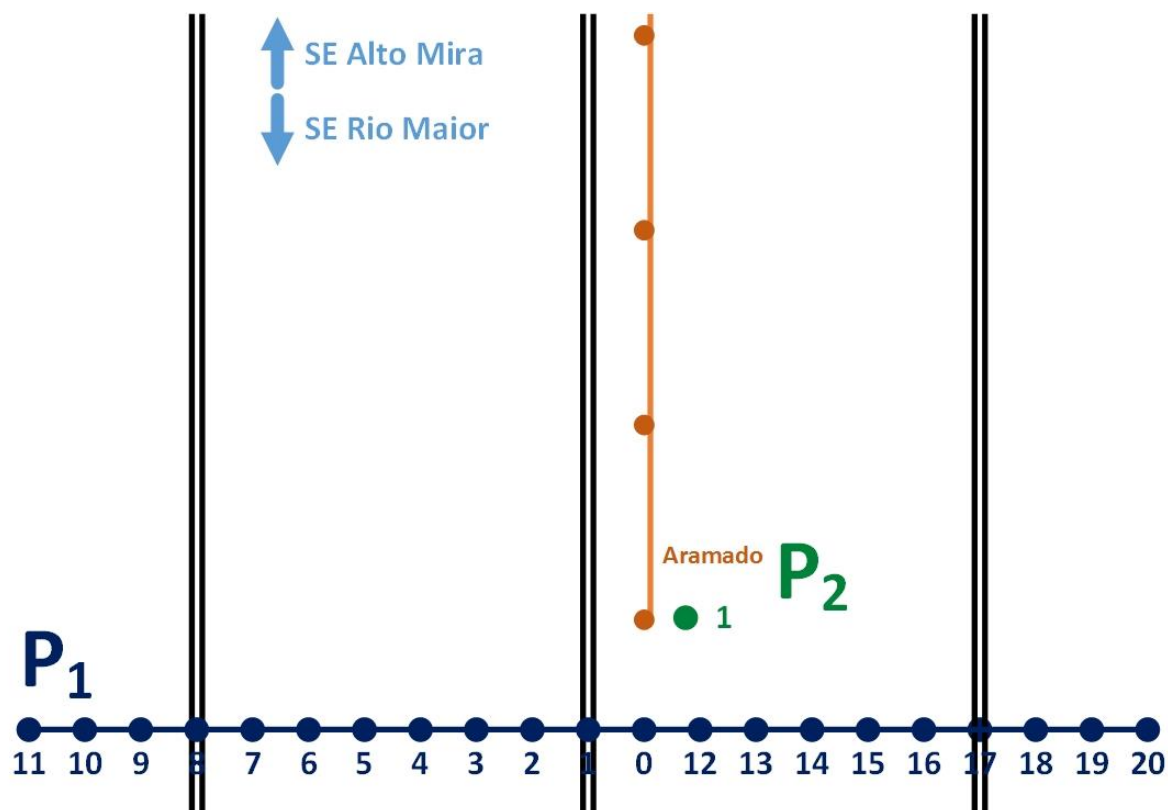


Figura 4
Resistividade do Solo



Figura 5

Forma de Onda da Tensão no Arame Inferior (Sem Ligação à Terra) – Topo Apoio 30 – Valor RMS: 580 V

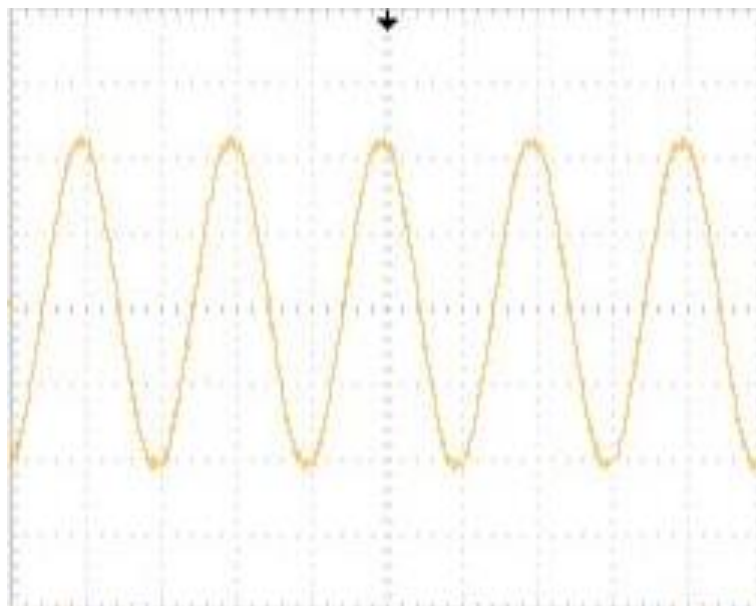


Figura 6

Forma de Onda da Tensão no Arame do Meio (Sem Ligação à Terra) – Topo Apoio 30 – Valor RMS: 1082 V

