

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Desenvolvimento de Plataforma Computacional  
para Gestão e Otimização de Especificações  
Técnicas para Condutores Aéreos**

Miguel Nuno Marques Meireles

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura  
Co-orientador: Eng.<sup>a</sup> Alda Rodrigues Sousa

Fevereiro 2017



## Resumo

Atualmente, é do interesse de qualquer empresa o desenvolvimento de procedimentos e ferramentas que permitam aumentar a eficiência, qualidade e, acima de tudo, o rendimento de trabalho da mesma. Num mercado tão exigente como o de fabrico de cabos e condutores elétricos, torna-se fundamental para cada empresa do setor, a adoção destas metodologias, em virtude de se fomentar o lucro empresarial.

Neste sentido, foi proposto pela SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., a continuação do desenvolvimento de uma plataforma computacional para a gestão e otimização das especificações técnicas de condutores aéreos, na qual são calculadas todas as características dimensionais e elétricas dos diferentes tipos de cabos nus fabricados pela empresa, de acordo com as normas técnicas aplicáveis, introduzidas numa base de dados criada especificamente para o efeito.

Para a realização deste projeto de dissertação, foi, então, necessário um estudo aprofundado das características dimensionais e elétricas de cada tipo de cabo nu, assim como a sua constituição. Foi também indispensável uma análise bastante rigorosa de todas as normas técnicas aplicáveis a estes tipos de cabos, evidenciando todas as etapas inerentes à sua construção.

Inúmeras vantagens advêm do uso desta plataforma face ao método atual de criação de fichas técnicas, sendo as principais a diminuição do tempo de resposta a uma consulta técnica, a possibilidade de realizar atualizações em massa das especificações perante modificações e revisões das normas técnicas de construção e estabelecimento de um critério para controlo documental das fichas técnicas.

No final, são apresentadas todas as conclusões do trabalho desenvolvido nesta dissertação, analisando casos de estudo para o preenchimento de fichas técnicas de condutores aéreos.



# Abstract

*Nowadays, it is in the interest of any company to develop procedures and tools to increase efficiency, quality and, above all, the company's work income. In a market as demanding as the manufacture of cables and electric conductors, it is fundamental for each company in the industry, the adoption of these methodologies, by virtue of fostering business profits.*

*In this sense, SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., proposed the continuation of the development of a computational platform for the management and optimization of the technical specifications of bare conductors, in which all the dimensional and electrical characteristics of the different types of bare cables manufactured by the company are calculated, in accordance with the applicable technical standards, placed into a database created specifically for this purpose.*

*In order to carry out this dissertation project, it was necessary to conduct a detailed study of the dimensional and electrical characteristics of each type of bare cable, as well as its constitution. A very rigorous analysis of all the technical standards applicable to these types of cables was also indispensable, showing all the steps inherent to their construction.*

*Numerous advantages come from the use of this platform in relation to the current method of creating technical specifications, the main ones being the reduction of the response time to a technical consultation, the possibility of performing mass upgrades of the specifications in face of modifications and revisions of the technical standards of construction and the establishment of a standard for documentary control of the datasheets.*

*In the end, all the conclusions of the work developed in this dissertation are presented, analysing case studies to fill in the technical data sheets of aerial conductors.*



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer, do fundo do coração, aos meus familiares, em especial, aos meus pais e irmã por todo o apoio que me prestaram ao longo de toda a minha vida e que com toda a sua força e motivação me levaram a ser a pessoa que sou hoje.

À minha avó pelo carinho prestado ao longo desta caminhada.

Aos meus orientadores, o Professor Doutor António Machado e Moura pela ajuda e pela amabilidade, estando sempre presente e à Eng<sup>a</sup>. Alda Sousa o maior dos agradecimentos pela confiança, disponibilidade e acompanhamento diário. Sem esquecer, a Eng<sup>a</sup>. Carolina Gaifém por toda a prontidão de auxílio na realização deste projeto.

Ao Departamento de Informática, nomeadamente, à Eng<sup>a</sup>. Verónica pela paciência e ajuda fundamentais, tendo o seu óbvio contributo nesta dissertação.

Ao Departamento dos Recursos Humanos, em especial, à Dra. Elvira Morais pela simpatia demonstrada desde o primeiro dia e pela ajuda concedida relativamente à minha integração dentro da empresa.

À administração da empresa, especialmente ao Eng.º. José Cardoso Pereira, por tornar possível a realização deste projeto na SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A.

A todos os meus amigos, que com todas as suas palavras de apressado e carinho, me mantiveram sempre concentrado e motivado, superando sempre qualquer obstáculo.

A todos, o meu muito obrigado!

Miguel Meireles



# Índice

Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos .....	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras .....	xii
Lista de tabelas .....	xvi
Abreviaturas e Símbolos .....	xviii
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 - Objetivos da Dissertação .....	2
1.2 - Estrutura da Dissertação.....	3
1.3 - SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A.....	4
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>6</b>
Linhas Aéreas MT e AT: Condutores e restantes constituintes.....	6
2.1 - Principais constituintes de Linhas Aéreas MT e AT .....	7
2.1.1 - Condutores .....	7
2.1.1.1 - Condutores de alumínio AAC ( <i>All Aluminium Conductors</i> ).....	8
2.1.1.2 - Condutores de liga de alumínio AAAC ( <i>All Aluminium Alloy Conductors</i> ).....	9
2.1.1.3 - Cabos de alumínio com alma de aço do tipo ACSR ( <i>Aluminium Conductors Steel Reinforced</i> ) .....	10
2.1.1.4 - Cabos de liga de alumínio com alma de aço do tipo AACSR ( <i>Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced</i> ).....	11
2.1.1.5 - Cabos de alumínio com alma de liga de alumínio do tipo ACAR ( <i>Aluminium Conductor Alloy Reinforced</i> ) .....	12
2.1.1.6 Vantagens e aplicações de condutores elétricos.....	13
2.1.1.7 - Proteção dos condutores elétricos contra a corrosão.....	15
2.1.2 - Cabos de guarda .....	18
2.1.2.1 - Cabos de guarda - Espias de Aço e Espias de ACS.....	19
2.1.2.2 - Cabos de guarda - <i>O.P.G.W.</i> .....	20
2.1.3 - Isoladores .....	21
2.1.4 - Apoios .....	23
2.1.5 - Armações .....	25
2.1.6 - Sistemas de ligação à terra .....	26
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>28</b>
Ciclo de Produção de Cabos Nus .....	28
3.1 - Receção dos Lingotes .....	30
3.2 - Fundição do Material .....	30

3.3 - Vazamento e Laminagem.....	31
3.4 - Recozimento e Têmpera de Varão.....	31
3.5 - Trefilagem .....	32
3.6 - Cableamento do Condutor .....	32
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>34</b>
Caraterísticas Dimensionais e Elétricas.....	34
4.1 - Caraterísticas Dimensionais.....	34
4.1.1 - Diâmetro do Condutor .....	34
4.1.2 - Secção do Cabo .....	35
4.1.3 - Peso do Condutor .....	35
4.2 - Caraterísticas Elétricas .....	37
4.2.1 - Perdas Elétricas .....	37
4.2.1.1 - Perdas Joule .....	37
4.2.1.2 - Ganho Solar Térmico.....	37
4.2.1.3 - Perdas por Radiação .....	38
4.2.1.4 - Perdas por Convecção .....	38
4.2.2 - Capacidade de Transporte de Corrente (Current Carrying Capacity) .....	39
4.2.3 - Resistência Elétrica .....	39
4.2.3.1 - Resistência Elétrica em Corrente Contínua .....	40
4.2.3.2 - Resistência Elétrica em Corrente Alternada .....	40
4.2.3.3 - Resistência Elétrica Máxima a 20 °C.....	42
4.2.4 - Reatância Indutiva.....	42
4.2.5 - Reatância Capacitiva.....	44
4.2.6 - Elongação de condutores cableados.....	44
4.2.6.1 - Elongação Térmica .....	45
4.2.6.2 - Propriedades de tensão-deformação.....	46
4.2.6.3 - Módulo de Elasticidade Final .....	47
4.2.6.4 - Deformação total num condutor.....	48
4.2.6.5 - Perda de Força/Resistência .....	48
4.2.7 - Máximo comprimento do condutor nas bobinas .....	48
4.2.8 - Fator de Acondicionamento .....	49
4.2.9 - Espaço Livre da última camada do condutor .....	50
4.2.10 - Carga de Rutura Nominal .....	51
4.2.11 - Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito .....	52
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>54</b>
Desenvolvimento da Plataforma Computacional .....	54
5.1 - Enquadramento .....	54
5.2 - Análise e Estudo das Normas Técnicas.....	55
5.3 - Interface da Plataforma e Base de Dados .....	59
5.3.1 - Tipos de Variáveis .....	60
5.4 - Espias ACS - Exemplo de Criação de Cabo na Plataforma .....	63
5.4.1 - Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas .....	64
5.4.2 - Variáveis de Fichas Técnicas .....	66
5.4.3 - Tabelas de Apoio de Fichas Técnicas .....	68
5.4.4 - Tabelas de Texto de Fichas Técnicas .....	69
5.4.5 - Modelos de Fichas Técnicas.....	70
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>72</b>
Casos de Estudo e Resultados .....	72
6.1 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo AAC .....	72
6.1.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica.....	73
6.1.2 - Grupo - Fios de Alumínio .....	73
6.1.3 - Grupo - Condutor Completo AAC .....	75
6.1.4 - Ficha Técnica Final.....	76
6.2 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo ACAR.....	77
6.2.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica.....	78

6.2.2 - Grupo - Fios de Alumínio .....	78
6.2.3 - Grupo - Fios de Liga de Alumínio .....	79
6.2.4 - Grupo - Condutor Completo Cabo ACAR .....	80
6.2.5 - Ficha Técnica Final .....	82
6.3 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Espias de Aço.....	84
6.3.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica .....	84
6.3.2 - Grupo - Fios de Aço Galvanizado.....	84
6.3.3 - Grupo - Condutor Completo Espias de Aço .....	86
6.3.4 - Ficha Técnica Final .....	88
6.4 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo O.P.G.W.....	89
6.4.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica .....	89
6.4.2 - Grupo - Fios de Aço Revestido a Alumínio (ACS) .....	90
6.4.3 - Grupo - Fios de Liga de Alumínio .....	91
6.4.4 - Grupo - Componente Ótica.....	93
6.4.5 - Grupo - Condutor Completo Cabo O.P.G.W. ....	94
6.4.6 - Ficha Técnica Final .....	97
<b>Capítulo 7 .....</b>	<b>101</b>
Conclusões e Perspectivas futuras .....	70
7.1 - Conclusões .....	101
7.2 - Perspetivas Futuras.....	103
<b>Anexo A.....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo B.....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo C.....</b>	<b>114</b>
<b>Referências .....</b>	<b>120</b>

# Lista de figuras

Figura 2.1 - Condutor nu [6]. .....	8
Figura 2.2 - Condutor de alumínio AAC. ....	9
Figura 2.3 - Condutor de liga de alumínio AAAC. ....	10
Figura 2.4 - Cabo de alumínio com alma de aço do tipo ACSR.....	11
Figura 2.5 - Cabo de liga de alumínio com alma de aço do tipo AACSR.....	12
Figura 2.6 - Cabo de alumínio com alma de liga de alumínio.....	13
Figura 2.7 - Aplicação de massa protetora, caso 1 [1]. ....	15
Figura 2.8 - Aplicação de massa protetora, caso 2 [1]. ....	15
Figura 2.9 - Aplicação de massa protetora, caso 3 [1]. ....	16
Figura 2.10 - Aplicação de massa protetora, caso 4 [1]. ....	16
Figura 2.11 - Coeficiente k para cálculo do incrementento de massa devido à lubrificação, segundo a norma EN 50182. ....	17
Figura 2.12 - Exemplificação de uma descarga atmosférica nos casos de presença (A) e ausência (B) de cabo de guarda, evidenciando o local do defeito e os pontos de escoamento possíveis em cada [15]. ....	19
Figura 2.13 - Constituição possível de um cabo O.P.G.W. [1]. ....	19
Figura 2.14 - Constituição de um cabo de guarda de aço com 19 fios [1]. ....	20
Figura 2.15 - Exemplo de um cabo O.P.G.W. ....	20
Figura 2.16 - Constituição possível de um cabo O.P.G.W. [1].. ....	21
Figura 2.17 - Isoladores Rígidos [6].. ....	21
Figura 2.18 - Isoladores de cadeia [6].....	22
Figura 2.19 - Cadeia de Isoladores em Suspensão [8].. ....	22
Figura 2.20 - Cadeia de Isoladores em Amarração [8].. ....	23
Figura 2.21 - Apoio de alinhamento [7].....	23
Figura 2.22 - Apoio de Ângulo [7].....	24
Figura 2.23 - Apoio de Fim de Linha [7].. ....	24
Figura 2.24 - Apoio de Derivação [10].. ....	24

<b>Figura 2.25</b> - Apoio de Reforço [10].. .. .	24
<b>Figura 2.26</b> - Diferentes tipologias de armações (da esquerda para a direita): esteira vertical dupla, esteira horizontal, galhardete e triângulo [2].. .. .	25
<b>Figura 2.27</b> - Esteira Vertical [10].. .. .	25
<b>Figura 2.28</b> - Esteira Horizontal [10].. .. .	26
<b>Figura 2.29</b> - Galhardete [10].....	26
<b>Figura 2.30</b> - Triângulo [10].....	26
<b>Figura 2.31</b> - Sistema de ligação à terra, em postes de betão e postes metálicos, respetivamente [2].....	27
<b>Figura 3.1</b> - Etapas do Ciclo de Produção de um Cabo Nu.. .. .	29
<b>Figura 4.1</b> - Incremento de massa devido ao cableamento, segundo a norma <i>EN 50182</i> ... .. .	36
<b>Figura 4.2</b> - Efeito Pelicular num condutor [11].. .. .	41
<b>Figura 4.3</b> - Efeito de Proximidade num condutor [11]... .. .	41
<b>Figura 4.4</b> - Fator de camadas, segundo a norma <i>EN 50182</i> .....	43
<b>Figura 4.5</b> - Volume útil numa bobina [1].. .. .	49
<b>Figura 4.6</b> - Espaço Máximo numa bobina [1].. .. .	49
<b>Figura 4.7</b> - Espaço Mínimo numa bobina [1].....	50
<b>Figura 5.1</b> - Tabela de texto condutor lubrificado.. .. .	60
<b>Figura 5.2</b> - Tabela de apoio à determinação do coeficiente k para cabos homogéneos.. ....	61
<b>Figura 5.3</b> - Fórmula para cálculo do peso total do condutor AAC.....	62
<b>Figura 5.4</b> - Variável Peso Total do Condutor.. .. .	62
<b>Figura 5.5</b> - Exemplo de Variáveis de Valor.. .. .	63
<b>Figura 5.6</b> - Ficha Técnica de uma Espia ACS.. .. .	64
<b>Figura 5.7</b> - Menu Inicial da Plataforma.....	65
<b>Figura 5.8</b> - Estrutura do Grupo Fios ACS.. .. .	65
<b>Figura 5.9</b> - Lista dos Grupos criados.. .. .	66
<b>Figura 5.10</b> - Criação da Variável Peso Total do Condutor.. .. .	67
<b>Figura 5.11</b> - Tabela de apoio Fator de Incremento de Massa para Espias ACS.....	68
<b>Figura 5.12</b> - Tabela de Texto para Sentido de Cableamento da Última Camada.....	69
<b>Figura 5.13</b> - Criação do Modelo <i>MN009</i> Espias ACS.. .. .	70

<b>Figura 5.14</b> - Lista de Modelos criados.. .....	70
<b>Figura 6.1</b> - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo.. .....	73
<b>Figura 6.2</b> - Grupo Fios de Alumínio.. .....	74
<b>Figura 6.3</b> - Ficha Técnica Grupo Fios de Alumínio.. .....	74
<b>Figura 6.4</b> - Grupo Condutor Completo AAC.. .....	75
<b>Figura 6.5</b> - Ficha Técnica Grupo Condutor Completo AAC.. .....	76
<b>Figura 6.6</b> - Ficha Técnica Final Cabo AAC.. .....	77
<b>Figura 6.7</b> - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo.. .....	78
<b>Figura 6.8</b> - Ficha Técnica Grupo Fios de Alumínio.. .....	79
<b>Figura 6.9</b> - Grupo Fios de Liga de Alumínio.. .....	79
<b>Figura 6.10</b> - Ficha Técnica Grupo Fios de Liga de Alumínio.....	80
<b>Figura 6.11</b> - Grupo Condutor Completo ACAR.. .....	81
<b>Figura 6.12</b> - Ficha Técnica Condutor Completo ACAR.....	82
<b>Figura 6.13</b> - Ficha Técnica Final Cabos ACAR.....	83
<b>Figura 6.14</b> - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo.. .....	84
<b>Figura 6.15</b> - Grupo Fios de Aço Galvanizado.....	85
<b>Figura 6.16</b> - Ficha Técnica Grupo Fios de Aço Galvanizado.....	86
<b>Figura 6.17</b> - Grupo Condutor Completo Espias Aço.. .....	86
<b>Figura 6.18</b> - Ficha Técnica Grupo Condutor Completo Espia Aço.. .....	87
<b>Figura 6.19</b> - Ficha Técnica Final Espia Aço.....	88
<b>Figura 6.20</b> - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo.....	89
<b>Figura 6.21</b> - Grupo Fios de Aço Revestido a Alumínio (ACS).. .....	90
<b>Figura 6.22</b> - Ficha Técnica Grupo Fios ACS.....	91
<b>Figura 6.23</b> - Grupo Fios de Liga de Alumínio.....	92
<b>Figura 6.24</b> - Ficha Técnica Grupo de Fios de Liga de Alumínio.....	92
<b>Figura 6.25</b> - Grupo Componente Ótica.....	93
<b>Figura 6.26</b> - Ficha Técnica Grupo Componente Ótica.. .....	94
<b>Figura 6.27</b> - Estrutura do Grupo Cabo Completo <i>O.P.G.W</i> ... .....	96
<b>Figura 6.28</b> - Ficha Técnica Condutor Completo <i>O.P.G.W</i> .....	97
<b>Figura 6.29</b> - Ficha Técnica Final Cabo <i>O.P.G.W</i> .....	98

<b>Figura B.1</b> - Tabela "Fator Incremento Massa Espias ACS"...	109
<b>Figura B.2</b> - Tabela "Fator Incremento Massa - Espias Aço".....	109
<b>Figura B.3</b> - Tabela "Nº camadas aço/ACS espias".....	110
<b>Figura B.4</b> - Tabela "Nº Camadas Fios Alumínio/Liga - Cabos AAC/AAAC"...	110
<b>Figura B.5</b> - Tabela "Coeficiente k para peso de massa - Cabos Homogêneos".....	110
<b>Figura B.6</b> - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Espias ACS"...	110
<b>Figura B.7</b> - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Cabos AAC/AAAC".....	111
<b>Figura B.8</b> - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Espias Aço"...	111
<b>Figura B.9</b> - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Espias ACS"...	111
<b>Figura B.10</b> - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Cabos AAC/AAAC"...	111
<b>Figura B.11</b> - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Espias Aço".....	111
<b>Figura B.12</b> - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura Cabos Homogêneos Alumínio/Liga"....	112
<b>Figura B.13</b> - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura - Espias ACS".....	112
<b>Figura B.14</b> - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura - Espias Aço".....	112
<b>Figura B.15</b> - Tabela "Calor Específico".....	112
<b>Figura B.16</b> - Tabela "Coeficiente de Temperatura de Resistência".....	113
<b>Figura B.17</b> - Tabela "Relação de Cableamento - Camada(s) Interior(es) - Cabos AAC/AAAC".....	113
<b>Figura B.18</b> - Tabela "Relação de Cableamento - Camada Exterior - Cabos AAC/AAAC"...	113
<b>Figura B.19</b> - Tabela "Relação de Cableamento - Camada Exterior - Espias Aço/ACS".....	114
<b>Figura B.20</b> - Tabela "Resistividade Máxima a 20°C do Aço"...	114
<b>Figura B.21</b> - Tabela "aux_a".....	114

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Principais vantagens e utilizações dos diferentes tipos de cabos nus. ....	14
Tabela 4.1 – Espaço livre na bobina [1].....	51
Tabela 5.1 – Normas Técnicas Internacionais.....	57
Tabela 5.2 – Normas Técnicas Europeias. ....	57
Tabela 5.3 – Normas Técnicas Americanas. ....	58
Tabela 5.4 – Normas Técnicas Nacionais. ....	59
Tabela 5.5 – Descrição de Grupos e Variáveis na fórmula do Peso Total do Condutor. ...	62
Tabela 5.6 – Variáveis criadas para o Grupo Condutor Completo Espias ACS. ....	67
Tabela 5.7 – Tabelas de Apoio criadas para o Grupo Condutor Completo Espias ACS. ....	69
Tabela 5.8 – Tabelas de Texto criadas para o Grupo de Condutor Completo Espias ACS. ....	70
Tabela A.1 – Variáveis Criadas na Plataforma. ....	105
Tabela C.1 – Tabela de texto referente à Lubrificação do Condutor.....	115
Tabela C.2 – Tabela de texto referente ao Tipo de Lubrificação do Condutor .....	115
Tabela C.3 – Tabela de texto referente ao Sentido de Cableamento da Última Camada. ....	115
Tabela C.4 – Tabela de texto referente ao Material do Tubo.....	115
Tabela C.5 – Tabela de texto referente ao Número de Fibras (ITU-T G.652 D). ....	116
Tabela C.6 – Tabela de texto referente ao Número de Fibras (ITU-T G.655 C) .....	117
Tabela C.7 – Tabela de texto referente ao Tipo de Fibras. ....	117
Tabela C.8 – Tabela de texto referente ao Material do Fio Central para cabos O.P.G.W.. ....	118
Tabela C.9 – Tabela de texto referente ao Material da 1ª Camada para cabos O.P.G.W.. ....	118
Tabela C.10 – Tabela de texto referente ao Material da 2ª Camada para cabos O.P.G.W.. ....	118
Tabela C.11 – Tabela de texto referente ao Material da 3ª Camada para cabos O.P.G.W. ....	118

*Lista de tabelas*

xvii

Tabela C.12 – Tabela de texto referente ao Material da 4ª Camada para cabos	
O.P.G.W.....	119
Tabela C.13 – Tabela de texto referente ao Material da 5ª Camada para cabos	
O.P.G.W.....	119

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

AAC	<i>All Aluminium Conductor</i>
AAAC	<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>
AACSR	<i>Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced</i>
AC	<i>Corrente Alternada - Alternating Current</i>
ACAR	<i>Aluminium Conductor Alloy Reinforced</i>
ACS	<i>Aluminium Clad Steel</i>
ACSR	<i>Aluminium Conductor Steel Reinforced</i>
ACSR/AW	<i>Aluminium Conductor, Aluminium Clad Steel Reinforced</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AT	<i>Alta Tensão</i>
DC	<i>Corrente Contínua - Direct Current</i>
EDP	<i>Energias de Portugal</i>
EN	<i>European Standard</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
MT	<i>Média Tensão</i>
O.P.G.W.	<i>Optical Power Ground Wire</i>
R.S.L.E.A.T.	<i>Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão</i>

## Lista de símbolos

Al	<i>Alumínio</i>
$D$	<i>Diâmetro do Condutor (mm)</i>
$d$	<i>Diâmetro dos fios (mm)</i>
$N$	<i>Número de camadas</i>
$n$	<i>Número de Fios</i>
$S$	<i>Secção do condutor (mm<sup>2</sup>)</i>
$\rho$	<i>Densidade do material a 20° C (Kg/dm<sup>3</sup>)</i>
$P$	<i>Peso do condutor (Kg/Km)</i>
$I$	<i>Corrente Elétrica no condutor (A)</i>
$R_T$	<i>Resistência Elétrica à Temperatura T (<math>\Omega/m</math>)</i>
$P_j$	<i>Perdas Joule (W)</i>
$P_{sol}$	<i>Ganho Solar Térmico (W/m)</i>

$\gamma$	Coeficiente de absorção de radiação solar
$S_i$	Intensidade de radiação solar ( $W/m^2$ )
$S$	Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ )
$K_e$	Coeficiente de emissividade em relação a um corpo negro
$T_1$	Temperatura ambiente (K)
$T_2$	Temperatura final de equilíbrio (K)
$\lambda$	Condutividade térmica do ar em contacto com o condutor ( $0,02585 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )
$Nu$	Número de Nusselt
$Re$	Número de Reynolds,
$v$	Velocidade do vento (m/s)
$R_T$	Resistência elétrica do condutor à temperatura T ( $\Omega/m$ )
$\alpha_{20}$	Coeficiente de temperatura da resistência elétrica a $20^\circ C$
$Y_s$	Coeficiente de efeito pelicular
$Y_p$	Coeficiente de efeito de proximidade
$\rho_{m\acute{a}x 20^\circ C}$	Resistividade máxima a $20^\circ C$ ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )
$S$	Secção total dos fios constituintes ( $mm^2$ )
$GMR$	Média Geométrica do raio do condutor (m)
$K_g$	Fator de camadas ( <i>Lay Ratio</i> )
$X_i$	Reatância indutiva para raio de 0,3048m ( $\Omega/km$ )
$f$	Frequência (Hz)
$X_c$	Reatância Capacitiva para um raio de 0,3048m ( $M\Omega \cdot km$ )
$\beta$	Coeficiente de dilatação linear do condutor ( $K^{-1}$ )
$\beta_a$	Coeficiente de dilatação linear para alumínio ( $K^{-1}$ )
$\beta_s$	Coeficiente de dilatação linear para aço ( $K^{-1}$ )
$\Delta T$	Incremento T da temperatura
$\Delta F, \Delta F_a, \Delta F_s$	Incrementos no condutor, alumínio e no aço, respetivamente
$A$	Secção do condutor ( $mm^2$ )
$A_a$	Secção para fios de alumínio
$A_s$	Secção para fios de aço
$F$	Tensão total do condutor
$F_a$	Tensões no alumínio
$F_s$	Tensões no aço
$E_a$	Módulo de elasticidade do alumínio ( $MPa$ ) (55 000)
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço ( $MPa$ ) (190 000)
$K_c$	Coeficiente de deformação
$\phi$	Coeficiente da dependência de temperatura
$\psi$	Coeficiente da dependência de tensão

$\mu$	Coeficiente da dependência de tempo
$V_{dr}$	Volume da bobina ( $m^3$ )
$d_1, d_2$	Diâmetro exterior e interior da bobina, respetivamente (m)
$B$	Largura interior da bobina (m)
$k_p$	Fator de acondicionamento (0,87)
$k_s$	Fator de redução (0,8)
$L$	Comprimento máximo do condutor (m)
$I_{AD}^2$	Corrente Máxima Admissível em Curto Circuito ( $KA^2s$ )
$t$	Duração do Curto-Circuito (s)
$\theta_f$	Temperatura Final de Curto-Circuito (K)
$\theta_i$	Temperatura Inicial de Curto-Circuito (K)
$\beta$	Coeficiente de temperatura da resistência a $0^\circ C$
$K$	Constante dependente do material da componente da capacidade da corrente ( $As/mm^2$ )
$\sigma_c$	Calor Específico volumétrico da componente de transporte de corrente a $20^\circ C$ ( $Kcal/Kg.^\circ C$ )
$\beta$	Coeficiente de temperatura da resistência a $0^\circ C$
$\rho_{20}$	Resistividade Elétrica da componente de transporte da corrente a $20^\circ C$ ( $\Omega.m$ )





# Capítulo 1

## Introdução

Constituindo-se como um bem essencial, a energia elétrica desempenha um papel fundamental do mundo em que vivemos. À medida que as condições de vida foram evoluindo e se registou um aumento da população mundial ao longo dos últimos anos, o consumo energético foi conseqüentemente impulsionado. Foi, então, necessário aumentar a eficiência dos processos de transporte e das linhas de transmissão de energia elétrica para dar resposta a este crescimento significativo do dispêndio de energia.