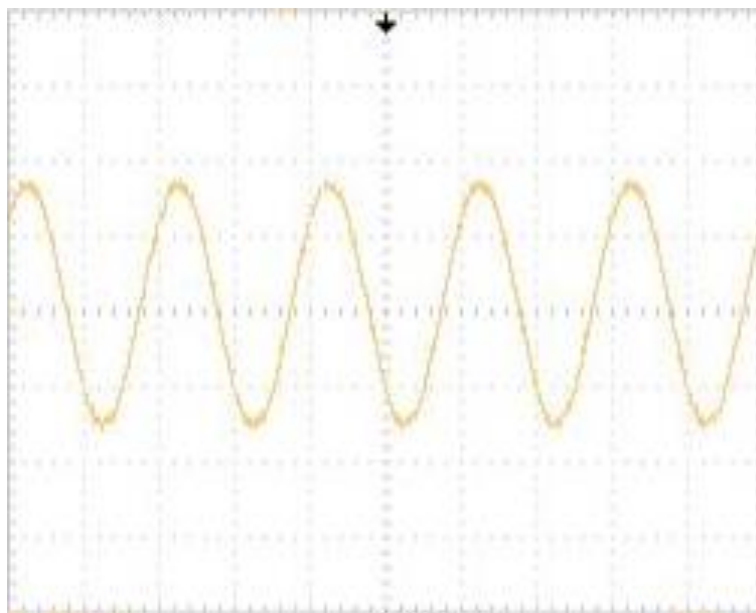


Figura 7

Forma de Onda da Tensão no Arame Superior (Sem Ligação à Terra) – Topo Apoio 30 – Valor RMS: 1740 V

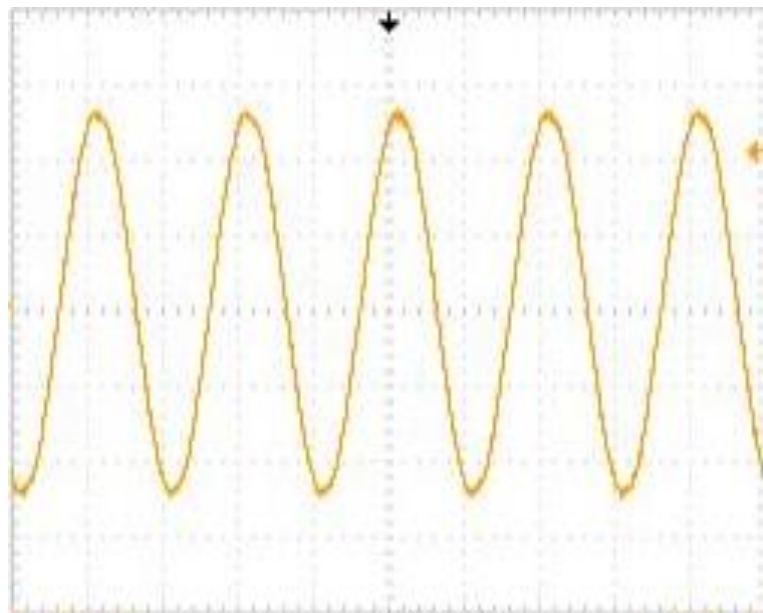


Figura 8

Transitório de Ligação da Resistência de 1241 Ω (Ligada à Terra) ao Arame Superior – Topo Apoio 30 – Valor RMS da Corrente: 1,03 mA

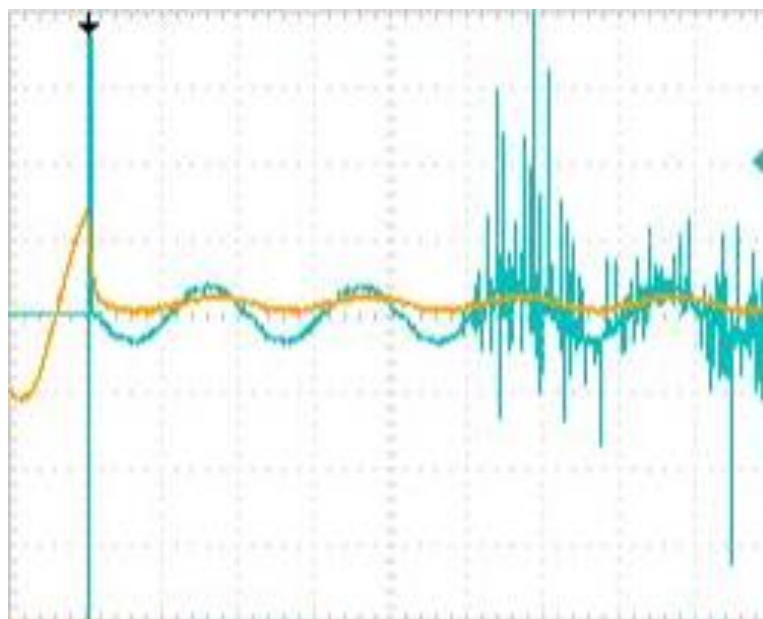


Figura 9

Diagrama de Carga da Linha 400kV LNRMM – Dia 14/10/2015

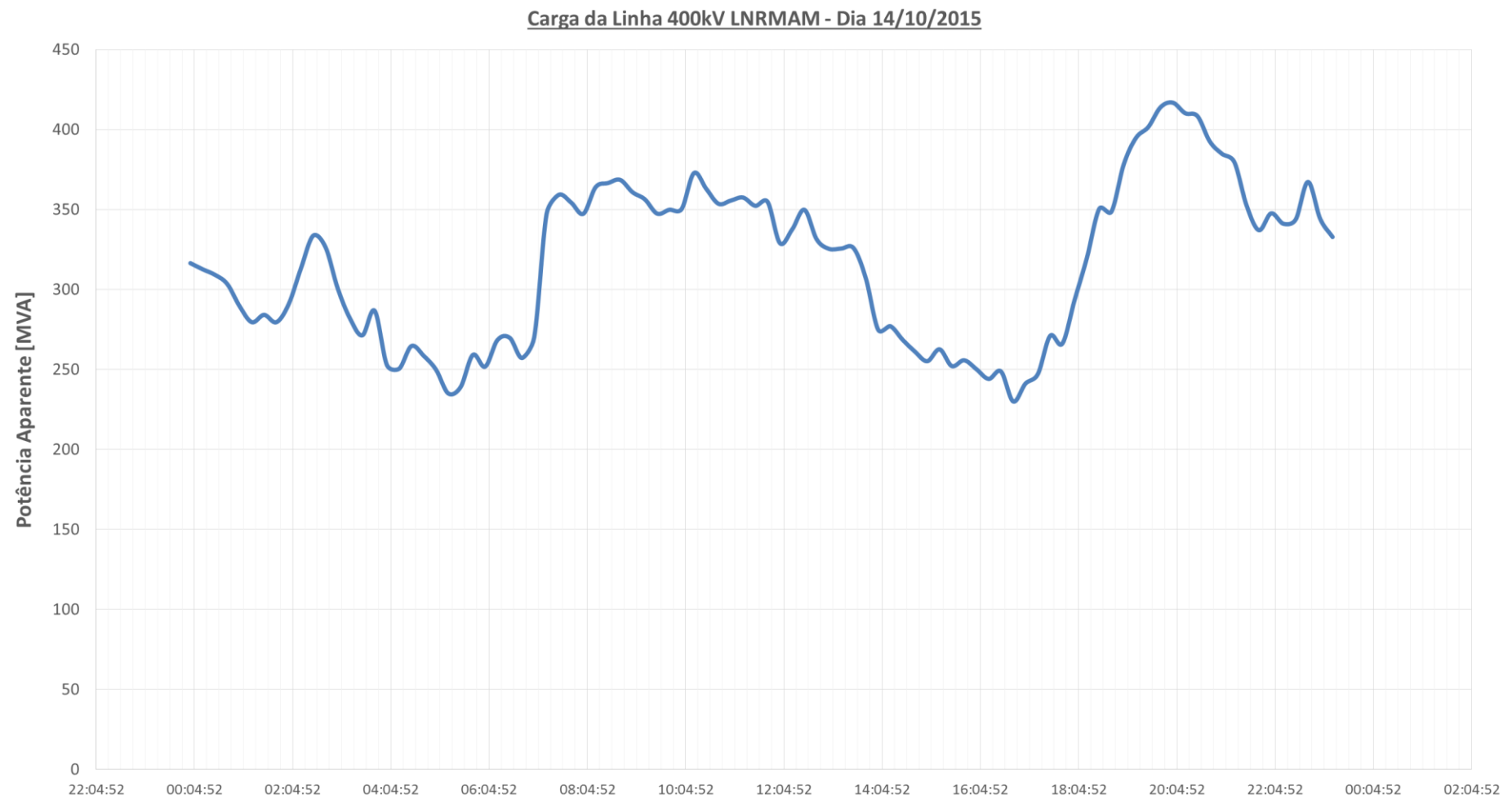
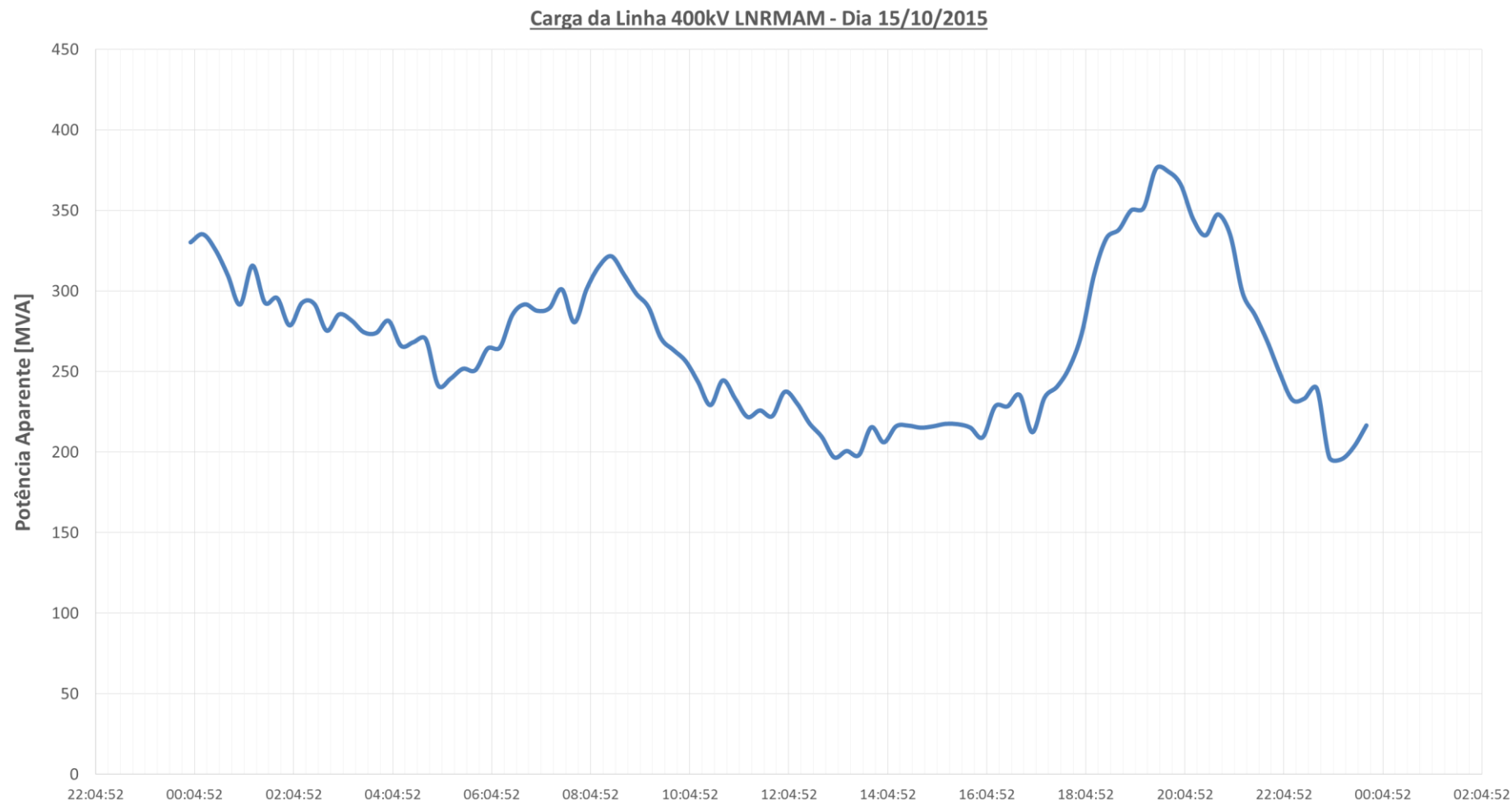


Figura 10

Diagrama de Carga da Linha 400kV LNRMM – Dia 15/10/2015



ANEXO B

Fotografias do Ensaio

ANEXO B



Figura 1 - Local do Ensaio



Figura 2 - Local do Ensaio

ANEXO B



a) Piquet em *copperweld*



b) Perfilado em aço galvanizado

Figura 3 – Eléctrodos de terra utilizados



Figura 4 – Medição da resistividade do solo

ANEXO B



Figura 5 – Preparação do equipamento para medição da tensão induzida



Figura 6 – Medição do campo eléctrico e da indução magnética ao longo de um perfil transversal
à linha Rio Maior – Alto Mira

ANEXO B



Figura 7 – Medição da tensão induzida – um dos arames ligado à terra – com piquet



Figura 8 – Medição do campo eléctrico e da indução magnética sob o condutor lateral