Atualmente, a transmissão da energia elétrica pode ser realizada por linhas aéreas ou linhas subterrâneas. Por restrições ambientais, razões de segurança e razões estéticas, as linhas subterrâneas podem ser preferidas principalmente nos grandes centros urbanos. No entanto, dado o custo inerente à construção e instalação das linhas aéreas ser bastante inferior ao que se verifica para as linhas subterrâneas, as primeiras são normalmente eleitas para a transmissão da energia elétrica. Por esta razão, tem-se verificado a produção e instalação em larga escala destas linhas, sobretudo em países em vias de desenvolvimento. Neste sentido, os fabricantes de cabos dedicam anualmente uma grande parte da sua produção ao fabrico de cabos nus para linhas aéreas de Média Tensão (MT) e Alta Tensão (AT).

A transmissão e distribuição desta energia é feita por intermédio da utilização de cabos condutores de eletricidade, que são fabricados de forma detalhada, obedecendo a normas técnicas rigorosas de construção para uma maior qualidade e desempenho. A linha aérea é formada por condutores nus ou em torçada, dependendo do nível de tensão, os quais são montados em apoios por intermédio de isoladores. Por sua vez, o cabo subterrâneo é constituído por condutores isolados ao longo de todo o seu comprimento e inseridos num invólucro devidamente dimensionado e protegido.

Hoje em dia, a competitividade do mercado internacional é enorme e, nesse sentido, é necessário que as empresas do setor de fabrico de cabos e condutores elétricos estejam dispostas a desenvolver procedimentos, metodologias e ferramentas que permitam aumentar a rapidez de resposta, eficiência, organização e rendimento das mesmas. Neste sentido, foi proposto o desenvolvimento de uma plataforma computacional interna que permitisse facilitar

o processo de criação de fichas técnicas de cabos elétricos aquando de uma nova encomenda por parte de um cliente. Estas fichas técnicas têm como principal objetivo a discriminação das especificações técnicas dos cabos encomendados, de modo a que estes possam ser produzidos de acordo com as normas aplicáveis e entregues aos clientes devidamente dimensionados.

Neste projeto de dissertação, em ambiente empresarial, foi, então, proposto o desenvolvimento de uma plataforma computacional para gestão e otimização de especificações técnicas de cabos nus, tendo por base as normas técnicas internacionais e nacionais aplicáveis.

## 1.1 - Objetivos da Dissertação

A SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., sendo uma das empresas líderes nacionais da indústria de cabos e condutores elétricos, recebe diariamente pedidos de encomendas de cabos elétricos, com certas características e especificações exigidas pelos clientes ou pelas normas técnicas abrangentes. O processo de transmissão de informação interna, desde que recebem a encomenda até à produção do cabo, passa por três departamentos, sendo eles: Comercial, Tecnologia e Produção.

Numa primeira instância, o Departamento Comercial é contactado pelos clientes e, de seguida, informa o Departamento de Tecnologia sobre a consulta que é necessária realizar. É este departamento o responsável pela elaboração da proposta técnica a entregar ao cliente, a qual é constituída pela ficha técnica do cabo e pela tabela de elementos de custeio. Na ficha técnica são apresentadas as características dimensionais e elétricas do cabo em questão, previamente calculadas pelo mesmo departamento, segundo as normas técnicas. Para tal, é necessário validar as especificações técnicas exigidas pelo cliente, verificando a conformidade destas com as normas técnicas aplicáveis a cada país, implicando uma análise e um estudo exaustivo das mesmas. Na tabela de elementos de custeio são especificadas as matérias-primas e as quantidades necessárias aquando da produção do cabo, bem como uma estimativa do custo total do seu fabrico, com o preço individualizado para cada material utilizado. Por fim, toda a informação necessária à construção do cabo é enviada ao departamento de Produção, onde o mesmo será finalmente produzido.

Para a realização de uma determinada ficha técnica de um condutor aéreo, o Departamento de Tecnologia utiliza atualmente, o *software Microsoft Excel*, onde são colocados, individualmente, todos os seus elementos constituintes e as suas características dimensionais e elétricas. O processo de preenchimento de uma ficha técnica é, então, um processo com probabilidade considerável de equívocos, visto que é elaborada manualmente. Outra desvantagem clara deste método de elaboração de fichas técnicas é o tempo desperdiçado na mesma, aumentando o tempo de resposta a uma consulta e, consecutivamente, o tempo de fabrico de cada cabo, com efeitos negativos na taxa de produção e lucro da empresa.

Assim, surgiu a necessidade de desenvolver uma plataforma informática que servirá de apoio à elaboração das especificações técnicas de cabos elétricos, sendo que o foco deste projeto de dissertação é a continuação do desenvolvimento da mesma, na vertente de cabos nus.

Para o desenvolvimento da plataforma foi necessário:

- Analisar e avaliar normas técnicas de apoio à construção dos cabos, bem como especificações técnicas de clientes, nomeadamente operadores de redes elétricas;
- Entender o conceito das características dimensionais e elétricas dos referidos cabos, estabelecendo métodos de cálculo;
- Interiorizar o processo de fabrico de cabos nus e as várias etapas inerentes;
- Estudar as várias famílias de cabos nus, a sua aplicabilidade e respetivas características;
- Compreender e apresentar métodos de controlo de qualidade dos produtos.

A importância da plataforma reside numa diminuição do tempo de resposta às consultas técnicas, a partir do preenchimento simplificado das respetivas especificações dos produtos. Permite ainda criar uma base de dados de especificações técnicas para todos os cabos que a empresa fabrica, evitando assim a leitura frequente das normas técnicas e facilitando as atualizações em massa das especificações, perante modificações impostas pelas revisões das normas de construção. Finalmente, é também objetivo do desenvolvimento desta plataforma, o estabelecimento de um critério para controlo documental.

## 1.2 - Estrutura da Dissertação

O documento da dissertação encontra-se devidamente estruturado, em 6 capítulos, sendo este o primeiro, no qual é feita uma pequena introdução e um resumo do trabalho. Apresenta também uma lista de tabelas, de figuras e de abreviaturas, utilizadas ao longo de todo o trabalho.

O capítulo 2 apresenta os principais tipos de cabos nus existentes no mercado, e que integram a gama de fabrico da SOLIDAL - CONDUTORES ELÉTRICOS, S.A., assim como descreve as características dos seus materiais constituintes.

O capítulo 3 descreve o ciclo produtivo destes cabos dentro da empresa, evidenciando todos os processos inerentes ao seu fabrico e as máquinas utilizadas no mesmo.

O capítulo 4 demonstra os cálculos dimensionais e elétricos dos condutores aéreos nus, analisando as suas fórmulas matemáticas. De notar que nem todas as grandezas calculadas são lançadas nas fichas técnicas para o cliente, ainda assim a sua relevância em termos teóricos é significativa.

O capítulo 5 explica o funcionamento da plataforma computacional, passo por passo, evidenciando a metodologia de criação dos cabos nus. É também explicada a base de dados que foi implementada, assim como é realizada uma análise das normas técnicas de construção.

No capítulo 6, serão realizadas simulações de elaboração de fichas técnicas para diferentes cabos através da plataforma. No final, será realizada uma análise de resultados, destacando as potencialidades e as vantagens desta nova *aplicação computacional* em contraste com o método atualmente utilizado.

Por fim, o capítulo 7 aborda as conclusões resultantes do desenvolvimento desta dissertação e apresenta uma perspetiva futura sobre a evolução da plataforma informática.

### **1.3 - SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A.**

A SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., é uma empresa que produz cabos e condutores elétricos para redes elétricas de transporte e distribuição energia, destacando-se uma gama de fabrico vastíssima em termos de condutores aéreos nus, cabos de telecomunicação do tipo *O.P.G.W.* e cabos subterrâneos isolados.

Situada no concelho de Esposende, distrito de Braga, a SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A. é uma das empresas líderes nacionais do setor, atuando também fortemente no estrangeiro, em zonas como América do Norte e Sul, África e Norte de Europa. É de salientar o facto de que a exportação representa aproximadamente 70% da produção instalada anual da empresa, produção essa a rondar os 1500ton.cabos/mês.



# Capítulo 2

## Linhas Aéreas MT e AT: Condutores e restantes constituintes

As linhas aéreas são, por definição, linhas elétricas em que os condutores são mantidos a uma altura conveniente acima do solo [13]. O desempenho elétrico das linhas está intimamente relacionado com a escolha dos componentes elétricos. Tendo também em consideração a vertente económica, estes componentes devem ser seleccionados com base nas exigências elétricas e mecânicas a que estarão sujeitos, por forma a garantir-se a fiabilidade das linhas.

Nas linhas elétricas aéreas, o isolamento é feito pelo ar, pelo que os cabos não possuem qualquer tipo de material isolante, sendo considerados, portanto, cabos nus. Assim, o custo de um cabo nu é significativamente inferior ao custo de um cabo isolado, sendo uma das razões principais pelas quais as linhas aéreas são largamente utilizadas para sistemas de transmissão de energia elétrica. As linhas elétricas aéreas devem, portanto, ser eficientes, económicas e apresentar índices de fiabilidade elevados.

Para ser possível atingir o objetivo principal proposto para esta dissertação - continuação do desenvolvimento da plataforma computacional para a gestão e otimização de especificações técnicas para condutores aéreos - foi necessário inicialmente um estudo aprofundado dos diferentes tipos de cabos nus utilizados nas linhas aéreas, analisando detalhadamente os seus materiais constituintes, bem como as suas etapas de fabrico.

## 2.1 - Principais constituintes de Linhas Aéreas MT e AT

Nesta secção serão abordados os principais constituintes de linhas aéreas de MT e AT, sendo os focos essenciais os condutores e os cabos de guarda.

Os principais elementos constituintes de uma linha área são, então:

- Condutores;
- Cabos de guarda;
- Isoladores;
- Apoios e respetivas armações;
- Sistemas de ligação à terra.

### 2.1.1 - Condutores

Os cabos nus não apresentam qualquer tipo de material isolante, daí a sua designação. Estes cabos podem ser constituídos por um metal, sendo, assim, apelidados de cabos homogéneos, ou podem ser constituídos por mais do que um tipo de metal, sendo denominados cabos heterogéneos. A heterogeneidade baseia-se, em grande parte, na utilização de condutores de alumínio-aço, que conferem uma maior condutividade elétrica e maior resistência mecânica, em virtude do alumínio e da alma de aço, respetivamente.

Em função da secção nominal e do grau de flexibilidade desejado, a alma condutora poderá ser, quanto à composição:

- **Maciça** - constituída por um único condutor sólido, normalmente, para secções não muito elevadas, por exemplo, cobre;
- **Multifilar** - constituída por diversos fios cableados entre si.

Os cabos nus são formados por fios metálicos cableados concêntricos, dispostos em camadas sucessivas enroladas em sentidos contrários para um melhor aperto. A utilização de condutores multifilares torna-os mais flexíveis, sendo mais facilmente manipuláveis, e apresentam uma secção menor, apesar de um maior diâmetro. Numa alma condutora multifilar, os fios estão dispostos em hélice, numa ou mais camadas distintas, sendo o sentido de cableamento alternado, entre camadas sucessivas.

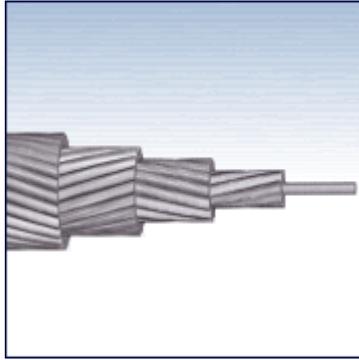


Figura 2.1 - Condutor nu [6].

Uma grande parte dos cabos nus apresenta uma alma na sua constituição. Esta é formada por um material metálico, situada na zona central do cabo e tem como objetivo suportar parte do seu peso, aumentando a sua resistência à tração. O material metálico que integra a alma é, normalmente, o aço, quer galvanizado, quer revestido por película de alumínio. A aplicação de almas nos cabos aéreos permite, assim, obter menores flechas nos vãos de uma linha elétrica aérea, sem diminuir a sua condutividade elétrica.

Sendo a SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., uma das empresas líderes nacionais no fabrico de cabos de energia, a produção de condutores nus recai, essencialmente, sobre o alumínio, que se pode encontrar associado ou não a outros metais, tais como liga de alumínio, aço galvanizado e aço coberto a alumínio do tipo ACS, cuja aplicação está hoje generalizada às linhas aéreas de transmissão de energia. Neste sentido, da gama de fabrico da empresa, salientam-se vários tipos de cabos, incluindo os condutores de alumínio AAC, condutores de liga de alumínio AAAC, cabos de alumínio com alma de aço do tipo ACSR, cabos de liga de alumínio com alma de aço do tipo AACSR e cabos de alumínio com alma de liga de alumínio do tipo ACAR.

#### 2.1.1.1 - Condutores de alumínio AAC (*All Aluminium Conductors*)

Os condutores de alumínio AAC são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de alumínio do tipo AL1. Apenas constituídos por alumínio, estes cabos podem ser uma alternativa para as linhas de transmissão urbanas, onde os vãos são menores e as deflexões no traçado são maiores, utilizando, dessa forma, estruturas mais económicas. O facto de utilizar apenas alumínio de elevada pureza para suportar o seu peso, implica que a flecha seja maior. Assim, estes condutores são mais utilizados em zonas urbanas, onde o espaçamento é mais curto e os apoios se encontram próximos uns dos outros [16].

As vantagens principais destes condutores são a sua boa condutividade e a sua capacidade de resistência à corrosão, sendo que devido a esta última, a sua utilização seja importante em zonas costeiras. Usados, essencialmente, em MT e AT.



Figura 2.2 - Conductor de alumínio AAC

Normas de Referência: *EN 50182 e ASTM B231, apresentadas nas tabelas 5.2 e 5.3, respetivamente.*

#### **2.1.1.2 - Condutores de liga de alumínio AAAC (*All Aluminium Alloy Conductors*)**

Os condutores de liga de alumínio AAC são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de liga de alumínio do tipo AL2, AL3, AL4 ou AL5. São utilizados, geralmente, em substituição dos cabos AAC, quando se pretende uma maior resistência mecânica, ou dos cabos ACSR, quando se pretende uma maior resistência à corrosão. Este tipo de cabo apresenta uma melhor relação tração-peso, contudo têm menor condutividade do que os cabos AAC [17]. Outras particularidades importantes que apresentam é o facto de as perdas elétricas serem mais reduzidas e o seu coeficiente de dilatação térmico ser superior ao mesmo coeficiente para condutores do tipo ACSR.

Assim, a sua principal aplicação refere-se a linhas aéreas de transmissão e distribuição, em ambientes com condições propícias à corrosão.



**Figura 2.3** - Conductor de liga de alumínio AAAC

Normas de Referência: EN 50182 e ASTM B399, apresentadas nas tabelas 5.2 e 5.3, respetivamente.

### **2.1.1.3 - Cabos de alumínio com alma de aço do tipo ACSR (Aluminium Conductors Steel Reinforced)**

Os cabos de alumínio com alma de aço do tipo ACSR são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de alumínio do tipo AL1, e uma alma de aço galvanizado de alta resistência do tipo ST1A, ST2B, ST3D, ST4A, ST5E ou de ACS (aço coberto a alumínio) do tipo 20SA, 30SA, 40SA ou 48SA.

Nestes cabos, a passagem de corrente é assegurada exclusivamente pelo alumínio, enquanto que a resistência mecânica é garantida exclusivamente pela alma de aço.

A composição destes cabos apresenta uma grande variedade de possibilidades de combinação de proporções de alumínio e aço, a fim de se obter a melhor relação entre capacidade de transporte e resistência mecânica para cada aplicação.

Apresenta uma maior resistência mecânica e é mais leve, o que permite reduzir as flechas e aumentar os vãos [16]. No primeiro caso, a resistência aumentada deste tipo de cabo permite diminuir a altura dos apoios e no segundo caso, por se tratarem de cabos extremamente leves, é possível reduzir o número de apoios, isoladores e ferragens das linhas aéreas.

A alta resistência à tração, a alta relação tração-peso, a boa capacidade de transporte e as boas características térmicas são, então, algumas das vantagens que estes condutores apresentam. No entanto, o facto de a alma ser de aço significa que estes cabos estão mais suscetíveis à corrosão.

Uma variação do ACSR existente é o ACSR/AW (*Aluminium Conductor, Aluminium Clad Steel Reinforced*), que, apesar de apresentar propriedades mecânicas semelhantes ao ACSR,

oferece uma melhor resistência à corrosão, isto porque a alma condutora se encontra revestida por uma película de alumínio (ACS).

São normalmente usados em linhas aéreas de transmissão e distribuição.

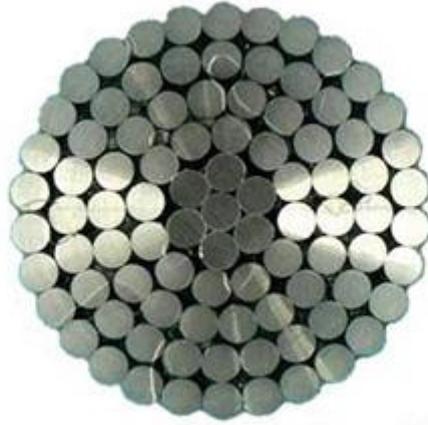


Figura 2.4 - Cabo de alumínio com alma de aço do tipo ACSR

Normas de Referência: *EN 50182* e *ASTM B232*, expostas nas tabelas 5.2 e 5.3, respectivamente.

#### **2.1.1.4 - Cabos de liga de alumínio com alma de aço do tipo ACSR (Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced)**

Os cabos de alumínio com alma de aço do tipo ACSR são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de liga de alumínio do tipo AL2, AL3, AL4 ou AL5 e um núcleo de aço galvanizado de alta resistência do tipo ST1A, ST2B, ST3D, ST4A ou ST5E.

Pode apresentar uma proteção adicional à corrosão, através da aplicação de massa protetora na alma, ou infusão do cabo completo com massa protetora, sendo também que a sua relação resistência-peso é melhorada.

Este tipo de cabo é idêntico aos cabos do tipo ACSR, diferindo unicamente na composição dos fios de alumínio, o que lhes confere uma melhor condutividade elétrica.

É possível variar a proporção dos fios de liga de alumínio e aço devido às suas numerosas combinações, com o intuito de assim se obter a melhor relação possível entre capacidade de transporte e resistência mecânica para cada aplicação.

Estes condutores são, geralmente, destinados a grandes vãos, onde é impraticável a utilização de torres intermediárias, existindo, assim, a necessidade de utilização de cabos com maior resistência mecânica [1].



**Figura 2.5** - Cabo de liga de alumínio com alma de aço do tipo *AACSR*

Normas de referência: *EN 50182* e *ASTM B711*, descritas nas tabelas 5.2 e 5.3, respetivamente.

#### **2.1.1.5 - Cabos de alumínio com alma de liga de alumínio do tipo *ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced)***

Os cabos de alumínio com alma de liga de alumínio do tipo *ACAR* são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de alumínio do tipo AL1 e uma alma de liga de alumínio do tipo AL2, AL3, AL4 ou AL5.

A elevada resistência à corrosão, superior à dos cabos do tipo *ACSR*, é outra característica fundamental deste tipo de cabos, assim como a resistência à tração, superior em relação aos cabos *AAC*. Devido a esta última particularidade, que resulta do facto do seu peso ser suportado pela liga de alumínio, estes condutores podem ser bem empregues em linhas aéreas onde os vãos sejam maiores.

De uma maneira geral, estes condutores apresentam melhores características mecânicas e elétricas do que condutores equivalentes dos tipos *ACSR*, *AAC* e *AAAC*.



Figura 2.6 - Cabo de alumínio com alma de liga de alumínio do tipo ACAR

Normas de referência: *EN 50182* e *ASTM B524*, descritas nas tabelas 5.2 e 5.3, respectivamente.

### 2.1.1.6 Vantagens e aplicações de condutores elétricos

A SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., baseia, então, a sua produção de cabos nus, em grande parte, na matéria-prima de alumínio, sendo esta a eleita em detrimento do cobre. As vantagens da utilização do alumínio em substituição do cobre são, essencialmente, três, mas que conferem um papel extremamente importante na razão da sua escolha [1]:

- Relação condutividade elétrica/peso - para um condutor de alumínio apresentar uma condutividade elétrica idêntica a um condutor de cobre, a razão entre as suas secções será igual a 1,6 e como consequência dos seus pesos específicos, o condutor de alumínio terá 48% do peso do condutor de cobre;
- Relação resistência mecânica/peso - Com igual resistência elétrica, sendo que a secção de um condutor de alumínio é 1,6 vezes superior à do condutor de cobre obtém-se uma tensão limite de rutura semelhante para ambos os condutores nesta situação. Quando é necessário conferir uma melhor resistência mecânica, são incluídos fios de aço na sua composição. Assim, visto que são reduzidos o número de apoios e de materiais acessórios do processo de montagem, além de permitir flechas menores para os condutores, a instalação é mais económica;
- Economia - o preço reduzido, associado à sua estabilidade, fazem com que o alumínio seja o metal eleito para aplicação nas linhas aéreas.

Na tabela 2.1, está apresentado um quadro resumo das vantagens e aplicações dos diferentes tipos de cabos nus fabricados pela empresa.

Tabela 2.1 – Principais vantagens e utilizações dos diferentes tipos de cabos nus

<b>Cabo</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Utilização</b>
<b>AAC</b>	Boa condutividade e boa resistência à corrosão.	Linhas de transmissão urbanas, onde os vãos são menores e as deflexões no terreno são maiores, promovendo estruturas mais económicas.
<b>AAAC</b>	Melhor resistência mecânica do que os cabos AAC e melhor resistência à corrosão do que os cabos ACSR.	Linhas aéreas de transmissão e distribuição, em ambientes propícios à corrosão.
<b>ACSR</b>	Maior resistência mecânica e mais leves, proporcionando vãos maiores e flechas menores. Apresenta uma elevada resistência à tração, assim como uma relação tração-peso, evidenciando também boas características térmicas.	Linhas aéreas com vãos elevados.
<b>ACSR/AW</b>	Melhor resistência à corrosão do que os cabos ACSR, pela incorporação de uma alma constituída por aço revestido a uma película de alumínio, ACS.	Linhas aéreas instaladas em zonas costeiras, com condições ambientais muito propícias a fenómenos de corrosão.
<b>AACSR</b>	Melhor condutividade elétrica do que os cabos ACSR, proporcionada pela incorporação de fios de liga de alumínio na sua constituição.	Linhas aéreas com grandes vãos, onde é impraticável a utilização de torres intermediárias.
<b>ACAR</b>	Elevada resistência à corrosão, superior à dos cabos ACSR, e elevada resistência à tração, superior aos cabos AAAC. De uma forma geral, este tipo de cabos apresenta melhores características mecânicas e elétricas do que os restantes.	Linhas aéreas com vãos elevados, em zonas muito propícias a fenómenos de corrosão.

### 2.1.1.7 - Proteção dos condutores elétricos contra a corrosão

Em qualquer fase da sua instalação e atuação, os condutores não devem mostrar sinais de corrosão. Nesse sentido, quando sujeitos a ambientes desfavoráveis e quando requerido, os condutores poderão ser protegidos contra a corrosão, sendo aplicada uma massa neutra protetora. Esta massa lubrificante reveste as camadas dos condutores, de modo a que estes não fiquem sujeitos à corrosão e, portanto, consigam manter as suas características ao longo do tempo. Assim, existem diferentes métodos de proteção dos condutores elétricos, em ambientes muito propícios a fenômenos de corrosão. Esta aplicação pode ser realizada através de quatro processos distintos:

- Caso 1 - O núcleo de aço é totalmente preenchido com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente. Apenas se destina a cabos do tipo *ACSR* e *AACSR*.

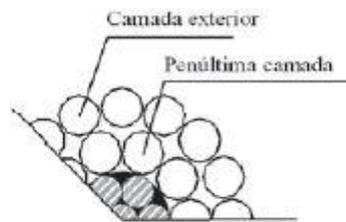


Figura 2.7 - Aplicação de massa protetora, caso 1 [1].

- Caso 2 - O condutor será preenchido nas suas camadas exceto na última, com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente.

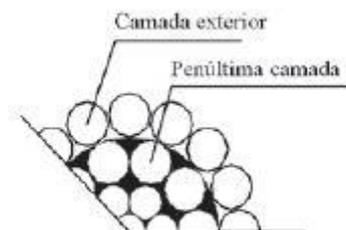


Figura 2.8 - Aplicação de massa protetora, caso 2 [1].

- Caso 3 - O condutor é totalmente preenchido em todas as suas camadas, com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente.

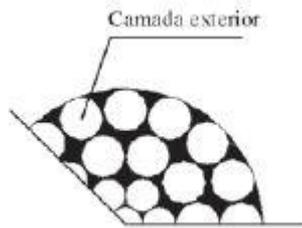


Figura 2.9 - Aplicação de massa protetora, caso 3 [1].

- Caso 4 - O condutor será preenchido em todas as suas camadas, excluindo a parte exterior da última, com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente.

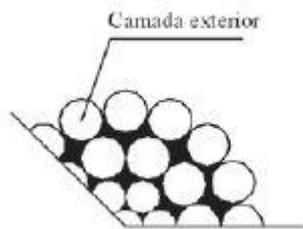


Figura 2.10 - Aplicação de massa protetora, caso 4 [1].

Assumindo que a massa protetora preenche na totalidade os espaços entre os fios do condutor, o volume da massa para cada caso referido pode ser dado pelas seguintes equações:

$$\text{Caso 1: } V_g = 0,25 \pi (D_s^2 - n_s d_s^2) \quad (2.1)$$

$$\text{Caso 2: } V_g = 0,25 \pi \{(D_0 - 2d_a^2) - (n_a - n_0) d_a^2 - n_s d_s^2\} \quad (2.2)$$

$$\text{Caso 3: } V_g = 0,25 \pi (D_0^2 - n_a d_a^2 - n_s d_s^2) \quad (2.3)$$

$$\text{Caso 4: } V_g = 0,25 \pi \left( D_0 - d_a \right)^2 \sin\left(\frac{360}{n_0}\right) - 0,125 \pi (2n_a - n_0 - 2) d_a^2 - 0,25 \pi n_s d_s^2 \quad (2.4)$$

Sendo:

$V_g$  : O volume de massa no condutor, por unidade de comprimento;

$D_0$  : O diâmetro externo do condutor;

$D_s$  : O diâmetro do núcleo de aço;

$d_a$  : O diâmetro dos fios de alumínio da última camada;

$d_s$  : O diâmetro dos fios de aço;

$n_a$  : O número de fios de alumínio no condutor;

$n_0$  : O número de fios da última camada do condutor;

$n_s$  : O número de fios de aço no condutor.

É, então, possível expressar a quantidade total de massa protetora aplicada num condutor, devido à relação geométrica entre os parâmetros das equações, expressa por:

$$M_g = kd_a^2 \quad (2.5)$$

Sendo:

$M_g$ : Quantidade de massa protetora (kg/km);

k: Fator que depende do tipo de condutor, da densidade da massa protetora e do preenchimento (relação de volume teórico).

Stranding		$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
Aluminium	Steel	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
7	-	-	-	1,09	0,17
19	-	-	1,09	3,28	1,79
37	-	-	3,28	6,56	4,52
61	-	-	6,56	10,93	8,35
91	-	-	10,93	16,40	13,27
127	-	-	16,40	22,96	19,28
6	1	-	-	1,09	0,17
8	1	-	-	1,46	0,34
18	1	-	1,09	3,28	1,79
9	3	0,90	-	2,88	1,46
6	7	0,12	-	1,21	0,29
10	7	0,66	-	2,48	1,18
12	7	1,09	-	3,28	1,79
14	7	1,63	-	4,18	2,51
18	7	0,12	1,21	3,40	1,91
22	7	0,34	1,80	4,35	2,67
24	7	0,49	2,13	4,86	3,10
26	7	0,66	2,48	5,40	3,54
28	7	0,86	2,87	5,97	4,02
30	7	1,09	3,28	6,56	4,52
32	7	1,35	3,72	7,18	5,05
36	7	1,54	4,68	8,50	6,19
42	7	0,34	4,35	7,99	5,77
45	7	0,49	4,86	8,69	6,37
48	7	0,66	5,40	9,41	7,01
54	7	1,09	6,56	10,93	8,35
72	7	0,49	8,69	13,61	10,75
84	7	1,09	10,93	16,40	13,27
14	19	1,76	-	4,31	2,64
15	19	2,10	-	4,83	3,07
16	19	2,46	-	5,38	3,52
18	19	3,28	-	6,56	4,52
30	19	1,18	3,37	6,65	4,61
32	19	1,46	3,83	7,29	5,16
36	19	2,10	4,83	8,66	6,35
42	19	3,28	6,56	10,93	8,35
54	19	1,18	6,65	11,02	8,44
38+22	19	1,42	5,42	9,43	7,03
42+20	19	1,30	4,33	7,98	5,76
66	19	2,46	9,39	14,49	11,54
78	19	4,21	12,59	19,43	15,11
96	19	2,10	13,58	19,59	16,19
100	19	2,46	14,49	20,68	17,19
18	37	3,35	-	6,53	4,69
24	37	6,56	-	10,93	8,35
72	37	3,35	11,00	16,47	13,33
54+66	37	4,39	16,44	23,00	19,33
150	37	3,35	23,03	30,68	26,45

Figura 2.11 - Coeficiente k para o cálculo do incremento de massa devido à lubrificação, segundo a norma EN 50182

A colocação da massa protetora visa, então, a proteção contra a corrosão em condutores nus das linhas aéreas. Segundo a norma EN 50326, descrita na tabela 5.2, as massas lubrificantes devem ser designadas  $\Theta_1A\Theta_2$ ,  $\Theta_1B\Theta_2$ , sendo que A e B definem os tipos que existem.

**Tipo A** - Aplicada a frio - Consiste numa mistura de óleo mineral ou sintético com compostos orgânicos.

**Tipo B** - Aplicada a quente - Consiste na aplicação de cera associada a pequenas quantidades de óleo mineral e aditivos orgânicos.

$\Theta_1$  - Temperatura mais baixa, em °C, abaixo de 0°C.

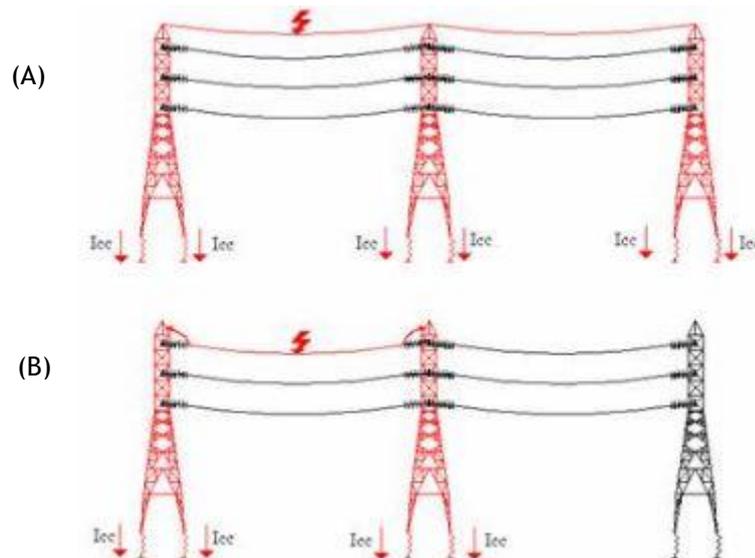
$\Theta_2$  - Temperatura mais alta, em °C.

Se requerido pelo utilizador do condutor, os valores de  $\theta_1$  e  $\theta_2$  devem ser especificados pelo comprador.

### **2.1.2 - Cabos de guarda**

As linhas aéreas estão constantemente sujeitas a serem atingidas por descargas atmosféricas, sendo que a possibilidade de ocorrerem falhas no isolamento e consequentemente ocorrência de curtos-circuitos é considerável. Desta forma, é necessário evitar o impedimento do fornecimento de energia elétrica, quando se verificarem casos de risco, mantendo o sistema estável, seguro e fiável.

Os cabos de guarda numa linha elétrica aérea têm, então, como principal função a proteção dos condutores aéreos em relação a descargas atmosféricas, impedindo que a carga atinja diretamente os mesmos. Assim, a fiabilidade das linhas vai ser aumentada, visto que as descargas atmosféricas, na maior parte dos casos, originam contornamentos e, consequentes, curtos-circuitos [4]. Estes cabos de proteção são colocados numa posição superior aos cabos condutores, de forma a serem nestes que incidam as descargas atmosféricas. A existência destes cabos de guarda irá permitir que as terras dos diferentes apoios estejam ligadas entre si, possibilitando um melhor escoamento das correntes de defeito por todos os apoios da linha em questão. Na ausência de cabos de guarda, constata-se que a corrente teria de ser escoada pelos apoios situados entre o vão onde ocorreu o defeito, existindo, apenas esses dois caminhos por onde essa corrente poderia ser transportada. Desta forma, iria verificar-se um contornamento severo dos isoladores, originando sobretensões elevadas nos cabos condutores e, consequentemente, danos incontrolláveis nas linhas. Na figura 2.12, é possível observar a diferença entre a instalação de cabos de guarda e a sua ausência.

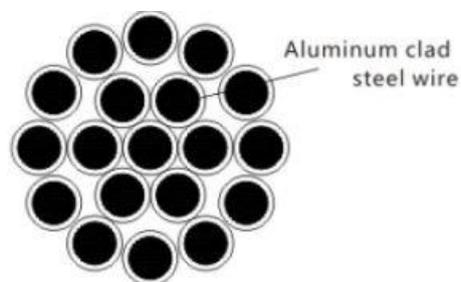


**Figura 2.12** - Exemplificação de uma descarga atmosférica nos casos de presença (A) e ausência (B) de cabo de guarda, evidenciando o local do defeito e os pontos de escoamento possíveis em cada [15].

É notório, pela análise da figura acima apresentada, as vantagens da implementação de cabos de guarda na construção de uma linha elétrica aérea.

### 2.1.2.1 - Cabos de guarda - Espias de Aço e Espias de ACS

Por sua vez, existem cabos de guarda que não possuem a possibilidade de transmitir dados a alta velocidade e que o seu principal fim se destina somente à proteção dos condutores de fase, como é o caso dos cabos de guarda de aço e de ACS. Da gama de fabrico da empresa, salientam-se as Espias de Aço e as Espias de Aço revestido com película de alumínio (ACS).



**Figura 2.13** - Constituição de um cabo de guarda de ACS com 19 fios [1].

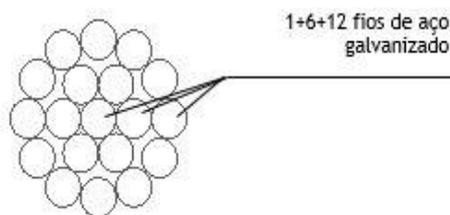


Figura 2.14 - Constituição de um cabo de guarda de aço com 19 fios [1].

Estes cabos de guarda apresentam a vantagem de serem bastante mais económicos e resistentes mecanicamente do que os cabos de guarda apresentados na subsecção 2.1.2.2.

### 2.1.2.2 - Cabos de guarda - *O.P.G.W.*

Os cabos de guarda podem também ser utilizados para efeitos de telecomunicações através da introdução de fibras óticas no seu interior. Neste sentido, a SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., engloba na sua gama de fabrico de cabos elétricos, o cabo *O.P.G.W.* (*Optical Power Ground Wire*), como um tipo de cabo de guarda.

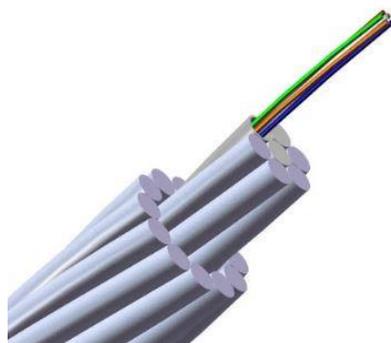


Figura 2.15 - Exemplo de um cabo *O.P.G.W.*

Geralmente, os cabos *O.P.G.W.* são constituídos por uma combinação entre fios de liga de alumínio e fios de aço ou fios de aço revestidos com película de alumínio (*ACS*), sendo que em qualquer caso estas podem conter na sua constituição um ou mais tubos de aço-inox, onde se encontram armazenadas as fibras óticas e que servem de proteção mecânica às mesmas. Na figura 2.16, está representado um exemplo da constituição de um cabo *O.P.G.W.*

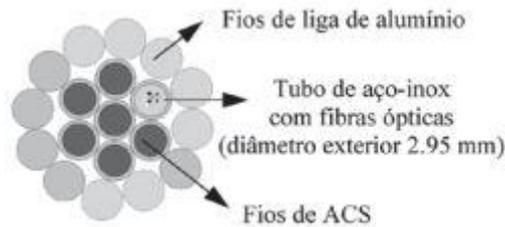


Figura 2.16 - Constituição possível de um cabo *O.P.G.W.* [1].

A unidade ótica resulta da introdução no processo de cablagem de um tubo de aço-inox com fibras óticas, em substituição de um dos fios da(s) camada(s) interior(es) do cabo, como representado nas figuras 2.15 e 2.16 [1]. Desta forma, a composição de um cabo *O.P.G.W.* pode ser variada, consoante a aplicação a que se destina. A particularidade deste cabo é, portanto, a possibilidade de transmissão de dados a alta velocidade e com uma qualidade significativa, devido à incorporação das fibras óticas.

### 2.1.3 - Isoladores

Os isoladores das linhas aéreas são constituídos por material dielétrico (materiais não sujeitos a corrosão, como o vidro, porcelana, entre outros) e têm como função evitar a passagem de corrente elétrica dos condutores para os apoios e ao mesmo tempo suportar mecanicamente os cabos.

Os principais tipos de isoladores utilizados são os de cadeia e os rígidos. Apesar de se apresentarem mais económicos, os isoladores rígidos são cada vez menos utilizados face aos isoladores em cadeia, uma vez que, em caso de ocorrência de defeito no isolamento, é necessário proceder à substituição do isolador completo. Em contraste, nos isoladores em cadeia, apenas é necessário substituir a campânula que apresenta o defeito.



Figura 2.17 - Isoladores Rígidos [6].

As cadeias de isoladores são constituídas por vários isoladores de material cerâmico, por componentes metálicos e pelo material que os une, dando origem às cadeias de suspensão ou de amarração. Para além disto, são também constituídas por sistemas designados por hastes

de descarga ou anéis de guarda, que visam proteger os condutores e as cadeias de isoladores de eventuais arcos de contornamento.



Figura 2.18 - Isoladores de cadeia [6].

As cadeias de suspensão são dispostas na vertical, paralelas ao apoio, sendo o condutor suspenso na extremidade inferior como mostra a figura 2.19. São utilizadas em apoios de alinhamento, onde os vãos não são muito desequilibrados, tendo a vantagem de ser instalada uma cadeia por condutor.



Figura 2.19 - Cadeia de Isoladores em Suspensão [8].

As cadeias de amarração são dispostas na horizontal, como mostra a figura 2.20, sendo utilizadas em situações onde a linha é submetida a esforços mecânicos elevados. Geralmente, associadas a este tipo de situações estão apoios de fim de linha, de alinhamento em amarração e de reforço em amarração. Uma vantagem verificada da utilização deste tipo de cadeias é o facto de não se verificar influência significativa do deslocamento causado pelo vento [3].

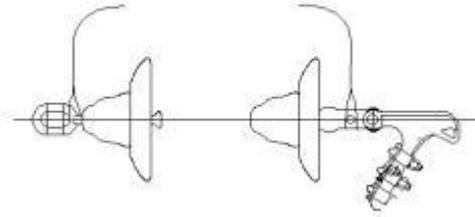


Figura 2.20 - Cadeia de Isoladores em Amarração [8].

### 2.1.4 - Apoios

Os apoios são definidos como sendo os elementos de uma linha aérea responsáveis por suportar os condutores elétricos, cabos de guarda, isoladores e os restantes acessórios das mesmas [13].

O processo de dimensionamento dos apoios deve cumprir com alguns requisitos, estabelecidos pela distância entre os condutores, pelas alturas mínimas ao solo e também pelos esforços mecânicos dos condutores, isoladores, entre outros.

Neste sentido, os apoios podem ser classificados pelas diferentes funções que desempenham [9].

- Apoios de alinhamento - Apoio situado num troço retilíneo da linha;



Figura 2.21 - Apoio de alinhamento [7].

- Apoios de ângulo - Apoios situados num ângulo da linha;



Figura 2.22 - Apoio de Ângulo [7].

- Apoios de fim de linha - Apoios capazes de suportar totalmente os esforços transmitidos pelos condutores, cabos de guarda e restantes acessórios de um só lado da linha;



Figura 2.23 - Apoio de Fim de Linha [7].

- Apoios de derivação - Apoios onde se estabelecem uma ou mais derivações;

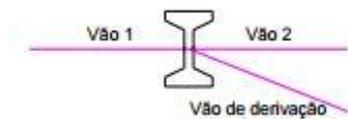


Figura 2.24 - Apoio de Derivação [10].

- Apoios de reforço - Apoios que suportam esforços longitudinais, sendo capazes de reduzir os efeitos negativos originados pela rutura de cabos de guarda ou condutores.



Figura 2.25 - Apoio de Reforço [10].

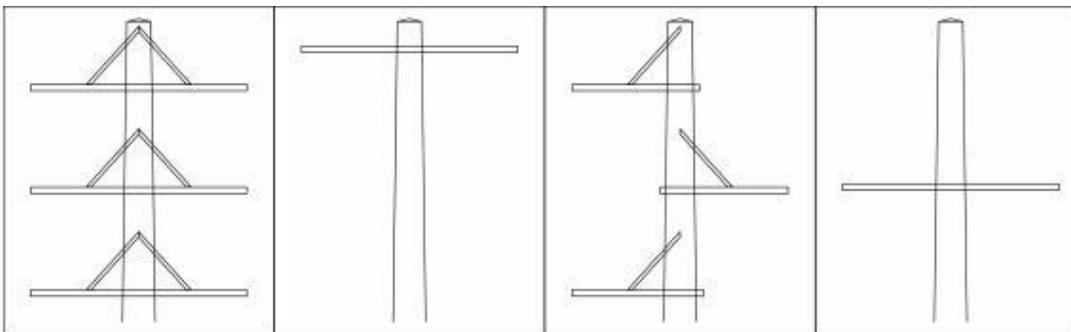
Os principais tipos construtivos dos apoios podem ser, essencialmente, de betão ou metálicos, nomeadamente, aço. Uma das características dos apoios de betão é a sua pequena dimensão quando comparada com os apoios metálicos, sendo, por esta razão, mais facilmente aceites pelos proprietários dos terrenos onde os mesmos irão ser instalados. Do ponto de vista económico, apresentam-se como uma alternativa mais viável. Por outro lado, o facto de não poderem ser desmontados implica que o seu transporte para o local possa ser dificultado.

Em contraste, os apoios metálicos podem ser montados na localização de destino, permitindo serem desmontados em módulos para facilitar o seu transporte. No entanto, acarretam um custo mais elevado e as suas dimensões são, geralmente, bastante superiores à dos apoios de betão.

### 2.1.5 - Armações

As armações, estruturas metálicas instaladas nas posições superiores dos apoios, visam suportar os condutores e os isoladores das linhas eléctricas aéreas.

As principais tipologias de armações existentes estão definidas na figura 2.26, representada de seguida.



**Figura 2.26** - Diferentes tipologias de armações (da esquerda para a direita): esteira vertical dupla, esteira horizontal, galhardete e triângulo [2].



**Figura 2.27** - Esteira Vertical [10].

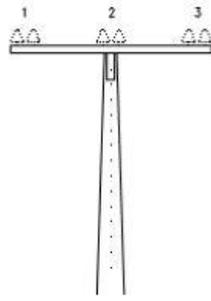


Figura 2.28 - Esteira Horizontal [10].

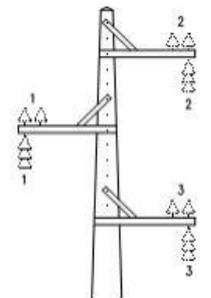


Figura 2.29 - Galhardete [10].

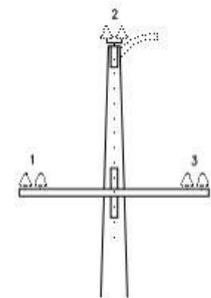


Figura 2.30 - Triângulo [10].

Pela visualização das figuras 2.27, 2.28, 2.29 e 2,29, é possível verificar que as diferenças fundamentais entre as armações se baseiam, principalmente, na disposição dos cabos e na distância entre eles.

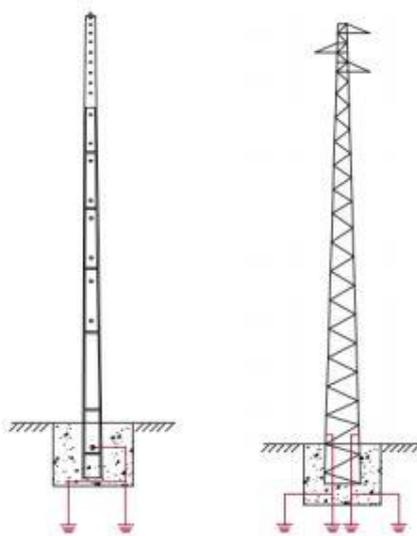
### 2.1.6 - Sistemas de ligação à terra

Os sistemas de ligação à terra têm como função escoar as correntes de defeito para o solo, garantindo, desta forma, a segurança de pessoas, equipamentos e instalações. Estes sistemas são constituídos por elétrodos de terra e pelos seus conjuntos de condutores. Ao ocorrer o defeito, as correntes de defeito são escoadas para o solo, distribuindo-se ao longo dos elétrodos

de terra enterrados no solo [3]. Neste sentido, terão de se projetar eficazmente os sistemas de ligação à terra cuidadosamente, tendo em consideração todos os perigos adjacentes ao mau dimensionamento dos mesmos.

Em caso de instalação de apoios em betão, os suportes metálicos dos isoladores devem ser ligados à terra do próprio apoio, devendo ainda ser ligados à terra dos apoios as estruturas metálicas dos aparelhos de corte ou de manobra.

Por sua vez, em situações em que sejam instalados postes metálicos, a ligação à terra é estabelecida por intermédio da interligação dos terminais de terra existentes em cada um dos montantes aos elétrodos de terra, como mostra a figura 2.31.



**Figura 2.31** - Sistema de ligação à terra, em postes de betão e postes metálicos, respetivamente [2].

# Capítulo 3

## Ciclo de Produção de Cabos Nus

Entre os líderes nacionais de fabricação de cabos de energia encontra-se a SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A.. Nos dias de hoje, uma das principais preocupações de qualquer empresa é satisfazer as necessidades dos seus clientes, sendo que só assim garantem o seu crescimento no mercado mundial. Neste sentido, todo um investimento em tecnologia de última geração e de ponta é necessário por forma a garantir a satisfação dos clientes, sendo que em todas as etapas de fabricação dos cabos um controlo de qualidade rigoroso é efetuado. Só assim a qualidade e a fiabilidade são asseguradas. Este controlo rigoroso é efetuado com base em protocolos específicos, regulamentados em normas, quer sejam estas nacionais ou internacionais. É de salientar o facto de que todas as etapas de fabrico dos cabos elétricos estão sujeitas a testes em laboratório, segundo as normas técnicas aplicáveis.

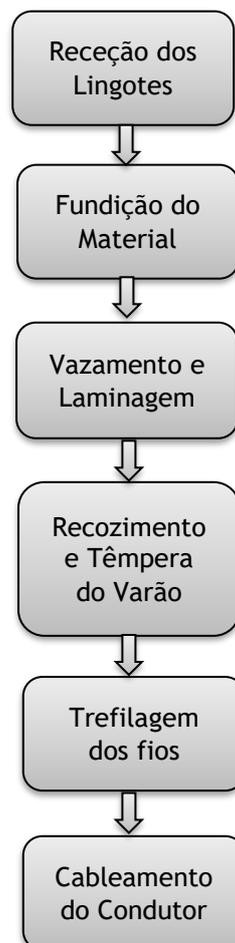
A SOLIDAL dispõe de um processo de Integração Vertical no que toca à matéria-prima principal utilizada. Na produção de um produto, a integração vertical ocorre quando uma empresa passa a controlar operações a montante ou a jusante, ou seja, todo este processo se inicia com a receção dos lingotes da matéria-prima em questão e termina com a fabricação completa da gama de cabos elétricos. A utilização deste processo engloba vantagens cruciais para empresas que se pretendem manter competitivas no panorama mundial. A garantia da regularidade dos fornecimentos e a capacidade que a empresa tem em manter os seus métodos construtivos e as tecnologias utilizadas em sigilo, são benefícios que comportam uma relevância enorme. Também o controlo permanente de todas as etapas inerentes à construção de um determinado cabo permite conhecer detalhadamente todo o processo de fabrico do mesmo, desde os materiais empregues às máquinas utilizadas. Na construção dos cabos, relativamente a cada camada constituinte do cabo, a organização é feita em semi-produtos, isto é, à medida que vão sendo produzidas as camadas, vão dando origem ao produto final, designado por cabo completo. Assim, a cada processo intermédio de construção dos semi-produtos, está associado um código de identificação, permitindo, desta forma, um rastreamento completo de todas as etapas de produção do cabo. Estes processos intermédios englobam o fabrico de uma camada constituinte de um cabo, realizado por uma das máquinas. Sendo o Departamento de Produção

responsável por estes processos, o mesmo elabora fichas de fabrico individuais para cada máquina utilizada e para cada semi-produto.

O ciclo produtivo na empresa SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A. engloba diferentes etapas, pelas quais os materiais têm de passar, para que no fim o cabo esteja devidamente dimensionado e preparado para ser entregue ao cliente.

Após um pedido de encomenda de um cabo elétrico à SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., o Departamento Comercial envia a informação disponibilizada pelo cliente ao Departamento de Tecnologia, responsável pela elaboração da ficha técnica do cabo em questão. São, então, calculadas todas as características dimensionais e elétricas do cabo, estando de seguida o Departamento de Produção responsável pela sua produção.

O fluxograma representado a seguir reflete as etapas de fabrico de um cabo nu dentro da empresa, sendo cada uma delas detalhada nas subsecções imediatas.



**Figura 3.1** - Etapas do Ciclo de Produção de um Cabo Nu

### 3.1 - Receção dos Lingotes

A SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., ao contrário de outras empresas da área, opta por adquirir a matéria-prima em bruto para a produção das almas condutoras, evitando assim a compra já pronta das mesmas. Os lingotes, ao serem recebidos, são analisados cuidadosamente, verificando que se encontram em bom estado de conservação, isentos de impurezas ou danos para uma perfeita utilização futura. Para o fabrico dos cabos, a SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A. utiliza lingotes de alumínio com grau de pureza  $\geq 99,7\%$  [1].

### 3.2 - Fundição do Material

Após a receção dos lingotes, inicia-se o processo de construção do cabo. A matéria-prima principal utilizada pela empresa é o alumínio. Cada carga de alumínio é formada por lingotes e complementada por restos de alumínio e liga de alumínio, correspondentes a desperdícios inerentes a todas as restantes fases de transformação, sendo, desta forma, reciclados e aproveitados.

Para o processo de fusão, a SOLIDAL possui três fornos, um Forno de Fusão e dois Fornos de Armazenamento, sendo que como o próprio nome indica, o Forno de Fusão é onde ocorre a fusão dos lingotes de alumínio e os Fornos de Armazenamento onde são armazenados o alumínio fundido. Os três fornos são aquecidos a gás natural e a transferência de carga efetuada é através de uma caleira amovível rotativa de ligação entre eles.

O facto de existirem dois fornos de armazenamento é extremamente vantajoso, na medida em que se garante a fundição contínua dos lingotes de alumínio, ou seja, enquanto um forno de armazenamento conserva o alumínio fundido, o outro esvazia a carga previamente armazenada. Outro benefício claro da existência de dois fornos de armazenamento é que assim é possível, em situações de manutenção a um dos fornos de armazenamento, prosseguir a fusão dos lingotes de alumínio, sem qualquer interrupção.

O aquecimento dos fornos faz-se consoante a utilização de queimadores a gás natural, devendo a subida da temperatura efetuar-se a um ritmo de  $50^{\circ}\text{C}/\text{hora}$  até se atingirem os  $200^{\circ}\text{C}$ , sendo de seguida elevados até  $75^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ . Estes queimadores a gás funcionam alternadamente como queimador e exaustor, reduzindo o consumo energético, sendo, por isso, do tipo regenerativo.

O carregamento da primeira carga será realizado por meio de empilhador e pela porta principal do forno de fusão, apenas quando a temperatura do mesmo tiver atingido os  $750^{\circ}\text{C}$ . Nunca devendo ultrapassar os  $950^{\circ}\text{C}$ , irá ocorrer um aumento progressivo da temperatura do forno de fusão. A carga seguinte é armazenada na câmara de pré-aquecimento de lingotes, onde irá aguardar pela transferência da carga anterior para ser carregada. A câmara de pré-

aquecimento é abastecida pelas emissões gasosas resultantes dos fornos de fusão, fornos de armazenamento e pelas estufas de tratamento térmico do alumínio, permitindo a colocação dos lingotes no forno de fusão a uma temperatura superior à temperatura ambiente e sem humidade, implicando a redução do consumo de gás natural nesse forno.

A par do alumínio, a SOLIDAL possui também uma linha de produção de almas condutoras de liga de alumínio, sendo que ao alumínio são adicionados outros elementos como o Ferro, Magnésio e Silício, em pequenas percentagens. Mediante a aplicação necessária, é possível realizar diversas combinações entre o alumínio e os elementos da liga, permitindo uma boa adaptabilidade. Aquando do processo de fundição de ligas de alumínio, é necessário um controlo rigoroso da percentagem de concentração de cada elemento, de forma a produzir a liga de alumínio de acordo com as especificações desejadas.

### **3.3 - Vazamento e Laminagem**

A máquina de vazamento contínuo consiste numa roda de vazamento em cobre, de velocidade variável, com um canal de secção reta trapezoidal em toda a sua periferia, que constitui o molde, no qual será realizado a solidificação da matéria-prima fundida [18].

Antes do vazamento, procede-se, inicialmente, ao controlo da temperatura do banho de alumínio, na saída do forno de manutenção, devendo-se situar entre os 720 °C e os 750 °C. Ainda antes de se iniciar o processo de vazamento, as calhas de condução, por onde será encaminhado o metal até uma bica de vazamento, são aquecidas e pintadas com uma solução de proteção, por forma a evitar a aderência do alumínio às mesmas. Nestas calhas de condução, são montadas redes de filtração, com o intuito de reter de eventuais impurezas.

A bica está posicionada no alinhamento da roda de vazamento, ajustando-se ao seu interior, transferindo o alumínio para o enchimento do canal. Atingido a capacidade máxima do canal, o processo de solidificação do alumínio é obtido por arrefecimento. Após a solidificação, a barra da matéria-prima é encaminhada para o laminador, composto por treze caixas de laminagem ativadas por uma caixa redutora única, obtendo-se, assim, varões de alumínio. A jusante do laminador, estão instalados dois bobinadores, que permitem a recolha direta em rolos de varão de alumínio fundido, podendo estes ser de dois tipos: redondos ou setoriais.

### **3.4 - Recozimento e Têmpera de Varão**

O processo de recozimento efetua-se, normalmente, após laminagem e antes da trefilagem e tem como objetivo melhorar a condutividade elétrica do alumínio. A instalação de recozimento consiste em duas estufas, sendo aquecidas por intermédio de queimadores

alimentados a gás natural. Este processo provoca a diminuição da resistência mecânica do alumínio.

Em contraste, os varões de liga de alumínio necessitam de elevar a sua resistência mecânica, aumentando, para isso, a tensão de rutura dos fios de liga de alumínio.

Continuamente ao vazamento e laminagem, a liga de alumínio sofre um tratamento térmico, que consiste, essencialmente, no aquecimento do varão a uma certa temperatura durante um determinado período de tempo, seguida de um brusco e severo arrefecimento por mergulho em água fria. O choque térmico a que a liga de alumínio está sujeita promove, assim, o aumento da resistência elétrica da mesma.

### 3.5 - Trefilagem

A trefilagem de fios de alumínio e liga de alumínio consiste num processo de alongamento, a frio, do material, realizado por máquinas trefiladoras de características semelhantes, puxando-o através de uma ferramenta designada fieira. Este processo permite obter o diâmetro desejado em relação ao material, conservando o volume do mesmo.

O processo de trefilagem é realizado em banho de óleo, no qual são mergulhados as fieiras e o fio em trefilagem. A solução a óleo irá atenuar os efeitos de atrito provocados pelo contacto dos fios do material com a ferramenta, evitando assim desgaste na mesma ou danos irreversíveis no material em questão. Por fim, o fio do material de secção reduzida é limpo pela fieira final, retendo o óleo de trefilagem.

### 3.6 - Cableamento do Condutor

O cableamento do condutor consiste basicamente na junção seguida de torção de vários fios, de forma a obter apenas um condutor de determinada secção, originando uma alma condutora multifilar. Encontram-se dispostos em hélice, em camadas sucessivas, mas enroladas em sentidos contrários, configurando um melhor aperto. O processo de cableamento é a etapa final de fabrico de um cabo nu que, mediante a aplicação final, poderá variar no material constituinte, no número de camadas e no diâmetro e número dos seus fios.

A partir da determinação do número de camadas, obtidas pelo processo de cableamento, é possível calcular o número total de fios presentes em cada camada. Assim, e considerando que todas as camadas possuem fios de diâmetro igual:

$$Número_{fios\ total} = 1 + 3N(N + 1), \quad (3.1)$$

onde  $N$  é o número de camadas.

Neste sentido, consoante o número de camadas, tem-se que:

- $N = 0 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 1$
- $N = 1 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 7 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6;
- $N = 2 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 19 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6 + 12;
- $N = 3 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 37 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6 + 12 + 18;
- $N = 4 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 61 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6 + 12 + 18 + 24;
- $N = 5 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 91 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6 + 12 + 18 + 24 + 30;
- $N = 6 \rightarrow N_{\text{fios total}}^{\circ} = 127 \rightarrow$  Da camada interior para a exterior: 1 + 6 + 12 + 18 + 24 + 30 + 36.

No processo de cableamento do condutor, são requeridas máquinas apropriadas para o efeito. A SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., possui uma série diversificada de máquinas de cableamento, sendo que estas máquinas obedecem ao número de fios e ao material a ser cableado.

Na primeira camada, constituída por 7 fios, é utilizada uma máquina de cableamento do tipo “Tubular”, uma vez que este processo é realizado pela rotação de um tubo, na periferia do qual são encaminhados os fios que constituem o cabo. Neste procedimento, as bobinas mantêm-se fixas.

Para cabos com 19 fios, o processo de cableamento da segunda camada é idêntico ao anterior, apenas com a incorporação de uma nova máquina do tipo “Tubular”, mas agora com 12 bobinas. Geralmente funcionando em sincronismo, as máquinas podem também funcionar de uma forma independente.

Para cabos com 37 fios, portanto, com três camadas, a máquina cableadora utilizada para a primeira camada é uma cableadora do tipo “Tubular”, seguida por duas cableadoras do tipo “Rígido”, que assumem as restantes camadas. Este último tipo de cableadoras difere do tipo “Tubular”, na medida em que, em vez se manterem fixas, as bobinas alimentadoras dos fios, rodam com as próprias cableadoras, em torno do eixo do cabo em produção.

Para cabos com mais de 37 fios, a máquina cableadora utilizada é do tipo “Planetária Rígida”, onde as bobinas alimentadoras dos fios giram em volta do eixo do cabo em construção, durante o cableamento. Podem cabos até 127 fios, sendo, para isso, constituídas por quatro módulos (18+24+30+36 fios), em sincronismo, sendo o cabo composto por seis camadas.

# Capítulo 4

## Caraterísticas Dimensionais e Elétricas

A parte integrante do processo de uma consulta e conseqüente encomenda de um cabo é o seu dimensionamento. Depois de realizada a consulta de um cabo por parte de um cliente, o Departamento de Tecnologia fica, então, encarregue do seu devido dimensionamento. Nesse sentido, é de extrema importância que o mesmo seja rigoroso e detalhado, de forma a ser enviado posteriormente ao cliente para planeamento da instalação do cabo.

Na elaboração de uma ficha técnica, as caraterísticas elétricas são de extrema importância para um correto dimensionamento de um cabo. Embora nem todas as caraterísticas sejam apresentadas numa ficha técnica, a sua análise é vital para compreender o comportamento elétrico de um cabo nu.

Neste capítulo, irão, então, ser abordadas as caraterísticas dimensionais e elétricas de um cabo, assim como as fórmulas de cálculo associadas. Todos os métodos e fórmulas de cálculo que irão ser apresentados são regidos pela norma *IEC 61597*, descrita na tabela 5.1.

### 4.1 - Caraterísticas Dimensionais

#### 4.1.1 - Diâmetro do Condutor

Para calcular o diâmetro total do condutor, inicialmente, é necessário saber se o cabo em questão é homogéneo ou heterogéneo. Para cabos homogéneos, como por exemplo o cabo AAC, descrito em 2.1.1.1, o diâmetro do condutor é dado por:

$$D = d_{Al} * (1 + 2n_{Al}), \quad (mm) \quad (4.1)$$

Onde  $d_{Al}$  é o diâmetro dos fios constituintes de alumínio e  $n_{Al}$  o número de camadas de alumínio.

Por outro lado, para cabos heterogéneos, por exemplo um cabo ACSR, descrito em 2.1.1.3, o diâmetro do condutor é definido pela expressão:

$$= [d_{Aço} * (1 + 2n_{Aço})] + (d_{Al} * 2n_{Al}), \quad (mm) \quad (4.2)$$

Onde  $d_{Aço}$  é o diâmetro dos fios de aço,  $n_{Aço}$  é o número de camadas de aço,  $d_{Al}$  é o diâmetro dos fios de alumínio e  $n_{Al}$  é o número de camadas de alumínio.

### 4.1.2 - Secção do Cabo

A secção útil do cabo é a soma das secções dos fios constituintes. A fórmula para a secção dos fios constituintes é dada por:

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4} \times n \quad (mm^2) \quad (4.3)$$

Onde:

$d$ : Diâmetro dos fios constituintes do cabo ( $mm$ );

$n$ : Número total de fios.

O diâmetro dos fios constituintes do cabo e o seu número são ambos especificados aquando da consulta do cliente.

### 4.1.3 - Peso do Condutor

O peso do condutor é dado pela soma dos pesos dos fios constituintes. A expressão matemática para o cálculo do peso dos fios constituintes é a seguinte:

$$P = S \times \rho \times \text{Incremento Massa} \quad (g/m) \quad (4.4)$$

Onde:

$S$ : Secção total dos fios ( $mm^2$ );

$\rho$ : Densidade a 20 °C do material constituinte  $Kg/dm^3$ .

O incremento da massa é definido como o incremento na massa do condutor devido ao processo de cableamento. Este incremento considera o tipo de material utilizado e a quantidade de camadas em questão. É definido pelas normas técnicas de construção. Dando como exemplo a norma europeia *EN 50182*, apresentada na tabela 5.2, na Figura 4.1, estão representados os valores dos incrementos de massa devido ao cableamento, consoante o número de camadas e fios e o material constituinte.

Stranding of conductor				Increment (Increase) (%)			
Aluminium		Steel		Mass		Electrical resistance	
No. of wires	No. of layers*	No. of wires	No. of layers*	Aluminium	Zn coated or Al clad steel	Aluminium	Aluminium-clad steel
7	1	-	-	1,11	-	1,11	-
19	2	-	-	1,68	-	1,68	-
37	3	-	-	2,03	-	2,03	-
61	4	-	-	2,36	-	2,36	-
91	5	-	-	2,78	-	2,78	-
127	6	-	-	2,75	-	2,75	-
6	1	1	-	1,39	-	1,39	-
8	1	1	-	1,66	-	1,66	-
18	2	1	-	1,82	-	1,82	-
9	1	3	1	1,91	0,34	1,91	0,34
6	1	7	1	1,51	0,52	1,51	0,52
10	1	7	1	2,01	0,52	2,01	0,52
12	1	7	1	2,17	0,52	2,17	0,52
14	1	7	1	2,30	0,52	2,30	0,52
18	2	7	1	1,94	0,52	1,94	0,52
22	2	7	1	2,07	0,52	2,07	0,52
24	2	7	1	2,13	0,52	2,13	0,52
26	2	7	1	2,18	0,52	2,18	0,52
28	2	7	1	2,22	0,52	2,22	0,52
30	2	7	1	2,26	0,52	2,26	0,52
32	2	7	1	2,30	0,52	2,30	0,52
36	2	7	1	2,37	0,52	2,37	0,52
42	3	7	1	2,20	0,52	2,20	0,52
45	3	7	1	2,23	0,52	2,23	0,52
48	3	7	1	2,26	0,52	2,26	0,52
54	3	7	1	2,31	0,52	2,31	0,52
72	4	7	1	2,40	0,52	2,40	0,52
84	4	7	1	2,46	0,52	2,46	0,52
14	1	19	2	2,50	0,82	2,50	0,82
15	1	19	2	2,56	0,82	2,56	0,82
16	1	19	2	2,61	0,82	2,61	0,82
18	1	19	2	2,70	0,82	2,70	0,82
30	2	19	2	2,36	0,86	2,36	0,86
32	2	19	2	2,41	0,86	2,41	0,86
36	2	19	2	2,48	0,86	2,48	0,86
42	2	19	2	2,57	0,86	2,57	0,86
54	3	19	2	2,26	0,79	2,26	0,79
38+22	3	19	2	2,22	0,79	2,22	0,79
42+20	3	19	2	2,18	0,79	2,18	0,79
66	3	19	2	2,34	0,79	2,34	0,79
78	3	19	2	2,40	0,79	2,40	0,79
96	4	19	2	2,46	0,79	2,46	0,79
100	4	19	2	2,47	0,79	2,47	0,79
18	1	37	3	2,70	1,09	2,70	1,09
24	1	37	3	2,91	1,09	2,91	1,09
72	3	37	3	2,43	0,86	2,43	0,86
54+66	4	37	3	2,32	0,86	2,32	0,86
150	5	37	3	2,38	0,86	2,38	0,86

\* Number of layers of each type of wire, not including the centre wire.

Figura 4.1 - Incremento massa devido ao cableamento, segundo a norma EN 50182

Na figura 4.1, estão também apresentados os incrementos da resistência eléctrica, que são os mesmos dos incrementos de massa, mas que irão ser abordados numa secção mais à frente.

Substituindo, então, a equação (4.3) na equação (4.4), tem-se então que o peso dos fios constituintes é determinado por:

$$P = \frac{\pi \times d^2}{4} \times n \times \rho \times \left(1 + \left(\frac{\text{Incremento Massa}}{100}\right)\right) \quad (\text{Kg/Km}) \quad (4.5)$$

Onde:

$d$ : Diâmetro dos fios (mm);

$n$ : Número dos fios;

$\rho$ : Densidade a 20° do material (Kg/dm<sup>3</sup>).

## 4.2 - Caraterísticas Eléctricas

### 4.2.1 - Perdas Eléctricas

Os processos de transmissão e distribuição de energia eléctrica através de linhas, quer sejam aéreas, quer sejam subterrâneas, envolvem perdas de energia. Estas perdas de energia podem ser de dois tipos:

- **Perdas Ativas** - Ocorrem em todos os condutores eléctricos, em consequência do efeito de Joule. O efeito de Joule consiste no aquecimento de um condutor ao ser percorrido por corrente eléctrica, havendo transformação de energia eléctrica em energia térmica. Estas perdas são proporcionais ao quadrado da corrente eléctrica que percorre os condutores, multiplicando pelo valor da sua resistência eléctrica à temperatura T ( $R_T \cdot I^2$ ).
- **Perdas Reativas** - Têm origem nas reatâncias dos equipamentos. A energia reativa, apesar de importante para o correcto funcionamento dos equipamentos, não produz qualquer energia útil. Ao percorrer as redes eléctricas, dá origem a perdas e diminui a sua eficiência, visto contribuir para o aumento das correntes nas linhas.

O equilíbrio térmico de um condutor é atingido quando o ganho térmico do condutor iguala as perdas por calor. Assim sendo, a expressão do equilíbrio térmico é dada por:

$$P_j + P_{sol} = P_{rad} + P_{conv} \quad (4.6)$$

#### 4.2.1.1 - Perdas Joule

Proporcionais ao quadrado da corrente eléctrica que percorre os condutores, multiplicado pela sua resistência eléctrica à temperatura T.

$$P_j = R_T \times I^2 \quad (W) \quad (4.7)$$

Onde:

$R_T$ : Resistência eléctrica à temperatura T ( $\Omega/m$ );

$I$ : Corrente no condutor (A).

#### 4.2.1.2 - Ganho Solar Térmico

O ganho solar térmico é dado pela seguinte equação:

$$P_{sol} = \gamma \times D \times S_i \quad (W/m) \quad (4.8)$$

Onde:

$\gamma$ : Coeficiente de absorção de radiação solar;

$D$ : Diâmetro do condutor (m);

$S_i$ : Intensidade de radiação solar ( $W/m^2$ ).

#### 4.2.1.3 - Perdas por Radiação

As perdas por radiação podem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$P_{rad} = s \times \pi \times D \times K_e (T_2^4 - T_1^4) \quad (W) \quad (4.9)$$

Onde:

$s$ : Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ );

$D$ : Diâmetro do condutor (m);

$K_e$ : Coeficiente de emissividade em relação a um corpo negro;

$T_1$ : Temperatura ambiente (K);

$T_2$ : Temperatura final de equilíbrio (K).

#### 4.2.1.4 - Perdas por Convecção

Apenas a convecção forçada é tomada em conta na fórmula seguinte:

$$P_{conv} = \lambda Nu (T_2 - T_1) \times \pi \quad (4.10)$$

Onde:

$\lambda$ : Condutividade térmica do ar em contacto com o condutor, assumida constante e igual a:  $0,02585 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ .

$Nu$ : Número de Nusselt, dado pela equação:

$$Nu = 0,65 Re^{0,2} + 0,23 Re^{0,61} \quad (4.11)$$

Onde:

$Re$ : Número de Reynolds, dado por:

$$Re = 1,644 \times 10^9 v D \{(T_1 + 0,5(T_2 - T_1))\}^{-1,78} \quad (4.12)$$

Onde:

$v$ : Velocidade do vento (m/s);

$D$ : Diâmetro do condutor (m);

$T_1$ : Temperatura ambiente (K);

$T_2$ : Temperatura final de equilíbrio (K).

### 4.2.2 - Corrente Máxima Admissível (Current Carrying Capacity)

A corrente máxima admissível de um condutor é a máxima corrente eléctrica, em regime permanente, capaz de provocar um aumento na temperatura no condutor, em condições de temperatura ambiente. Depende do tipo de condutor, da sua resistência eléctrica, do máximo valor permitido de aumento de temperatura e das condições ambiente.

A partir da equação do estado de equilíbrio, a corrente máxima admissível pode ser calculada por:

$$I_{max} = \{(P_{rad} + P_{conv} - P_{sol})/R_T\}^{1/2} \quad (4.13)$$

Onde:

$R_T$ : Resistência eléctrica do condutor à temperatura T ( $\Omega/m$ );

$P_{rad}$ ,  $P_{conv}$  e  $P_{sol}$  já calculados anteriormente;

Assume-se, geralmente, os seguintes valores:

$v = 1 \text{ m/s}$ : Velocidade do vento;

$S_i = 900 \text{ W/m}^2$  : Intensidade de radiação solar;

$\gamma = 0,5$ : Coeficiente de absorção solar;

$K_e = 0,6$ : Emissividade em relação a corpo negro;

$T_2 = 353 \text{ K e } 373 \text{ K (} 80^\circ\text{C e } 100^\circ\text{C, respectivamente)}$ : Temperatura do alumínio;

$T_1 = 293 \text{ K (} 20^\circ\text{C)}$ : Temperatura ambiente.

Segundo a norma *IEC 1597*, é de salientar que, qualquer mudança nestas condições de cálculo, especialmente na velocidade do vento e na temperatura ambiente irão resultar em diferentes valores da corrente máxima admissível. Neste caso, novos valores da corrente devem ser calculados, de acordo com as fórmulas apresentadas em cima.

### 4.2.3 - Resistência Eléctrica

A resistência eléctrica é definida como a maior ou menor dificuldade oferecida por um condutor à passagem da corrente eléctrica. A corrente eléctrica, por sua vez, consiste no movimento de partículas eletricamente carregadas numa determinada direção e sentido. Estas partículas, ao se deslocarem, necessitam de evitar os núcleos dos átomos que constituem o material condutor, visto que se se intersetarem, o movimento das mesmas vai ser travado. Neste sentido, a resistência eléctrica do condutor de um cabo varia em função do material utilizado e do tipo de construção do condutor e do cabo.

#### 4.2.3.1 - Resistência Elétrica em Corrente Contínua

A resistência elétrica é a única grandeza que, em circuitos de corrente contínua, impede a passagem da corrente elétrica. A resistência de um condutor, em corrente contínua e à temperatura de  $\theta$  (°C), exprime-se em função do seu valor à temperatura de 20°C por:

$$R_{\theta} = R_{20} \{1 + [\alpha_{20}(\theta - 20)]\} \quad (4.14)$$

Onde:

$\alpha_{20}$ : Coeficiente de temperatura da resistência elétrica a 20°C.

$$\alpha_{20} \text{ Alumínio} = 4,03 \times 10^{-3} \quad (^\circ\text{C}^{-1})$$

$$\alpha_{20} \text{ Liga Alumínio} = 3,60 \times 10^{-3} \quad (^\circ\text{C}^{-1})$$

$$\alpha_{20} \text{ Cobre} = 3,93 \times 10^{-3} \quad (^\circ\text{C}^{-1})$$

#### 4.2.3.2 - Resistência Elétrica em Corrente Alternada

Ao contrário do que acontece em corrente contínua, no qual a corrente elétrica se distribui uniformemente pelo condutor, em corrente alternada tal situação não se verifica.

Num condutor percorrido por uma corrente variável ao longo do tempo, a sua distribuição no interior do condutor não é uniforme. O campo magnético que é criado pela corrente variável no tempo induz correntes de Foucault (correntes elétricas induzidas por meio de fluxos magnéticos variáveis) que se irão sobrepor à mesma, provocando assim uma nova distribuição na densidade de corrente, sendo mais elevada na periferia do que no centro do condutor. A este fenómeno dá-se o nome de **Efeito Pelicular**.

Ora, ao haver uma tendência de distribuição da densidade de corrente na periferia do condutor, a concentração de eletrões vai aumentar e tornar-se-á excessiva, criando-se, assim, atritos entre eles. Evidentemente, isto provocará um aquecimento do condutor que irá libertar energia sob forma de calor, contribuindo para um aumento das perdas na transmissão da energia elétrica.

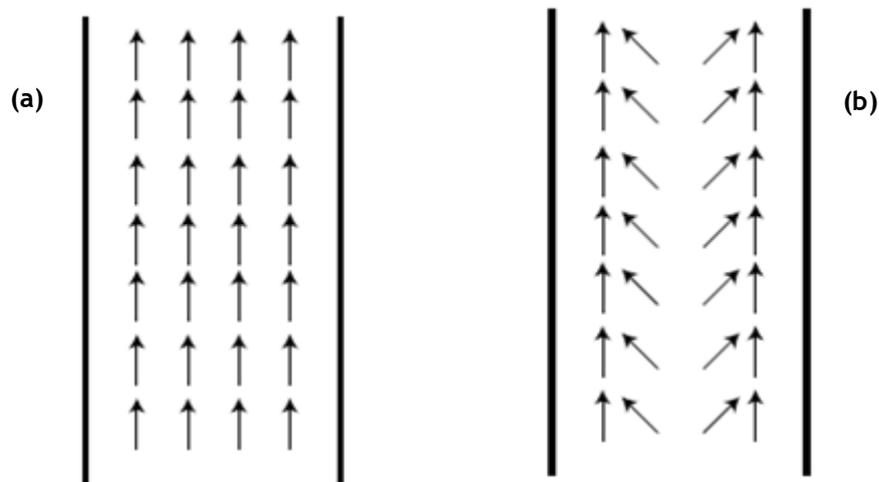


Figura 4.2 - Efeito Pelicular num condutor [11].

A figura 4.2(a) - **corrente contínua (DC)** - mostra que o fluxo ocupa uniformemente todo o interior do condutor, evidenciando assim uma boa eficiência do uso do mesmo. Já na figura 4.2(b) - **corrente alternada (AC)** - é realçado o efeito pelicular, verificando-se que o fluxo de carga se desloca para a periferia do condutor [12].

Por outro lado, desde que vários condutores, em sistemas de corrente alternada, estejam próximos entre si, fenômenos de indução vão ocorrer, havendo uma perturbação dos campos magnéticos de cada um deles, devido à sua proximidade. Esta perturbação vai provocar novamente um desequilíbrio na distribuição da densidade de corrente. A este fenômeno dá-se o nome de **Efeito de Proximidade**.

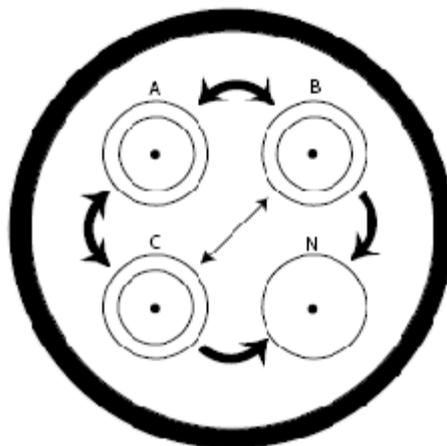


Figura 1.3 - Efeito de Proximidade num condutor [11].

Na figura 4.3, está evidenciado o efeito de proximidade num condutor com três fases (A, B e C) e neutro (N). Os campos magnéticos vão sendo partilhados pelas três fases do condutor, o

que irá provocar uma repartição desigual do campo magnético. Isto significa que as fases do condutor não vão transportar a mesma quantidade de corrente, como acontece em sistemas de corrente contínua.

Este efeito de proximidade, tal como o efeito pelicular, promove o aumento da resistência em corrente alternada, traduzindo-se em mais perdas [11].

Estes dois efeitos contribuem, então, para um aumento da resistência dos condutores. Assim, na determinação da resistência AC:

$$\text{resistência AC} = \text{resistência DC} \times (1 + Y_s + Y_p) \quad (\Omega/\text{km}) \quad (4.15)$$

Onde:

$Y_s$ : Coeficiente de efeito pelicular;

$Y_p$ : Coeficiente de efeito de proximidade.

O aumento da resistência, mais sensível no cobre do que no alumínio, é tanto mais importante quanto maior for a frequência da rede, o diâmetro e a aproximação dos cabos.

Pela ocorrência dos dois efeitos em cima mencionados, a resistência em corrente alternada do condutor é maior do que a resistência em corrente contínua.

#### 4.2.3.3 - Resistência Elétrica Máxima a 20 °C

Para o dimensionamento de um condutor, este parâmetro é calculado tendo por base a seguinte fórmula:

$$R_{20} = \frac{\rho_{\text{máx } 20^\circ\text{C}}}{S} * 1000 * \left(1 + \left(\frac{\text{Incremento Resistência}}{100}\right)\right) \quad (\Omega/\text{km}) \quad (4.16)$$

Onde:

$\rho_{\text{máx } 20^\circ\text{C}}$ : Resistividade máxima a 20 °C ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$S$ : Secção total dos fios constituintes ( $\text{mm}^2$ ).

O incremento de resistência elétrica é dado pela tabela apresentada na *figura 1*, na *secção 4.1.1*.

#### 4.2.4 - Reatância Indutiva

A reatância indutiva dos condutores é calculada tendo em conta os fluxos criados pela corrente ao atravessar os condutores. Está assim dividida em duas partes:

- Resultante do fluxo magnético para um raio de 0,3048m;
- Resultante do fluxo magnético para um raio de 0,3048m até ao equivalente condutor de retorno.

O primeiro passo para calcular a reatância indutiva para um raio de 0,3048m é determinar a Média Geométrica do raio (*Geometric Mean Radius*) do condutor. A expressão está apresentada de seguida:

$$GMR = 0,5 D K_g \quad (m) \tag{4.17}$$

Onde:

*GMR*: Média Geométrica do raio do condutor (m);

*D*: Diâmetro do condutor (m);

*K<sub>g</sub>*: Fator de camadas (*Lay Ratio*).

Os valores dos fatores de camadas são, geralmente, evidenciados nas normas de construção. Novamente, utilizando a norma europeia *EN 50182*, e dependendo do número de fios e camadas dos materiais constituintes, os valores dos fatores de camadas são dados por:

Aluminium wires		Steel wires		Lay ratio							
No.	Layers	No.	Layers	1	2	3	4	6	8	7	8
7	1	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
19	2	-	-	15	12	-	-	-	-	-	-
37	3	-	-	15	13,5	11,5	-	-	-	-	-
61	4	-	-	15	13,5	12,5	11	-	-	-	-
91	5	-	-	15	13,5	12,5	11	10,5	-	-	-
127	6	-	-	15	14,5	13,5	12	11,5	10,5	-	-
6	1	1	-	12,5	-	-	-	-	-	-	-
8	1	1	-	12,5	-	-	-	-	-	-	-
18	2	1	-	14	12	-	-	-	-	-	-
9	1	3	1	19	12	-	-	-	-	-	-
6	1	7	1	19	12	-	-	-	-	-	-
10	1	7	1	19	12	-	-	-	-	-	-
12	1	7	1	19	12	-	-	-	-	-	-
14	1	7	1	19	12	-	-	-	-	-	-
18	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
22	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
24	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
26	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
28	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
30	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
32	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
36	2	7	1	19	14	11,5	-	-	-	-	-
42	3	7	1	19	15	13	11,5	-	-	-	-
45	3	7	1	19	15	13	11,5	-	-	-	-
48	3	7	1	19	15	13	11,5	-	-	-	-
54	3	7	1	19	15	13	11,5	-	-	-	-
72	4	7	1	19	15,5	13,5	12	11,5	-	-	-
84	4	7	1	19	15,5	13,5	12	11,5	-	-	-
14	1	19	2	20	17,5	11,5	-	-	-	-	-
15	1	19	2	20	17,5	11,5	-	-	-	-	-
16	1	19	2	20	17,5	11,5	-	-	-	-	-
18	1	19	2	20	17,5	11,5	-	-	-	-	-
30	2	19	2	20	17	13	11,5	-	-	-	-
32	2	19	2	20	17	13	11,5	-	-	-	-
36	2	19	2	20	17	13	11,5	-	-	-	-
42	2	19	2	20	17	13	11,5	-	-	-	-
54	3	19	2	20	18	15	13,5	11,5	-	-	-
38+22	3	19	2	20	18	15	13,5	11,5	-	-	-
42+20	3	19	2	20	18	15	13,5	11,5	-	-	-
66	3	19	2	20	18	15	13,5	11,5	-	-	-
78	3	19	2	20	18	15	13,5	11,5	-	-	-
96	4	19	2	20	18	15	13,5	12,5	11,5	-	-
100	4	19	2	20	18	15	13,5	12,5	11,5	-	-
18	1	37	3	20	18	16	11,5	-	-	-	-
24	1	37	3	20	18	16	11,5	-	-	-	-
72	3	37	3	22	19	17	15	13	11,5	-	-
54+66	4	37	3	24	20	18	16,5	15	12,5	11,5	-
150	6	37	3	24	20	18	16,5	15	14	12,5	11,5

NOTE: For more accurate calculations, measured values may be used.

Figura 4.4 - Fator de camadas, segundo a norma EN 50182.

Então, a reatância indutiva para um raio de aproximadamente 0,3m é dada por:

$$X_i = 4 \times 10^{-4} \pi f \ln\left(\frac{0,3}{GMR}\right) = 0,1736 \left(\frac{f}{60}\right) \lg\left(\frac{0,3}{GMR}\right) \quad (\Omega/km) \quad (4.18)$$

Onde:

$X_i$ : Reatância indutiva para raio de 0,3048m ( $\Omega/km$ );

$f$ : Frequência (Hz);

$GMR$ : Média Geométrica do raio (m).

### 4.2.5 - Reatância Capacitiva

A reatância capacitiva também segue a mesma linha de cálculo do que a reatância indutiva e pode ser dividida nas mesmas duas partes:

- A reatância capacitiva para um raio de 0,3048m;
- A reatância capacitiva para um de 0,3048m até ao equivalente condutor de retorno.

Conclui-se que esta grandeza é dependente da frequência e das dimensões do condutor, como mostra a seguinte expressão:

$$X_c = \left(\frac{9}{\pi f}\right) \ln\left(2 \times \frac{0,3}{D}\right) = 0,1099 \left(\frac{60}{f}\right) \lg\left(2 \times \frac{0,3}{D}\right) \quad (M\Omega.km) \quad (4.19)$$

Onde:

$X_c$ : Reatância Capacitiva para um raio de 0,3048m ( $M\Omega.km$ );

$f$ : Frequência (Hz);

$D$ : Diâmetro do condutor (m).

### 4.2.6- Elongação de condutores cableados

A elongação dos condutores pode ser causada por diversas razões, sendo elas:

- Elongação elástica;
- Elongação térmica;
- Deformação;
- Elongação devido à folga nos fios durante o cableamento;
- Compressão radial e indentação local das camadas do condutor nos contactos com os

fios.

Nas subsecções seguintes, apenas irão ser abordados os três primeiros pontos.

### 4.2.6.1 - Elongação Térmica

Variações na temperatura afetam o comprimento de um condutor, uma vez que o mesmo fica sujeito a situações de deformação e alongação. A expressão seguinte representa a unidade de alongação:

$$\varepsilon_T = \beta \Delta T \quad (K^{-1}) \quad (4.20)$$

Onde:

$\beta$  : Coeficiente de expansão linear do condutor ( $K^{-1}$ );

$\beta_a$ : Coeficiente de expansão linear para alumínio ( $K^{-1}$ );

$\beta_s$ : Coeficiente de expansão linear para aço ( $K^{-1}$ );

$\Delta T$ : Incremento T da temperatura.

Para todos os condutores de alumínio designados AL1, AL2, AL1/AL2 e AL1/AL3, o valor de  $\beta_a$ :  $\beta_a = 23 \times 10^{-6} K^{-1}$ .

Para fios de aço, o valor de  $\beta_s$ :  $\beta_s = 11,5 \times 10^{-6} (K^{-1})$ .

Quando fios de aço e de alumínio estão sujeitos a tensões de tração, a tensão térmica e a tensão elástica estão relacionadas. Aplicável ao condutor, a expressão é a seguinte:

$$\frac{\Delta F}{A} E = \beta \Delta T \quad (4.21)$$

Onde:

$\Delta F, \Delta F_a, \Delta F_s$ : Incrementos no condutor, alumínio e no aço, respetivamente;

$\beta$ : Coeficiente de dilatação linear do condutor em  $K^{-1}$  ( $\beta_a$  para alumínio e  $\beta_s$  para aço);

$A$ : Secção do condutor ( $mm^2$ ) ( $A_a$  para fios de alumínio e  $A_s$  para fios de aço);

$\Delta T$ : Incremento T da temperatura.

Sabendo que,  $\Delta F = \Delta F_a + \Delta F_s$ , a equação (4.21) em conjunto com as respetivas equações para o alumínio e o aço, podem ser simplificadas para:

$$\beta = (E_a A_a \beta_a + E_s A_s \beta_s) / EA \quad (4.22)$$

$\Leftrightarrow$

$$\beta = (E_a A_a \beta_a + E_s A_s \beta_s) / (E_a A_a + E_s A_s) \quad (4.23)$$

Assumindo agora que a rigidez relativa da secção do aço em relação à rigidez relativa da secção do alumínio é  $K_1$ , ( $K_1 = E_s A_s / E_a A_a$ ), tem-se que:

$$\beta = \frac{(\beta_a + K_1 \beta_s)}{(1 + K_1)} \quad (4.24)$$

Onde:

$\beta_a = 23 \times 10^{-6} K^{-1}$  - Coeficiente de Dilatação Linear do Alumínio;

$\beta_s = 11,5 \times 10^{-6} K^{-1}$  - Coeficiente de Dilatação Linear do Aço;

$E_a = 55\,000\text{ MPa}$  para alumínio;

$E_s = 190\,000\text{ MPa}$  para aço - Aplicável a uma alma de 7 ou 19 fios de aço. Para almas maiores, diferentes valores devem ser usados. Para uma alma com apenas um fio de aço, o módulo de elasticidade utilizado deve ser  $E_s = 207\,000\text{ MPa}$ .

#### 4.2.6.2 - Propriedades de tensão-deformação

O comportamento de tensão-deformação de condutores de alumínio-aço (ALx/STxy) depende das propriedades dos fios, do seu número e das camadas.

Num condutor sujeito a cargas de tração, a tensão total do condutor,  $F$ , é representada pela soma das tensões no alumínio ( $F_a$ ) e no aço ( $F_s$ ). Relativamente à elongação, a elongação total do condutor é igual à de cada componente. Assim, tem-se que:

$$F = F_a + F_s \quad (4.25)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_a = \varepsilon_s \quad (4.26)$$

$$\frac{F}{AE} = \frac{F_a}{A_a E_a} = \frac{F_s}{A_s E_s} \quad (4.27)$$

Resolvendo as equações apresentadas em cima e, assumindo que todos as componentes se comportam elasticamente, obtém-se:

$$F_a = F E_a A_a / EA \quad (4.28)$$

$$F_s = F E_s A_s / EA \quad (4.29)$$

$$E = (E_a A_a + E_s A_s) / A \quad (4.30)$$

Assumindo de seguida que  $A_a/A$  e  $A_s/A$  são definidas como sendo  $\alpha_a$  e  $\alpha_s$ , pode-se simplificar a equação anterior:

$$E = E_a \alpha_a + E_s \alpha_s \quad (4.31)$$

Como o alumínio está sujeito a deformação, podemos voltar a escrever a equação a seguir representada, incluindo agora o parâmetro associado à deformação ( $\varepsilon_c$ ):

$$\frac{F}{AE} = \frac{F_a}{A_a E_a} = \frac{F_s}{A_s E_s} \quad (4.32)$$

$$\frac{F}{AE} = \frac{F_a}{A_a E_a} + \varepsilon_c = \frac{F_s}{A_s E_s} \quad (4.33)$$

Resolvendo agora as equações (4.25) e (4.32), tem-se que:

$$F_a = F E_a A_a (1 - \varepsilon_c E_s A_s / F) / EA \quad (4.34)$$

$$F_s = F E_s A_s (1 + \varepsilon_c E_a A_a / F) / EA \quad (4.35)$$

$$E = (E_a \alpha_a + E_s \alpha_s) / (1 + \varepsilon_c E_a A_a / F) \quad (4.36)$$

Daqui se conclui que a deformação nos fios de alumínio contribui para a diminuição das cargas de tração nestes mesmos fios, transferindo a carga para os fios de aço. A quantificação desta diminuição pode ser obtida pela subtração de  $F_a$  na equação (4.28):

$$\Delta F_a = (E_a A_a E_s A_s) \times \varepsilon_c / EA \quad (4.37)$$

A tensão no alumínio diminui com a deformação. Em condições extremas, os fios de alumínio não são capazes de suportar nenhuma carga.

#### 4.2.6.3 - Módulo de Elasticidade Final

O módulo de elasticidade final de condutores aéreos pode ser calculado a partir da fórmula:

$$E = E_a \alpha_a + E_s \alpha_s \quad (MPa) \quad (4.38)$$

Onde:

$E_a$ : módulo de elasticidade do alumínio (MPa);

$E_s$ : módulo de elasticidade do aço (MPa);

$$\alpha_a = \left( \frac{\text{Secção}_{fiosAl/Liga} * N^{\circ}_{fiosAl/Liga}}{\text{Secção total}_{condutor}} \right) \quad (4.39)$$

$$\alpha_s = \left( \frac{\text{Secção}_{fiosAço/ACS} * N^{\circ}_{fiosAço/ACS}}{\text{Secção total}_{condutor}} \right) \quad (4.40)$$

Como os fios estão enrolados em hélice, um alongamento unitário ao longo do eixo do condutor leva a menos tensão no mesmo e, assim, reduz o módulo de elasticidade. Além disso, a compressão radial entre as camadas nos pontos de contacto dos fios tendem a gerar tensão ao longo do eixo do condutor. Por estas razões, o módulo de elasticidade do alumínio tende a decrescer com o aumento do número de camadas e fios. O mesmo se aplica ao aço, mas numa escala menor, devido à sua rigidez nos pontos de contacto. Para condições práticas de utilização, o módulo de elasticidade final para cabos heterogéneos é calculado por:

$$E = E_a \left( \frac{\text{Secção}_{fiosAl/Liga} * N^{\circ}_{fiosAl/Liga}}{\text{Secção total}_{condutor}} \right) + E_s \left( \frac{\text{Secção}_{fiosAço/ACS} * N^{\circ}_{fiosAço/ACS}}{\text{Secção total}_{condutor}} \right) \quad (4.41)$$

É de salientar o facto de, para condutores homogéneos, o módulo de elasticidade final é definido como o módulo de elasticidade do material constituinte. Dando como exemplo um condutor homogéneo de alumínio (AAC), *secção 2.1.1*, é possível verificar pela visualização da fórmula matemática acima apresentada que o módulo de elasticidade final ( $E$ ) vai ser igual ao módulo de elasticidade do alumínio ( $E_a$ ).

#### 4.2.6.4 - Deformação total num condutor

A deformação-elongação total para diferentes cargas e temperaturas segue a expressão:

$$\varepsilon_c = K_c \times e^{\phi T} \times \sigma^\psi \times t^\mu \quad (4.42)$$

Onde:

$K_c$ : Coeficiente de deformação, dependente sobretudo do número de fios no condutor;

$\phi$ : Coeficiente da dependência de temperatura;

$\psi$ : Coeficiente da dependência de tensão;

$\mu$ : Coeficiente da dependência de tempo.

Por forma a determinar estes coeficientes, terão de ser feitos testes muito rigorosos, seguindo um protocolo detalhado, visto que grande parte da deformação verificada ocorre logo no início dos mesmos. Aliado ao facto de que os coeficientes dependem do número de fios e dos seus materiais constituintes, os testes de deformação demoram muito tempo a serem realizados, pelo que a sua determinação é, portanto, bastante complexa.

#### 4.2.6.5 - Perda de Força/Resistência

A passagem da corrente eléctrica num condutor causa um aumento de temperatura que pode causar um efeito de recozimento no alumínio, que, combinado com o sobre envelhecimento da liga de alumínio provoca perda de força. A quantidade de força perdida depende da temperatura e da duração, sendo o efeito acumulativo, isto é, se considerarmos 10 horas por ano durante 10 anos tem um efeito semelhante ao aquecer um condutor continuamente durante 100 horas à mesma temperatura.

#### 4.2.7- Máximo comprimento do condutor nas bobinas

Para o acondicionamento, armazenamento e transporte dos cabos eléctricos, são utilizados vários tipos de bobinas, tanto a nível dimensional como construtivo. Com algumas exceções nos cabos de alta tensão, onde são utilizadas bobinas metálicas, normalmente são utilizadas bobinas fabricadas em madeira. Estas são construídas em conformidade com as normas e as especificações existentes para o efeito, garantindo a protecção necessária dos cabos nelas acondicionados.

O volume da bobina é expresso por:

$$V_{dr} = (\pi d_1^2 - \pi d_2^2) \times B / 4 \quad (m^3) \quad (4.43)$$

Onde:

$V_{dr}$ : Volume da bobina ( $m^3$ );

$d_1, d_2$ : Diâmetro exterior e interior da bobina, respetivamente (m);

$B$ : Largura interior da bobina (m).

É prática comum estabelecer que o diâmetro interno mínimo da bobina ( $d_2$ ) seja igual a, pelo menos, 30 vezes o diâmetro do condutor - aplicável a uma camada, com camadas podem ser requeridos valores superiores.

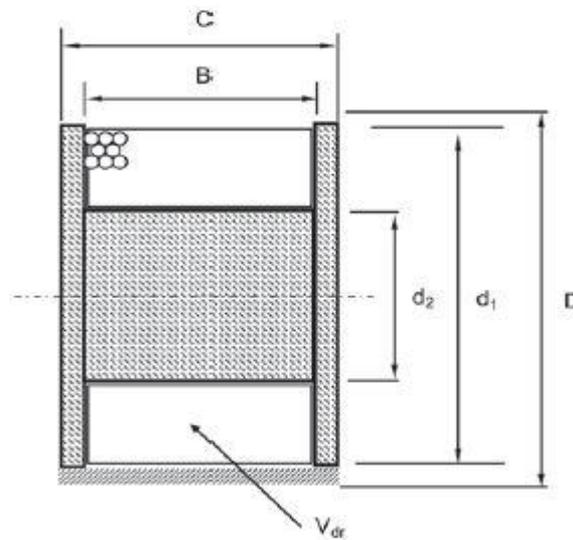


Figura 4.5 - Volume útil numa bobina [1].

### 4.2.8- Fator de Acondicionamento

A quantidade de condutor que consegue ser enrolado numa bobina depende dos espaços vazios entre as curvas do condutor. Se o fator de empacotamento é definido como sendo um quociente entre o volume disponível e o volume total, dois casos extremos podem ser considerados: Espaço máximo e espaço mínimo.

Na situação de espaço máximo entre as camadas dos condutores, o fator de acondicionamento,  $k_p$ , pode ser definido por:

$$k_p = \pi/4 \cong 0,785 \quad (4.44)$$

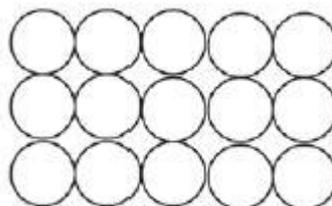


Figura 4.6 - Espaço Máximo numa bobina [1].

No caso de espaço mínimo entre as camadas dos condutores, o fator de acondicionamento,  $k_p$ , é expresso por:

$$k_p = \pi/2 \times 1,732 \equiv 0,907 \quad (4.45)$$

Vulgarmente,  $k_p = 0,87$ , é considerado suficiente para operações práticas.

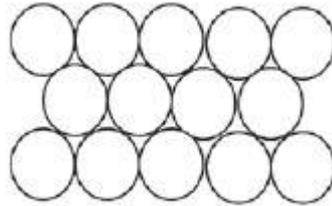


Figura 4.7 - Espaço Mínimo numa bobina [1].

#### 4.2.9- Espaço Livre da última camada do condutor

É prática comum considerar um espaço mínimo de proteção entre a última camada do condutor e o fecho da bobina (final da aba da bobina) de 2 vezes o diâmetro do condutor. Tendo em conta que para condutores de pequena secção, o acondicionamento é normalmente efetuado em bobinas pequenas, e para condutores de secção mais elevada em bobinas maiores, os valores apresentados na tabela seguinte são os mais recomendados:

Tabela 4.1 – Espaço livre na bobina [1].

Diâmetro exterior $d_1$ (m)	Espaço médio entre o fecho e o condutor cm
1,2	5
1,4	5
1,6	7
1,8	8
2,0	8
2,2	10
2,5	10

O espaço indicado na tabela acima apresentada corresponde a um fator de redução de, aproximadamente,  $k_s = 0,8$  aplicado ao volume  $V_{dr}$ .

Utilizando a expressão de cálculo do volume da bobina, o comprimento máximo de condutor numa bobina pode ser calculado por:

$$V_{dr} k_s k_p = D^2 L \pi / 4 \quad (4.46)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$L = 0,886 V_{dr} / D^2 \quad (4.47)$$

Onde:

$k_s$ : Fator de redução = 0,8;

$k_p$ : Fator de acondicionamento = 0,87;

$V_{dr}$ : Volume da bobina ( $m^3$ );

$D$ : Diâmetro do condutor (m);

$L$ : Comprimento máximo do condutor (m).

#### 4.2.10 - Carga de Rutura Nominal

Para o cálculo da carga de rutura nominal de condutores aéreos, a expressão considerada para a determinar é a seguinte:

$$C \text{ (kN)} = (Tensão Ruptura_{1\% \text{ do Alongamento}} \times Secção_{fios Aço/ACS} \times N^o_{fios Aço/ACS} + Tensão mínima ruptura_{fios} \times Secção_{fios Alumínio/Liga} \times N^o_{fios Alumínio/Liga}) / 1000 \quad (4.48)$$

Pela observação direta da fórmula, é visível que, para cabos homogêneos, apenas uma parcela da soma é considerada, dependendo do material do condutor em questão. Neste

sentido e tomando como exemplo novamente um condutor homogéneo de alumínio (AAC), secção 2.1.1., a expressão da carga de rutura nominal será dada por:

(4.49)

$$C \text{ (kN)} = (\text{Tensão mínima ruptura}_{\text{fios}} \times \text{Secção}_{\text{fios Alumínio/Liga}} \times N^{\circ}_{\text{fios Alumínio/Liga}}) / 1000$$

### 4.2.11 - Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito

As correntes de curto-circuito são definidas como aquelas que fluem através do defeito enquanto este persiste [14].

A corrente de curto-circuito vai provocar um aumento de temperatura nos condutores, sendo, por isso, necessário fazer atuar os equipamentos de proteção de forma a que os mesmos não fiquem danificados irreversivelmente. Neste sentido, quando as correntes que passam pelos condutores são de curta-duração (1 a 5 segundos), admite-se que o processo é adiabático, ou seja, não vão ocorrer fenómenos de libertação de energia sob forma de calor, sendo este totalmente utilizado no aquecimento dos condutores.

Ao contrário das outras caraterísticas eléctricas calculadas neste capítulo, o cálculo da corrente máxima admissível em curto-circuito rege-se por uma norma diferente, sendo esta a IEC 60949, descrita na tabela 5.1. Assim, a expressão matemática que permite calcular a corrente máxima admissível em Curto-Circuito para cabos de guarda O.P.G.W. e cabos de guarda de ACS, imposta pela norma IEC 60949, é dada por:

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln \left( \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) * 0,001 \quad (KA^2s) \quad (4.50)$$

Onde:

$I_{AD}^2$ : Corrente Máxima Admissível em Curto Circuito ( $KA^2s$ );

$t$ : Duração do Curto-Circuito (s);

$S$ : Secção da componente da capacidade da corrente ( $mm^2$ );

$\theta_f$ : Temperatura Final de Curto-Circuito (K);

$\theta_i$ : Temperatura Inicial de Curto-Circuito (K);

$\beta$ : Coeficiente de temperatura da resistência a  $0^{\circ}C$ ;

$K$ : Constante dependente do material da componente da capacidade da corrente ( $As/mm^2$ ).

Por sua vez, a constante K pode ser definida como sendo:

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) * 10^{-12}}{\rho_{20}}} \quad (As/mm^2) \quad (4.51)$$

Onde:

$\sigma_c$ : Calor Específico volumétrico da componente de transporte de corrente a  $20^{\circ}C$  ( $Kcal/Kg.^{\circ}C$ );

$\beta$ : Coeficiente de temperatura da resistência a 0° C;

$\rho_{20}$ : Resistividade Elétrica da componente de transporte da corrente a 20° C ( $\Omega\text{m}$ ).

Substituindo a fórmula matemática da constante  $K$  na equação acima apresentada, tem-se que:

$$I_{AD}^2 t = \left( \frac{\sigma_c (\beta + 20) * 10^{-12}}{\rho_{20}} \right) S^2 \ln \left( \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) \quad (4.52)$$

↔

$$I_{AD} = \sqrt{\frac{\left( \frac{\sigma_c (\beta + 20) * 10^{-12}}{\rho_{20}} \right) S^2 \ln \left( \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)}{t}} * 0,001 \quad (KA) \quad (4.53)$$

# Capítulo 5

## Desenvolvimento da Plataforma Computacional

A dissertação teve, então, como objetivo principal a continuação do desenvolvimento de uma plataforma computacional, designada por “BdoisB”, para otimização e gestão das especificações técnicas de cabos nus.

Assim sendo, neste capítulo, será dada uma explicação sobre o funcionamento da plataforma, da base de dados desenvolvida e de todas as variáveis e fórmulas inerentes à sua utilização. As normas técnicas serão também alvo de análise pela importância que desempenham na construção dos cabos nus.

### 5.1 - Enquadramento

Como já referido anteriormente, o Departamento Comercial é contactado pelos clientes, informando de seguida o Departamento de Tecnologia sobre a proposta técnica que é necessária realizar. É este o Departamento responsável pela elaboração da ficha técnica e pelo cálculo de todas as especificações dimensionais e elétricas de um cabo. A verificação da conformidade dos requisitos do cliente com as normas técnicas aplicáveis é, também, da responsabilidade do mesmo Departamento.

O processo atual de elaboração de uma ficha técnica de um cabo consiste na utilização do *software Microsoft Excel*, sendo necessário a criação de um novo documento sempre que uma ficha técnica seja requerida. Tendo em consideração que todos os dias são solicitadas novas fichas técnicas, tornou-se crucial o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que mais rápida e eficazmente procedesse à sua criação. Uma das grandes vantagens desta ferramenta é a possibilidade de armazenamento de uma vasta quantidade de requisitos, limites e regras dos materiais que constituem todos os condutores, impostos pelas normas técnicas, numa base de dados criada especificamente para o efeito. Assim, deixa de ser necessário consultar diariamente a normalização sempre que se pretender adquirir uma característica de

um cabo. E desta forma, passamos a ter um processo muito mais organizado e mais fácil de gerir com o conseqüente aumento do rendimento de trabalho.

Neste caso, a nova aplicação informática pretende calcular todas as características dimensionais e elétricas de um determinado condutor aéreo, preenchendo rapidamente a ficha técnica do mesmo, utilizando, para isso, as fórmulas matemáticas descritas no capítulo 4, conjugadas com os valores impostos pela respetiva normalização. Uma das potencialidades desta plataforma é a capacidade de realizar atualizações em massa das especificações, perante modificações impostas por uma revisão da respetiva norma de construção. Desta forma, sempre que forem preenchidas fichas técnicas de cabos regidos pela norma em questão, estas estarão agora automaticamente atualizadas, uma vez que a base de dados já foi previamente alterada.

Finalmente, é também objetivo do desenvolvimento desta plataforma, o estabelecimento de um critério para controlo documental. Sendo que a cada cabo irá corresponder um código na plataforma, todos os membros do Departamento de Tecnologia irão, assim, ter acesso a todas as fichas técnicas dos cabos fabricados na empresa. Pelo processo atual - *Microsoft Excel* - não há garantia de que todos os membros do Departamento de Tecnologia trabalhem sobre a última versão das fichas técnicas dos cabos, razão essa pela qual este controlo documental seja dificultado.

## 5.2 - Análise e Estudo das Normas Técnicas

O correto desenvolvimento da plataforma implicou um estudo e uma análise detalhada das normas técnicas abrangentes dos condutores aéreos, sendo que todos os cabos elétricos têm de cumprir estritamente com os requisitos elétricos e mecânicos presentes nas normas técnicas aplicáveis. Toda a informação recolhida do estudo das mesmas foi incorporada na base de dados da plataforma, sendo que a qualquer altura é possível alterar qualquer parâmetro, caso se verifique atualizações de uma determinada característica. Esta possibilidade de alteração de características abrangidas em normas técnicas é, de facto, uma das principais vantagens da utilização desta plataforma computacional.

As normas técnicas englobam um conjunto de informação extremamente pertinente quanto às características e requisitos que os cabos devem apresentar, de forma a ser assegurada fiabilidade e qualidade de fabrico dos mesmos. De facto, a garantia simultânea de fiabilidade e qualidade é um aspeto fundamental para qualquer empresa que pretenda vender o seu produto. Nesse sentido, todo o processo de fabrico de um cabo, assim como as suas características elétricas e dimensionais têm de ser rigorosamente verificadas e controladas.

No fundo, as normas técnicas visam precisamente esse controlo, contendo para isso indicações desde o tipo de material utilizado na construção dos cabos aos ensaios finais de controlo de qualidade.

Atualmente, cada país gere a sua normalização para a construção de cabos aéreos a serem instalados nas suas redes. Esta gestão é, normalmente, realizada por comités/associações de eletricidade. No entanto, existem diversos países, sobretudo aqueles em vias de desenvolvimento, que não possuem organizações que estabeleçam a normalização, sendo regidos por normas de outros países. De um modo geral, podemos facilmente encontrar condutores aéreos fabricados e controlados por normas como:

- **Normas Internacionais** - como o próprio nome indica, para uso internacional. Como exemplo, as normas *IEC (International Electrotechnical Commission)*;
- **Normas Americanas** - para uso na América. Por exemplo, as normas *ASTM (American Society for Testing and Materials)*;
- **Normas Europeias** - para uso europeu. Dando como exemplo, as normas *EN (European Standard)*. De salientar que para países diferentes da União Europeia, informações diferentes sobre algumas características podem ser verificadas;
- **Normas Nacionais** - para uso nacional. Por exemplo, as normas *DMA (norma da EDP)*;
- **Normas Empresariais** - para uso interno empresarial.

Nas tabelas seguintes estão apresentadas todas as normas técnicas que foram estudadas e analisadas, em detalhe, para a realização desta dissertação:

Tabela 5.2 – Normas Técnicas Internacionais

Norma	Descrição
IEC 60104	Condutores para linhas aéreas - <i>Conductors for Overhead Lines. Round Wire Concentric-Lay-Stranded Conductors</i>
IEC 60888	Condutores para linhas aéreas. Fios de Liga de Alumínio - <i>Aluminium-magnesium-silicon Alloy Wires</i>
IEC 60889	Condutores para linhas aéreas. Fios de Aço Galvanizado - <i>Zinc-coated Steel Wires</i>
IEC 60949	Cálculo das correntes máximas permissíveis de curto-circuito tendo em conta efeitos não adiabáticos de aquecimento - <i>Calculation of Thermally Permissible Short-Circuit Currents, Taking into Account Non-Adiabatic Heating Effects</i>
IEC 61232	Fios de Aço revestido a Alumínio - <i>Aluminium-clad Steel Wires for Electrical Purposes</i>
IEC 61597	Métodos de cálculo para condutores aéreos - <i>Overhead Electrical Conductors. Calculation Methods for Stranded Bare Conductors</i>

Tabela 5.2 – Normas Técnicas Europeias

Norma	Descrição
EN 50182	Condutores para linhas aéreas - <i>Conductors for Overhead Lines. Round Wire Concentric-Lay-Stranded Conductors</i>
EN 50183	Condutores para linhas aéreas. Fios de Liga de Alumínio - <i>Aluminium-magnesium-silicon Alloy Wires</i>
EN 50189	Condutores para linhas aéreas. Fios de Aço Galvanizado - <i>Zinc-coated Steel Wires</i>
EN 50326	Condutores para linhas aéreas. Características dos Lubrificantes - <i>Characteristics of Greases</i>
EN 60889	Condutores para linhas aéreas. Fios de Alumínio - <i>Hard-drawn Aluminium Wire for Overhead Line Conductors</i>
EN 61232	Condutores para linhas aéreas. Fios de Aço revestido a Alumínio (ACS) - <i>Aluminium-clad Steel Wire for Electrical Purposes</i>

Tabela 5.3 – Normas Técnicas Americanas

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
ASTM A363	Cabos de terra de Aço galvanizado - <b>Zinc-coated (Galvanized) Steel Overhead Ground Wire Strand</b>
ASTM A475	Espias de Aço galvanizado - <b>Zinc-coated Steel Wire Strand</b>
ASTM B230	Fios de Alumínio 1350-H19 - <b>Aluminium 1350-H19 Wire for Electrical Purposes</b>
ASTM B231	Condutores aéreos de Alumínio 1350 - <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium 1350 Conductors (AAC)</b>
ASTM B232	Condutores aéreos de Alumínio revestidos com Aço reforçado- <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium Conductors, Coated-Steel Reinforced (ACSR)</b>
ASTM B398	Fios de Liga de Alumínio 6201-T81 e 6201-T83 - <b>Aluminium-Alloy 6201-T81 and 6201-T83 Wire for Electrical Purposes</b>
ASTM B399	Condutores aéreos de Liga de Alumínio 6201-T81 - <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium-Alloy 6201-T81 Conductors (AAAC)</b>
ASTM B415	Fios de Aço revestidos a Alumínio (ACS) - <b>Hard-drawn Aluminium-Clad Steel Wire</b>
ASTM B416	Condutores aéreos de Aço revestidos a Alumínio (ACS) - <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium-Clad Steel Conductors</b>
ASTM B498	Fios de Aço galvanizado - <b>Zinc-coated (galvanized) Steel Core Wire for Use in Overhead Electrical Conductors</b>
ASTM B524	Condutores aéreos de Alumínio reforçados a Liga de Alumínio (ACAR) - <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium Conductors, Aluminium-Alloy Reinforced (ACAR, 1350/6201)</b>
ASTM B711	Condutores aéreos de Liga de Alumínio reforçados a Aço - <b>Concentric-Lay-Stranded Aluminium-Alloy Conductors, Steel Reinforced (AACSR) (6201)</b>

Tabela 5.4 – Normas Técnicas Nacionais

Norma	Descrição
DMA-C34-120	Cabos de Alumínio com Alma de Aço
DMA-C34-121	Cabos de Alumínio
DMA-C34-122	Cabos de Guarda com Fibra Ótica (O.P.G.W.)
DMA-C34-125	Cabos de Liga de Alumínio

### 5.3 - Interface da Plataforma e Base de Dados

A interface é composta por variáveis, grupos e modelos que foram utilizados para a construção da base de dados das fichas técnicas dos condutores aéreos.

As variáveis são as grandezas dimensionais e elétricas e contêm informação, como por exemplo, material utilizado, o seu diâmetro dos fios e seu número, resistência elétrica, etc. Estas são definidas pelo código VN0xxx, sendo a designação VN - variáveis de cabos nus - e “xxx” o número da respetiva variável, atribuído de forma sequencial à medida que estas foram criadas (Exemplo: VN0007 - Número de fios; VN0008 - Diâmetro dos fios). No entanto, por motivos de organização, é também possível acrescentar letras ao código numérico, de forma a agrupar variáveis relacionadas (Exemplo: VN0032b - Multiplicador de Carga de Rutura)

Os grupos são constituídos por um conjunto de variáveis e agrupam as características específicas dos materiais constituintes de um cabo aéreo. Estes são definidos pelo código GN0xx, sendo a sigla GN - grupos de cabos nus - e “xx” o número que determina o grupo desejado (Exemplo: GN005 - Fios de alumínio e GN010 - Condutor Completo AAC).

Por sua vez, os modelos associam os grupos que compõe um determinado tipo de cabo aéreo. Estes foram criados para todos os tipos de condutores fabricados pela SOLIDAL e são definidos por código MNOxx, sendo a designação MN - modelos de cabos nus - e “xx” o número que determina o modelo pretendido (Exemplo: Modelo MN006 - Cabos AAC). Neste exemplo apresentado, o Modelo MN006 é, então, constituído por dois grupos, o Grupo GN005 - Fios de Alumínio e o Grupo GN010 - Condutor Completo AAC.

Assim, de uma forma geral, os modelos são constituídos por grupos, que por sua vez englobam as variáveis, nas quais são especificados os valores das características elétricas e dimensionais alcançadas através de cálculos ou consulta de tabelas existentes na base de dados.

Após o estudo e análise detalhada das normas técnicas, colocou-se toda a informação recolhida sobre as características dos cabos na plataforma. Nesse sentido, foram criadas tabelas de texto e tabelas de apoio, abordadas na subsecção seguinte, que servem não só para armazenamento da informação, mas também para auxílio nos cálculos das características elétricas e dimensionais. As normas técnicas são, então, “carregadas” para a aplicação informática, evitando-se uma consulta diária das mesmas e promovendo uma gestão das especificações facilitada e organizada.

### 5.3.1 - Tipos de Variáveis

Tendo as variáveis um carácter fundamental no desenvolvimento da plataforma, foi necessário fazer a sua distinção em vários tipos:

- **Norma** - O utilizador seleciona a norma aplicável ao cabo que solicita;
- **Agrupamento** - Agrupa um conjunto de variáveis. Não tem qualquer valor. O seu objetivo é, essencialmente, a diferenciação entre os materiais constituintes e o condutor completo, aquando da impressão da ficha técnica. No exemplo apresentado na figura 7 (Espia ACS), tem-se, então, dois agrupamentos - 1) Fios de aço revestidos a alumínio (*Fios ACS*) e 2) - Condutor Completo.
- **Texto** - É uma tabela de texto que dá oportunidade ao utilizador, aquando da elaboração da ficha técnica, de selecionar, dentro de um conjunto de opções, a atribuição pretendida referente a certa especificidade do cabo. No exemplo a seguir apresentado, figura 5.1, é possível verificar que o utilizador pode selecionar se pretende o condutor lubrificado ou não;

Tabletas de Texto de Fichas Técnicas

Código

Descritivo

Abreviatura

Sub-famílias

Registos

	Código	Descritivo
<input type="checkbox"/>		Não
<input type="checkbox"/>		Sim
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		

Figura 5.1 - Tabela de texto condutor lubrificado

- **Tabela** - Associações entre variáveis de forma a ser obtido o valor da variável pretendida, sob forma de tabela de apoio. Ao contrário das variáveis, grupos e modelos, as tabelas apenas necessitam de um código numérico para a sua criação, iniciando-se por “1” e incrementado à medida que se for criando novas tabelas. Por motivos de organização, é também possível acrescentar letras ao código numérico, de forma a agrupar tabelas relacionadas.

Na figura em baixo, está representada uma tabela de apoio à determinação do coeficiente  $k$  para calcular o peso de massa em cabos homogéneos. Na coluna da esquerda (“Chave”), realizam-se as combinações possíveis entre o número de fios do material e o tipo de lubrificação utilizado. Nas duas colunas centrais, descritas por “Desde” e “Até” especifica-se a secção dos fios, neste caso, de “0” a “20000” mm<sup>2</sup>. Assim, garantimos que, para qualquer valor de secção dos fios, o coeficiente  $k$  apenas depende do número de fios e do tipo de lubrificação. Na coluna da direita, apresenta-se o resultado final consoante a especificação pretendida, neste exemplo, o coeficiente  $k$  para calcular o peso de massa em cabos homogéneos;

Tabela Apoio		Coeficiente k para peso de massa - Cabos Homogéneos		
Chave		Desde	Até	Resultado
127  Caso 1		0	20000	0
127  Caso 2		0	20000	16,40
127  Caso 3		0	20000	22,96
127  Caso 4		0	20000	19,28
19  Caso 1		0	20000	0
19  Caso 2		0	20000	1,09
19  Caso 3		0	20000	3,28
19  Caso 4		0	20000	1,79
37  Caso 1		0	20000	0
37  Caso 2		0	20000	3,28
37  Caso 3		0	20000	6,56
37  Caso 4		0	20000	4,52
61  Caso 1		0	20000	0
61  Caso 2		0	20000	6,56
61  Caso 3		0	20000	10,93
61  Caso 4		0	20000	8,35
7  Caso 1		0	20000	0
7  Caso 2		0	20000	0
7  Caso 3		0	20000	1,09
7  Caso 4		0	20000	0,17
91  Caso 1		0	20000	0
91  Caso 2		0	20000	10,93
91  Caso 3		0	20000	16,40
91  Caso 4		0	20000	13,27

Figura 5.2 - Tabela de apoio à determinação do coeficiente  $k$  para cabos homogéneos

- **Fórmula** - Fórmula para o cálculo de parâmetros, podendo-se utilizar o valor das restantes variáveis criadas. As fórmulas só são criadas aquando da criação dos grupos. (Exemplo: num cabo AAC, o peso total do condutor é dado pela fórmula (4.40) descrita no Capítulo 4). No exemplo descrito em baixo, é apresentada a variável “Peso Total do Condutor” que vai ser determinada a partir da fórmula:

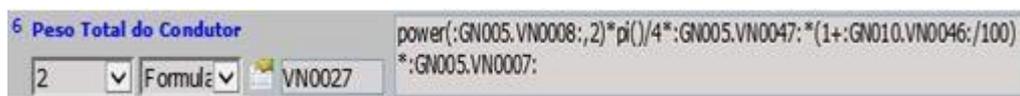


Figura 5.3 - Fórmula para cálculo do peso total do condutor AAC

Sendo que os parâmetros *GN* são definidos pelos Grupos e os parâmetros *VN* são definidos pelas variáveis, tem-se que:

Tabela 5.5 – Descrição de Grupos e Variáveis na fórmula do Peso Total do Condutor

Grupo/Variável	Descritivo
GN005	Grupo de Fios de Alumínio
GN010	Grupo de Condutor Completo - AAC
VN0007	Número de Fios
VN0008	Diâmetro dos Fios
VN0046	Fator de Incremento de Massa - Al/Liga
VN0047	Densidade a 20 °C (kg/dm <sup>3</sup> )

Figura 5.4 - Variável Peso Total do Condutor

Pela visualização da fórmula implementada na plataforma, é possível verificar que sempre que é utilizada uma variável, é necessária associá-la ao grupo que se pretende. (Exemplo: se se pretender o número de fios de alumínio, é necessário associar a variável *VN0007* - Número de fios, ao grupo *GN005* - Fios de Alumínio. Neste caso, “:GN005.VN0007:”)

- **Valor** - É dada a possibilidade ao utilizador de introduzir um valor (Exemplo: duração do curto-circuito, bem como a temperatura inicial e final no preenchimento de fichas técnicas relativamente a Espias ACS e cabos *O.P.G.W.*)

Duração do Curto-Circuito	V00069	<input type="checkbox"/>	s	1
Temperatura Inicial	V00064	<input type="checkbox"/>	°C	30
Temperatura Final	V00065	<input type="checkbox"/>	°C	180

**Figura 5.5** - Exemplo de Variáveis de Valor

Foi, então, proposto pela SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A., o desenvolvimento do plataforma relativamente a condutores aéreos. Para além dos condutores de fase, foi também proposto a incorporação de cabos de guarda *O.P.G.W.*, Espias de Aço e Espias de ACS na plataforma. No subcapítulo seguinte será apresentado um caso exemplo (Espias ACS), onde se irá evidenciar todos os passos elaborados na plataforma computacional, desde a criação das tabelas, variáveis e grupos até ao modelo final correspondente.

## 5.4 - Espias ACS - Exemplo de Criação de Cabo na Plataforma

Antes de iniciar a programação na aplicação informática propriamente dita, foi também benéfica a análise de fichas técnicas, por forma a estudar com detalhe a estrutura das mesmas dentro da plataforma e também as grandezas dimensionais e elétricas de maior relevância para o cliente. Quando o Departamento de Tecnologia elabora fichas técnicas para um determinado cabo, muitas são as grandezas elétricas e dimensionais calculadas. Contudo, nem sempre o cliente necessita ou deseja toda a informação que possa ser disponibilizada, pelo que, geralmente, apenas se imprime a ficha técnica final com os parâmetros de maior interesse. Na figura seguinte, está representada uma ficha técnica exemplo de uma espia de aço, elaborada pela SOLIDAL - Condutores Elétricos, S.A.

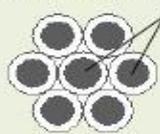
Type:	Designation:	Composition:	Standard:
Aluminium clad steel conductor (ACS 20,3%)	7 N <sup>o</sup> 7 AWG	7	ASTM B 416
Description		Unit	Characteristics
<b>1. Aluminium Clad Steel Wires</b>			
Applicable standard	-	-	ASTM B 415
Diameter of wires	mm	-	3,67
Area of wires	mm <sup>2</sup>	-	10,55
Linear density at 20 °C	kg/dm <sup>3</sup>	-	6,59
Minimum tensile strenght	N/mm <sup>2</sup>	-	1.280
Elongation at break (250 mm)	%	-	1,5
Resistivity at 20 °C, maximum	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	-	0,0848
Specific heat	Kcal/Kg°C	-	0,11994924
<b>2. Complete Conductor</b>			
Area of conductor	mm <sup>2</sup>	-	73,86
Diameter of conductor	mm	-	11,00
Total weight of conductor	Kg/Km	-	492
Rated tensile strength (RTS)	KN	-	85,1
Final modulus of elasticity	N/mm <sup>2</sup>	-	160.000
Coefficient of Linear Expansion	°C <sup>-1</sup>	-	12,6x10 <sup>-6</sup>
Lay ratio	x D	-	10 to 16
Direction of lay	-	-	5 "left"
D. C. Resistance at 20 °C, maximum	Ohm/Km	-	1,16
Nominal short-time current (1 s)	KA	-	5,0
Maximum bearable default current (30 at 180 °C)	KA <sup>2</sup> s	-	24,8
Obs:	Cross Sectional Diagram: 		

Figura 5.6 - Ficha Técnica de uma Espia ACS

Para a elaboração de fichas técnicas relativas a Espias ACS, é necessário aceder à plataforma computacional e de seguida criar o modelo *MN009*, englobando dois grupos: *GN006* - Fios ACS e *GN013* - Conductor Completo Espia ACS. Neste sentido, serão inicialmente criados os grupos constituintes de Espias ACS e posteriormente estes serão agrupados para a formação do modelo correspondente.

#### 5.4.1 - Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas

No menu inicial, seleciona-se o item 'Grupos', preenchendo de seguida o código e o descritivo associado.



Figura 5.7 - Menu Inicial da Plataforma

Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas

Código: GN006 Estado: Activo

Descritivo: Fios ACS

Abreviatura:

Composição: 1ª Camada [VN0034c]

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
1	Fios de ACS			
1	Agrupament	VN0004		
2	NORMA			
2	Norma	VN0041		
2	Número de Fios			
2	Valor	VN0007		
2	Diâmetro dos Fios			
2	Valor	VN0008		
2	Secção dos Fios			$\text{round}(\pi() * \text{power}(\text{GN006.VN0008}/2, 0, 2), 2)$
2	Formula	VN0011		
2	Classe (ACS)			
2	Texto	VN0060		
2	Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios			
2	Tabela	VN0012	:GN006.VN0041: D(:GN006.VN0041:;:GN006.VN0060:;);#:GN006.VN0008:	
2	Tensão de Rotura a 1% do Alongamento			
2	Tabela	VN0038	:GN006.VN0041: D(:GN006.VN0041:;:GN006.VN0060:;);#:GN006.VN0008:	
2	Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)			
2	Tabela	VN0015	:GN006.VN0041: D(:GN006.VN0041:;:GN006.VN0060:;);#:GN006.VN0008:	
2	Resistividade Máx. a 20°C			
2	Tabela	VN0058	:GN006.VN0041:;#:GN006.VN0008:	
2	Densidade a 20°C			
2	Tabela	VN0047	:GN006.VN0041:;#:GN006.VN0008:	
2	Módulo de Elasticidade			
2	Tabela	VN0053	:GN006.VN0041:;#:GN006.VN0008:	
2	Coefficiente de Dilatação Material			
2	Tabela	VN0031a	:GN006.VN0041:;#:GN006.VN0008:	
2	Calor Específico			
2	Texto	VN0063		

Figura 5.8 - Estrutura do Grupo Fios ACS

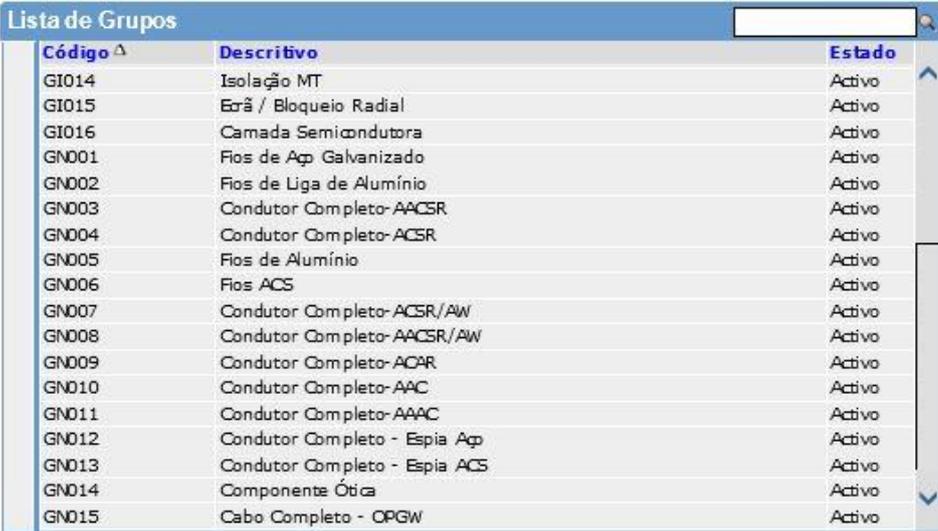
A composição de um grupo está dividida em cinco partes distintas: Nível, Tipo, Variável, Tabela e Fórmula.

O nível corresponde à formatação de texto desse parâmetro na descrição de uma ficha técnica, varia de 1 a 4, sendo que o nível 1 é o que se encontra mais à esquerda e o 4 mais à direita. No exemplo da ficha técnica apresentada em cima, os fios de aço são nível 1, mas o diâmetro e o número de fios já são nível 2. De seguida, tem-se o tipo de variável, já mencionado em cima, e a variável que se pretende determinar. No caso de se tratar de uma variável de

texto, é necessário seleccionar a tabela de texto pretendida, a partir da lista completa de tabelas de texto previamente criadas. O mesmo se aplica no caso de se tratar de uma variável de tabela de apoio. No centro, encontram-se as dependências das tabelas, nos casos em que sejam usadas tabelas de apoio. Nesta situação, é necessário especificar quais as variáveis utilizadas em cada tabela de apoio criada, de forma a que os valores dessas variáveis calculados previamente sejam utilizados nas tabelas, a fim de se obter o resultado final - o valor da variável da pretendida. Por fim, na coluna “*fórmula*”, são criadas as fórmulas de cálculo, caso sejam aplicadas.

Os grupos criados seguem a sigla *GN*, sendo o código incrementado à medida que se criam novos grupos. Assim, não é possível criar dois grupos com o mesmo código.

Neste caso, criou-se o grupo Fios ACS e o grupo Condutor Completo Espias ACS.



Código Δ	Descritivo	Estado
GI014	Isolação MT	Activo
GI015	Ecrã / Bloqueio Radial	Activo
GI016	Camada Semicondutora	Activo
GN001	Fios de Aço Galvanizado	Activo
GN002	Fios de Liga de Alumínio	Activo
GN003	Condutor Completo-AACSR	Activo
GN004	Condutor Completo-ACSR	Activo
GN005	Fios de Alumínio	Activo
GN006	Fios ACS	Activo
GN007	Condutor Completo-ACSR/AW	Activo
GN008	Condutor Completo-AACSR/AW	Activo
GN009	Condutor Completo-ACAR	Activo
GN010	Condutor Completo-AAC	Activo
GN011	Condutor Completo-AAAC	Activo
GN012	Condutor Completo - Espia Aço	Activo
GN013	Condutor Completo - Espia ACS	Activo
GN014	Componente Ótica	Activo
GN015	Cabo Completo - OPGW	Activo

Figura 5.9 - Lista dos Grupos criados

Salienta-se o facto de que os grupos *GI* (Grupo de Cabos Isolados), apresentados na figura anterior, já se encontravam criados, não sendo objeto de estudo ou análise desta dissertação.

## 5.4.2 - Variáveis de Fichas Técnicas

As variáveis são, então, os parâmetros que auxiliam no cálculo das grandezas dimensionais e elétricas, sendo que sem elas este procedimento não seria de todo possível. Para a criação de uma variável é necessário colocar o código, um descritivo, a unidade de grandeza, o número de casas decimais, o arredondamento e se é ou não exponencial. Vejamos no exemplo seguinte, em que se cria a variável ‘*Peso Total do Condutor*’:

The screenshot shows a software interface titled 'Variáveis de Fichas Técnicas'. It contains several input fields for defining a technical variable. The 'Código' field contains 'VN0027'. The 'Descritivo' field contains 'Peso Total do Condutor'. The 'Unidade' field contains 'kg/Km'. The 'Casas Dec' and 'Arredondamento' fields both contain '0'. The 'Exponencial' field is an unchecked checkbox. The 'Abreviatura' field is empty.

Figura 5.10 - Criação da Variável Peso Total do Condutor

As variáveis, tal como acontece nos grupos, seguem uma sigla *VN*, sendo o código incrementado à medida que são criadas novas variáveis, não sendo, portanto, possível criar duas variáveis com o mesmo código. Na tabela a seguir representada, é possível visualizar todas as variáveis que foram necessárias criar para a construção do grupo de condutor completo Espias ACS - *GN010*.

Tabela 5.6 – Variáveis criadas para o Grupo Condutor Completo Espias ACS

Variável	Descrição
VN0005	Condutor Completo
VN0041	Norma
VN0041	Secção do condutor
VN0043	Nº camadas de aço
VN0022	Diâmetro do condutor
VN0070	Fator incremento massa Espias ACS
VN0027	Peso total do condutor
VN0030	Módulo de Elasticidade Final - fórmula
VN0030a	Módulo de Elasticidade Final - valor
VN0031	Coefficiente de Dilatação Linear
VN0032b	Multiplicador de Carga de Rutura
VN0032	Carga de Rutura Nominal - fórmula
VN0032e	Carga de Rutura Nominal - valor
VN0029	Resistência Elétrica Máx. a 20°C
VN0056	Relação de Cableamento
VN0056a	Relação de Cableamento da Última Camada
VN0033a	Sentido de Cableamento da Última Camada

VN0069	Duração do Curto-Circuito
VN0064	Temperatura Inicial
VN0065	Temperatura Final
VN0067	Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito
VN0068	Corrente Máxima do Defeito Suportável

De igual modo, para a construção do grupo de Fios ACS - GN006, foi também necessário a criação de inúmeras variáveis. No anexo A, são apresentadas todas as variáveis criadas durante o desenvolvimento desta plataforma, no âmbito deste projeto de dissertação, necessárias à construção dos grupos e tabelas.

### 5.4.3 - Tabelas de Apoio de Fichas Técnicas

Quer na criação do grupo Fios ACS, quer na criação do grupo Condutor Completo - Espias ACS, foi necessário utilizar tabelas de apoio para a determinação de diversas grandezas elétricas e dimensionais. É, maioritariamente, nestas tabelas que estão colocadas as características dos cabos provenientes das normas técnicas. No exemplo seguinte, será evidenciada a criação de uma tabela de apoio - Fator de Incremento de Massa - Espias ACS.

Tabela Apoio		Fator de incremento massa Espias ACS		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B-416 19	0	20000	1,4	
ASTM B-416 3	0	20000	0,8	
ASTM B-416 37	0	20000	2,0	
ASTM B-416 7	0	20000	1,0	
EN 50182 127	0	20000	2,75	
EN 50182 19	0	20000	1,68	
EN 50182 37	0	20000	2,03	
EN 50182 61	0	20000	2,36	
EN 50182 7	0	20000	1,11	
EN 50182 91	0	20000	2,78	

Figura 5.11 - Tabela de apoio Fator de Incremento de Massa para Espias ACS

Novamente, para a construção do grupo condutor completo Espias ACS - GN010 - e a par das variáveis anteriormente referidas, foram necessárias criar diversas tabelas de apoio por forma a ser possível realizar o correto dimensionamento do cabo elétrico. Assim, na tabela seguinte estão apresentadas as tabelas de apoio necessárias para a construção do respetivo grupo:

Tabela 5.7 – Tabelas de Apoio criadas para o Grupo Conductor Completo Espias ACS

Tabela Apoio	Descrição
Tabela 13	Fator incremento de massa - Espias ACS
Tabela 15a	Número de camadas Espias Aço/ACS
Tabela 19e	Módulo Elasticidade Final - Espias ACS
Tabela 20e	Coefficiente de Dilatação Linear - Espias ACS
Tabela 83	Relação Cableamento Camada Exterior - Espias Aço/ACS
Tabela 84	Relação Cableamento Camada(s) Interior(es) - Espias Aço/ACS

Seguindo a mesma base de raciocínio utilizada no grupo do conductor completo, tabelas de apoio diferentes foram requeridas para a criação do grupo dos fios ACS, tal como se sucedeu com as variáveis. No anexo B, são apresentadas todas as tabelas de apoio criadas durante o desenvolvimento desta plataforma, no âmbito desta dissertação, necessárias à construção dos grupos constituintes dos modelos.

#### 5.4.4 - Tabelas de Texto de Fichas Técnicas

Nestas tabelas, o utilizador tem a oportunidade de escolher a atribuição que pretende para a variável em questão. As tabelas são criadas com vastas opções, sendo o utilizador encarregue de seleccionar a que deseja.

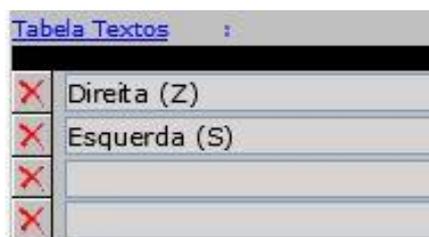


Figura 5.12 - Tabela de Texto para Sentido de Cableamento da Última Camada

Neste caso, aquando da elaboração da ficha técnica, na característica de sentido de cableamento da última camada, o utilizador irá abrir a tabela de texto apresentada em cima e escolher a opção que pretende.

Para a finalização da construção do grupo do conductor completo Espias ACS - GN010 - falta apenas evidenciar as tabelas de texto criadas, neste caso apenas uma:

Tabela 5.8 – Tabelas de Texto criadas para o Grupo de Condutor Completo Espias ACS

Tabela Texto	Descrição
<i>Sent. Cabl.</i>	Sentido de Cableamento da Última Camada
<i>Últ. Camada</i>	

Mais uma vez, para o grupo dos fios ACS, outras tabelas de texto foram necessárias criar. No anexo C, estão apresentadas todas as tabelas de texto criadas durante o desenvolvimento desta plataforma, necessárias à construção dos grupos constituintes dos modelos.

### 5.4.5 - Modelos de Fichas Técnicas

Por fim, sendo que os grupos, variáveis e tabelas previamente mencionados já se encontram criados, resta agora gerar o modelo das Espias ACS.



Modelos de Fichas Técnicas

Código: MN009

Descritivo: Espias ACS

Abreviatura:

Composicao

	Grupo	Descritivo
1	GN006	Fios ACS
2	GN013	Condutor Completo - Espia ACS

Figura 5.13 - Criação do Modelo MN009 Espias ACS



Lista de Modelos

Código	Descritivo	Estado
MI001	Cabos AT	Activo
MI002	Cabos MT- Não Armados	Activo
MN001	Cabos AACSR	Activo
MN002	Cabos ACSR	Activo
MN003	Cabos ACSR-AW	Activo
MN004	Cabos AACSR-AW	Activo
MN005	Cabos ACAR	Activo
MN006	Cabos AAC	Activo
MN007	Cabos AAAC	Activo
MN008	Espias Aço	Activo
MN009	Espias ACS	Activo
MN010	Cabos OPGW	Activo

Figura 5.14 - Lista de Modelos criados

Tal como os grupos e variáveis, os modelos de condutores aéreos seguem a sigla *MN*, sendo o código incrementado à medida que se criam novos modelos. Neste caso, criou-se o modelo para as Espias *ACS* segundo o código *MN009*. No descritivo colocou-se “Espias *ACS*” e na composição é colocada a constituição, ou seja, o material constituinte e o condutor completo. Na composição, são selecionados os grupos que já foram previamente criados. De frisar que não é permitido a criação de dois modelos distintos com o mesmo código.

Novamente, os modelos *MI* (modelos de cabos isolados) não se constituem como material de estudo deste projeto de dissertação, tendo sido anteriormente criados.

No capítulo seguinte, serão abordados exemplos de realização de fichas técnicas para quatro tipos de cabos diferentes, evidenciando as potencialidades da plataforma informática e analisando os resultados obtidos.

# Capítulo 6

## Casos de Estudo e Resultados

No capítulo anterior, explicou-se como as variáveis, os grupos e os modelos são criados dentro da plataforma computacional. Assim, neste capítulo, são abordados quatro casos de estudo de preparação de fichas técnicas através dessa mesma plataforma, sendo eles a elaboração de uma ficha técnica para um cabo AAC, para um cabo ACAR, para uma espia de Aço e para um cabo O.P.G.W.

A SOLIDAL, na qualidade de fabricante de cabos elétricos, quando recebe uma determinada consulta, o cliente, geralmente, sabe exatamente qual o condutor que deseja, uma vez que o trabalho de projeto já foi previamente realizado por outra entidade. Neste sentido, o Departamento de Tecnologia fica responsável pela elaboração da Ficha Técnica do produto a apresentar na proposta técnica/comercial. Nas subsecções seguintes, está demonstrado o preenchimento das Fichas Técnicas.

Salienta-se o facto de que a estruturação, quer dos grupos constituintes, quer dos grupos dos condutores completos foram discutidos e validados conforme a indicação do Departamento de Tecnologia da empresa.

### 6.1 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo AAC

Na criação de fichas técnicas para cabos AAC, o modelo correspondente é formado por dois grupos sendo eles, o grupo de fios de alumínio e o grupo do condutor completo. Desta forma, é possível determinar todas as características desejáveis para cada grupo.

Após a criação dos grupos constituintes e consequente modelo ‘Cabos AAC’, é, então, possível a elaboração de fichas técnicas para os cabos em questão.

### 6.1.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica

O primeiro passo para a elaboração de uma ficha técnica é caracterizado pela associação do modelo à ficha técnica correspondente, a partir de um código. Na figura seguinte, está apresentada essa associação.

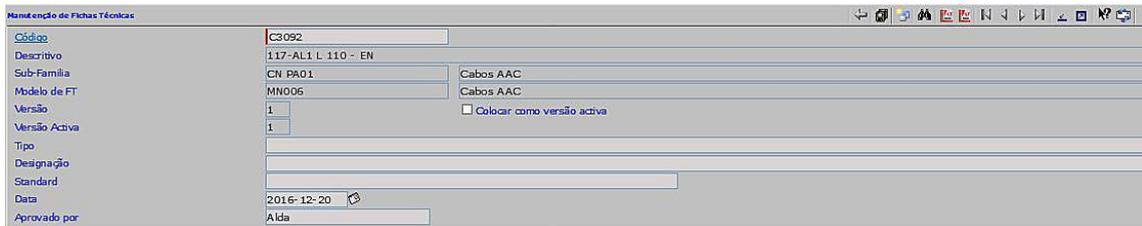


Figura 6.1 - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo

A partir da definição do código, é necessário proceder ao agrupamento da ficha técnica em relação ao modelo criado na plataforma. Neste caso, assinalado por 'Cabos AAC'. Desta forma, a própria aplicação fornece-nos a informação necessária para o preenchimento da ficha técnica, com base no modelo e nos grupos constituintes do mesmo sobre cabos AAC.

### 6.1.2 - Grupo - Fios de Alumínio

Na criação de fichas técnicas para cabos AAC, o modelo correspondente é formado por dois grupos constituintes, sendo eles, o grupo de fios de alumínio e o grupo do condutor completo.

A estruturação dos grupos dos fios constituintes é a mesma para cada caso, quer sejam fios de alumínio, fios de liga de alumínio, fios de aço ou fios de aço revestido a alumínio. Para a construção do grupo fios de alumínio, representado pela figura seguinte, foi, então, necessário recorrer às variáveis e tabelas auxiliares para a determinação das características elétricas e dimensionais.

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Conv/Prod	Formula
1	Agrupamento	VN0002		
2	Norma	VN0041		
2	Valor	VN0007		
2	Valor	VN0008		
2	Formula	VN0011		round(pi)*power(:GN005.VN0008;/2,2),2)
2	Tabela	VN0058	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0059	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0015	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0047	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0053	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0031a	:GN005.VN0041:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0063	:GN005.VN0047:#:GN005.VN0008:	
2	Tabela	VN0066	:GN005.VN0047:#:GN005.VN0008:	

Figura 6.2 - Grupo Fios de Alumínio

No preenchimento das fichas técnicas, a interface é apresentada segundo os tipos de variáveis selecionados para as características dos fios. Por exemplo, a variável ‘Número de Fios’ é atribuída como sendo uma variável do tipo valor, sendo o utilizador responsável pela indicação do mesmo. No preenchimento do formulário em baixo apresentado, o utilizador deve atribuir o valor do número de fios de alumínio e o seu diâmetro, dado que são ambas características dimensionais, representadas por variáveis do tipo valor.

Descriçao	Variável	Não Imprimir	Unidade	Valor
Fios de Alumínio	VN0002			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 60889
Número de Fios	VN0007	<input type="checkbox"/>	-	19
Diâmetro dos Fios	VN0008	<input type="checkbox"/>	mm	2,80
Secção dos Fios	VN0011	<input type="checkbox"/>	mm²	6,16
Resistividade Máx. a 20°C	VN0058	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm²/m	0,028264
Tensão de Ruptura Mín. dos fios	VN0059	<input type="checkbox"/>	MPa	170
Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	VN0015	<input type="checkbox"/>	%	-
Densidade a 20°C	VN0047	<input type="checkbox"/>	kg/dm³	2,703
Módulo de Elasticidade	VN0053	<input type="checkbox"/>	N/mm²	55000
Coeficiente de Dilatação Material	VN0031a	<input type="checkbox"/>	1/C°	2.300000e-5
Calor Específico	VN0063	<input type="checkbox"/>	Kcal/Kg°C	0,220866
Coeficiente de Temperatura de Resistência	VN0066	<input type="checkbox"/>	K	228,00

Figura 6.3 - Ficha Técnica Grupo Fios de Alumínio

Inicialmente, o cliente especifica a norma de construção dos fios constituintes, neste caso apenas alumínio, indicando também o número de fios e o seu diâmetro. De seguida, a própria plataforma individualiza a característica ‘Secção dos Fios’ com base na fórmula (4.3), apresentada no capítulo 4, e as restantes características são determinadas com o apoio das tabelas criadas, de acordo com a norma técnica EN 60889, descrita na tabela 5.2.

### 6.1.3 - Grupo - Condutor Completo AAC

Grupos de Variáveis de Ficha Técnica

Código: GN010 Estado: Ativo

Descrição: Condutor Completo-AAC

Abreviatura: Cabos AAC

Composição: 1ª Camada [VN0034c]

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
1	Condutor Completo			
1	Agrupamento	VN0005		
2	NORMA			
2	Norma	VN0041		
3	Secção do Condutor			$\text{round}(\pi) * \text{power}(\text{GN005.VN0008}/2, 0, 2) * \text{GN005.VN0007}, 2$
2	Formula	VN0021		
4	Diâmetro do Condutor			$(1 + 2 * \text{GN010.VN0044}) * \text{GN005.VN0008}$
2	Formula	VN0022		
5	Nº Camadas Alumínio			
2	Tabela	VN0044	:GN005.VN0007;#:GN005.VN0008;	
6	Peso Total do Condutor			$\text{power}(\text{GN005.VN0008}, 2) * \pi / 4 * \text{GN005.VN0047} * (1 + \text{GN010.VN0046} / 100) * \text{GN005.VN0007}$
2	Formula	VN0027		
7	Factor de Incremento de Massa - ALI/Alm			
2	Tabela	VN0046	:GN010.VN0041; D :GN010.VN0041;,:GN005.VN0007;,:#:GN010.VN0021;	
8	Condutor Lubrificado			
2	Texto	VN0048		
9	Tipo de Lubrificação			
2	Texto	VN0049		
10	Norma Lubrificação			
2	Norma	VN0050		
11	Coefficiente k			
2	Tabela	VN0051	:GN005.VN0007; D :GN005.VN0007;,:GN010.VN0049;,:GN010.VN0049;,:#:GN010.VN0021;	
12	Peso de Massa Lubrificante			$\text{power}(\text{GN005.VN0008}, 2) * \text{GN010.VN0051}$
2	Formula	VN0052		
13	Peso Total do Condutor (inc. Lubrificação)			$\text{GN010.VN0052} + \text{GN010.VN0027}$
2	Formula	VN0028		
14	Resistência Eléctrica Máx. a 20° C			$\text{GN005.VN0058} / (\text{GN005.VN0011} * \text{GN005.VN0007}) * 1000 * ((\text{GN010.VN0046} / 100) + 1)$
2	Formula	VN0029		
15	Módulo Final de Elasticidade			
2	Tabela	VN0030	:GN010.VN0041; D :GN010.VN0041;,:GN005.VN0007;,:GN005.VN0007;,:#:GN010.VN0021;	
16	Módulo Final de Elasticidade			
2	Valor	VN0030a		
17	Coefficiente de Dilatação Linear			
2	Tabela	VN0031	:GN010.VN0041;#:GN010.VN0021;	
18	Multiplicador Carga Rótura - ALI/Alm			
2	Tabela	VN0032a	:GN010.VN0041; D :GN010.VN0041;,:GN005.VN0007;,:GN005.VN0007;,:#:GN010.VN0021;	
19	Carga de Rótura Nominal			$(\text{GN005.VN0059} * \text{GN005.VN0007} * \text{GN005.VN0011} * \text{GN010.VN0032a} / 100) / 1000$
2	Formula	VN0032		
20	Relação de Cabramento			
2	Agrupamento	VN0056		
21	Relação Cabramento - Camada(s) Interior(es)			
3	Tabela	VN0056b	:GN010.VN0041; D :GN010.VN0041;,:GN005.VN0007;,:GN005.VN0007;,:#:GN010.VN0021;	
22	Relação de Cabramento da Última Camada			
3	Tabela	VN0056a	:GN010.VN0041; D :GN010.VN0041;,:GN005.VN0007;,:GN005.VN0007;,:#:GN010.VN0021;	
23	Sentido de Cabramento da Última Camada			
2	Texto	VN0033a		

Figura 6.4 - Grupo Condutor Completo AAC

Toda a informação pertinente referente às normas técnicas aplicáveis a cabos homogéneos de alumínio foi implementada nas tabelas de apoio, aquando da construção do grupo Condutor Completo correspondente. Com exceção dos cabos de guarda, todos os cabos de fase seguem a mesma estruturação em termos de construção de grupos Condutor Completo, apenas diferenciando-se em eventuais variáveis auxiliares necessárias para o cálculo de determinadas características.

Descritivo	Variável	Não Imprimir	Unidade	Valor
Condutor Completo	VN0005			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50182
Secção do Condutor	VN0021	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	117,0
Diâmetro do Condutor	VN0022	<input type="checkbox"/>	mm	14,0
Nº Camadas Alumínio	VN0044	<input type="checkbox"/>		2
Peso Total do Condutor	VN0027	<input type="checkbox"/>	kg/km	322
Factor de Incremento de Massa - Al1/Aln	VN0046	<input type="checkbox"/>	∫	1,68
Condutor Lubrificado	VN0048	<input type="checkbox"/>	-	Não
Tipo de Lubrificação	VN0049	<input type="checkbox"/>	-	
Norma Lubrificação	VN0050	<input type="checkbox"/>	-	
Coefficiente k	VN0051	<input type="checkbox"/>	-	
Peso de Massa Lubrificante	VN0052	<input type="checkbox"/>	kg/km	0,0
Peso Total do Condutor (inc. lubrificação)	VN0028	<input type="checkbox"/>	kg/km	322
Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	VN0029	<input type="checkbox"/>	Ohm/km	0,2455
Módulo Final de Elasticidade	VN0030	<input type="checkbox"/>	Mpa	57000
Módulo Final de Elasticidade	VN0030a	<input type="checkbox"/>	Mpa	
Coefficiente de Dilatação Linear	VN0021	<input type="checkbox"/>	1/°C	2.3000000e-5
Multiplicador Carga Rotura - Al1/Aln	VN0022a	<input type="checkbox"/>	∫	100
Carga de Rotura Nominal	VN0032	<input type="checkbox"/>	KN	19,9
Relação de Cableamento	VN0056			
Relação Cableamento - Camada(s) Interior(es)	VN0056b	<input type="checkbox"/>	xD	10 a 16
Relação de Cableamento da Última Camada	VN0056a	<input type="checkbox"/>	xD	10 a 14
Sentido de Cableamento da Última Camada	VN0033a	<input type="checkbox"/>		Direita (Z)

Figura 6.5 - Ficha Técnica Grupo Condutor Completo AAC

Novamente, o cliente especifica a norma de construção do cabo, neste caso o seu fabrico rege-se pela norma *EN 50182*, descrita na tabela 5.2. De seguida, a plataforma preenche automaticamente grande parte das características, com base nas tabelas de apoio evidenciadas no anexo B e nas fórmulas matemáticas descritas no capítulo 4, estando apenas o utilizador responsável por seleccionar o que pretende nas variáveis que assim o permitem (variáveis do tipo texto - ‘Condutor Lubrificado’, ‘Tipo de Lubrificação’ e ‘Sentido de Cableamento da Última Camada’) ou por especificar o seu valor (variáveis do tipo valor - ‘Módulo Final de Elasticidade’). De salientar que, o facto de existirem duas variáveis com o mesmo nome, neste caso ‘Módulo Final de Elasticidade’ remete para a situação em que o utilizador pretende especificar a sua atribuição, em detrimento do seu cálculo pelo programa. Quando o valor calculado é validado pelo utilizador, a segunda variável não necessita de ser preenchida.

### 6.1.4 - Ficha Técnica Final

Depois de concluído o preenchimento da ficha técnica do cabo em questão, a plataforma disponibiliza uma opção de visualização e impressão da mesma. Desta forma, é possível validar todo o processo de dimensionamento do cabo, verificando se todas as características e variáveis estão devidamente determinadas. Este formato final é disponibilizado posteriormente ao Departamento de Produção para orientação e seguimento do processo de produção do cabo, assim como é também disponibilizada uma ficha técnica final ao cliente.

Descrição	Designação:	Características
1- Fios de Alumínio		
1.1 NORMA	-	EN 60889
1.2 Número de Fios	-	19
1.3 Diâmetro dos Fios	mm	2,80
1.4 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	6,16
1.5 Resistividade Máx. a 20°C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,028264
1.6 Tensão de Ruptura Mín. dos fios	MPa	170
1.7 Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	%	-
1.8 Densidade a 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	2,703
1.9 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	55000
1.10 Coeficiente de Dilatação Material	1/C <sup>º</sup>	2.300000e-5
1.11 Calor Específico	Kcal/Kg <sup>º</sup> C	0,220866
1.12 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	228,00
2- Condutor Completo		
2.1 NORMA	-	EN 50182
2.2 Secção do Condutor	mm <sup>2</sup>	117,0
2.3 Diâmetro do Condutor	mm	14,0
2.4 Nº Camadas Alumínio		2
2.5 Peso Total do Condutor	kg/Km	322
2.6 Factor de Incremento de Massa - AL1/Alm	%	1,68
2.7 Condutor Lubrificado	-	Não
2.8 Tipo de Lubrificação	-	
2.9 Norma Lubrificação	-	
2.10 Coeficiente k	-	
2.11 Peso de Massa Lubrificante	kg/km	0,0
2.12 Peso Total do Condutor (inc. lubrificação)	kg/Km	322
2.13 Resistência Eléctrica Máx. a 20º C	Ohm/Km	0,2455
2.14 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	57000
2.15 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	
2.16 Coeficiente de Dilatação Linear	1/ºC	2.3000000e-5
2.17 Multiplicador Carga Ruptura - AL1/Alm	%	100
2.18 Carga de Ruptura Nominal	KN	19,9
2.19 Relação de Cableamento		
2.19.1 Relação Cableamento - Camada(s) Interior(es)	xD	10 a 16
2.19.2 Relação de Cableamento da Última Camada	xD	10 a 14
2.20 Sentido de Cableamento da Última Camada		Direita (Z)

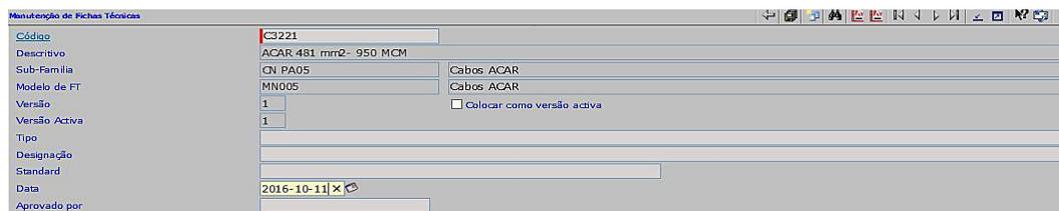
Figura 6.6 - Ficha Técnica Final Cabo AAC

## 6.2 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo ACAR

Ao contrário dos cabos AAC, os cabos ACAR são heterogéneos, sendo que são compostos por uma ou mais camadas de fios de alumínio e uma alma de liga de alumínio. Por esta razão, na criação do modelo correspondente a este tipo de cabos, foram necessários associar ao mesmo os grupos constituintes dos fios de alumínio, dos fios de liga de alumínio e do condutor completo.

## 6.2.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica

O passo inicial será, então, associar a construção de uma ficha técnica de um cabo ACAR ao modelo criado, de forma a ser possível à plataforma reconhecer que o código inserido se refere a um cabo deste tipo, disponibilizando os grupos constituintes corretos para um preenchimento acertado da ficha técnica.



Código	C3221
Descritivo	ACAR 481 mm2- 950 MCM
Sub-Família	ON PA05
Modelo de FT	MN005
Versão	1
Versão Activa	1
Tipo	
Designação	
Standard	
Data	2016-10-11
Aprovado por	

Figura 6.7 - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo

Procedendo-se à associação mencionada em cima, a plataforma disponibiliza agora os grupos constituintes do modelo 'Cabos ACAR', por forma a serem preenchidos pelo utilizador e pela aplicação.

## 6.2.2 - Grupo - Fios de Alumínio

A criação do grupo dos fios de alumínio foi apresentada na subsecção 6.1.2., na qual é realçada a importância da base de dados criada, evidenciando-se a recorrência a tabelas de apoio para a determinação das características elétricas e dimensionais, segundo as normas aplicáveis.

Numa primeira instância, o cliente especifica a norma de construção dos fios constituintes, para este tipo de cabo alumínio e liga de alumínio, indicando também o número de fios e o seu diâmetro. De seguida, a própria aplicação preenche automaticamente a característica 'Secção dos Fios' com base na fórmula (4.3), apresentada no capítulo 4, e as restantes características são determinadas com o apoio das tabelas criadas, de acordo com a norma técnica EN 60889, descrita na tabela 5.2.

Descrição	Variável	Fio	Unidade	Valor
Fios de Alumínio	VN0002			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 60889
Número de Fios	VN0007	<input type="checkbox"/>	-	42
Diâmetro dos Fios	VN0008	<input type="checkbox"/>	mm	3,17
Secção dos Fios	VN0011	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	7,89
Resistividade Máx. a 20°C	VN0058	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,028264
Tensão de Rotura Min. dos fios	VN0059	<input type="checkbox"/>	MPa	165
Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	VN0015	<input type="checkbox"/>	%	-
Densidade a 20°C	VN0047	<input type="checkbox"/>	kg/dm <sup>3</sup>	2,703
Módulo de Elasticidade	VN0053	<input type="checkbox"/>	N/mm <sup>2</sup>	55000
Coefficiente de Dilatação Material	VN0021a	<input type="checkbox"/>	1/C°	2.300000e-5
Calor Especifico	VN0063	<input type="checkbox"/>	Kcal/Kg°C	0,220866
Coefficiente de Temperatura de Resistência	VN0066	<input type="checkbox"/>	K	228,00

Figura 6.8 - Ficha Técnica Grupo Fios de Alumínio

### 6.2.3 - Grupo - Fios de Liga de Alumínio

Na criação deste grupo, voltou-se a recorrer às tabelas de apoio e variáveis auxiliares para a determinação dos parâmetros essenciais à realização do preenchimento de fichas técnicas, tendo por base as normas técnicas aplicáveis. Neste sentido, e exibido na figura em baixo, é evidenciada a construção do grupo fios de liga de alumínio, demonstrando os tipos de variáveis criadas.

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Álio Incluir Com/Prod	Formula
1	Agrupamento	VN0003		
2	Norma	VN0041		
2	Texto	VN0006		
2	Valor	VN0007		
2	Valor	VN0008		
2	Formula	VN0011		$\text{round}(\pi \cdot (\text{VN0008} / 2 \cdot 0,2) \cdot 2)$
2	Tabela	VN0019	:GN002.VN0041;D;:GN002.VN0041;:GN002.VN0006;:;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0020	:GN002.VN0041;D;:GN002.VN0041;:GN002.VN0006;:;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0012	:GN002.VN0041;D;:GN002.VN0041;:GN002.VN0006;:;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0013	:GN002.VN0041;D;:GN002.VN0041;:GN002.VN0006;:;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0015	:GN002.VN0041;D;:GN002.VN0041;:GN002.VN0006;:;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0047	:GN002.VN0041;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0053	:GN002.VN0041;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0031a	:GN002.VN0041;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0063	:GN002.VN0041;#:GN002.VN0008;	
2	Tabela	VN0066	:GN002.VN0041;#:GN002.VN0008;	

Figura 6.9 - Grupo Fios de Liga de Alumínio

No preenchimento da ficha técnica, é novamente especificada a norma aplicável dos fios constituintes, neste caso *EN 50183*, apresentada na tabela 5.2. Em relação aos tipos dos fios de liga de alumínio, na subsecção 2.1.1.2 são especificados os tipos existentes no mercado, que são transferidos para a plataforma computacional, como variável de tabela de texto, onde é permitido ao utilizador seleccionar o tipo desejado. O número de fios e o seu diâmetro são, mais uma vez, especificados pelo cliente, sendo introduzidos os seus valores pelo utilizador.

Descritivo	Variável	Hão Imprimir	Unidade	Valor
Fios de Liga de Alumínio	VX0002			
NORMA	VX0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50183
Tipo	VX0006	<input type="checkbox"/>	-	AL3
Número de Fios	VX0007	<input type="checkbox"/>	-	19
Diâmetro dos Fios	VX0008	<input type="checkbox"/>	mm	3,17
Secção dos Fios	VX0011	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	7,89
Resistividade Individual máx. 20° C	VX0019	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,03253
Resistividade Média máx. 20° C	VX0020	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	-
Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios	VX0012	<input type="checkbox"/>	Mpa	295
Tensão de Rotura Média Mínima dos Fios	VX0013	<input type="checkbox"/>	Mpa	-
Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	VX0015	<input type="checkbox"/>	%	3,5
Densidade a 20°C	VX0047	<input type="checkbox"/>	kg/dm <sup>3</sup>	2,700
Módulo de Elasticidade	VX0053	<input type="checkbox"/>	N/mm <sup>2</sup>	55000
Coefficiente de Dilatação Material	VX0041a	<input type="checkbox"/>	1/°C	2.300000e-5
Calor Específico	VX0063	<input type="checkbox"/>	Kcal/Kg°C	0,215875
Coefficiente de Temperatura de Resistência	VX0066	<input type="checkbox"/>	%	309,00

Figura 6.10 - Ficha Técnica Grupo Fios de Liga de Alumínio

Após a introdução dos valores das variáveis em cima mencionadas, a plataforma individualiza os valores das restantes variáveis, consoante as tabelas de apoio criadas, com base nas normas técnicas, e mediante a fórmula matemática (4.3) demonstrada no capítulo 4, para o cálculo da secção dos fios.

## 6.2.4 - Grupo - Condutor Completo Cabo ACAR

Na criação do grupo condutor completo para este tipo de cabos, a estrutura foi pensada de uma forma rigorosa, tendo em conta todas as características necessárias determinar. Neste sentido, na figura seguinte está apresentada a sua disposição para posterior preenchimento do grupo na ficha técnica.

Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas

Código: GN009

Descrição: Condutor Completo-ACAR

Abreviatura:

Composicao

1ª Camada [VN0034c]

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
1	Condutor Completo			
1	Agrupamento	VN0005		
2	Composição			
2	Texto	VN0042		
3	NORMA			
2	Norma	VN0041		
4	Secção do Condutor			
2	Formula	VN0021		$(\pi)^2 \cdot \text{power}(\text{GN005.VN0008}/2,0,2)^2 + \text{GN005.VN0007} + (\pi)^2 \cdot \text{power}(\text{GN002.VN0008}/2,0,2)^2 + \text{GN005.VN0003}$
5	Diâmetro do Condutor			
2	Formula	VN0022		$(1+2 \cdot \text{GN009.VN0062}) \cdot \text{GN002.VN0008} + (2 \cdot \text{GN009.VN0044}) \cdot \text{GN005.VN0008}$
6	Nº Camadas Liga			
3	Tabela	VN0062	:GN009.VN0042; #:GN002.VN0008;	
7	Nº Camadas Alumínio			
3	Tabela	VN0044	:GN009.VN0042; #:GN005.VN0008;	
8	Peso de Liga de Alumínio			
2	Formula	VN0025		$\text{power}(\text{GN002.VN0008}, 2)^2 \cdot (\pi)^2 / 4 \cdot \text{GN002.VN0047} \cdot (1 + \text{GN009.VN0061}/100) \cdot \text{GN002.VN0007}$
9	Factor Incremento de Massa - Liga (ACAR)			
3	Tabela	VN0061	:GN009.VN0041;  D :GN009.VN0041; :GN009.VN0042; :GN009.VN0049; :GN009.VN0021;	
10	Peso de Alumínio			
2	Formula	VN0024		$\text{power}(\text{GN005.VN0008}, 2)^2 \cdot (\pi)^2 / 4 \cdot \text{GN005.VN0047} \cdot (1 + \text{GN009.VN0046}/100) \cdot \text{GN005.VN0007}$
11	Factor de Incremento de Massa - AL1/Alm			
3	Tabela	VN0046	:GN009.VN0041;  D :GN009.VN0041; :GN009.VN0042; :GN009.VN0049; :GN009.VN0021;	
12	Peso Total do Condutor			
2	Formula	VN0027		:GN009.VN0024; +:GN009.VN0025;
13	Condutor Lubrificado			
2	Texto	VN0048		
14	Tipo de Lubrificação			
2	Texto	VN0049		
15	Norma Lubrificação			
2	Norma	VN0050		
16	Coefficiente k			
2	Tabela	VN0051	:GN009.VN0042;  D :GN009.VN0042; :GN009.VN0049; :GN009.VN0049; :GN009.VN0021;	
17	Peso de Massa Lubrificante			
2	Formula	VN0052		$\text{power}(\text{GN005.VN0008}, 2)^2 \cdot \text{GN009.VN0051}$
18	Peso Total do Condutor (inc. lubrificação)			
2	Formula	VN0028		:GN009.VN0027; +:GN009.VN0052;
19	Resistência Eléctrica Máx. a 20° C			
2	Formula	VN0029		$(\text{GN005.VN0058} \cdot 1000 / (\text{GN005.VN0007} \cdot \text{GN005.VN0011})) \cdot (\text{GN002.VN0019} \cdot 1000 / (\text{GN002.VN0007} \cdot \text{GN002.VN0011})) / (2 \cdot \text{GN005.VN0008} \cdot \text{GN005.VN0007} \cdot \text{GN009.VN0041} \cdot \text{GN009.VN0041})$
20	Módulo Final de Elasticidade			
2	Formula	VN0030		$\text{round}(\{(\text{GN005.VN0053} \cdot \text{GN005.VN0011} \cdot \text{GN005.VN0007} / (\text{GN009.VN0021})) + (\text{GN002.VN0053} \cdot \text{GN005.VN0011} \cdot \text{GN005.VN0007} / (\text{GN009.VN0041} \cdot \text{GN009.VN0041}))\})$
21	Módulo Final de Elasticidade			
2	Valor	VN0030a		
22	Coefficiente de Dilatação Linear			
2	Formula	VN0031		$(\text{GN005.VN0031a} + \text{GN009.VN0054} \cdot \text{GN002.VN0031a}) / (1 + \text{GN009.VN0054})$
23	K1 - (factor coeficiente de dilatação)			
3	Formula	VN0054		$(\text{GN002.VN0053} \cdot (\text{GN002.VN0011} \cdot \text{GN002.VN0007})) / (\text{GN005.VN0053} \cdot (\text{GN005.VN0011} \cdot \text{GN005.VN0007}))$

Figura 6.11 - Grupo Condutor Completo ACAR

Toda a informação relevante respeitante às normas técnicas aplicáveis a cabos heterogéneos de alumínio e liga de alumínio foi implementada nas tabelas de apoio, aquando da construção dos respetivos grupos, para posterior preenchimento adequado das fichas técnicas.

Descriativo	Variável	Se Imprimir	Unidade	Valor
Condutor Completo	V30005			
Composição	V30042	<input type="checkbox"/>	-	42/19
NORMA	V30041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50182
Secção do Condutor	V30021	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	481,44
Diâmetro do Condutor	V30022	<input type="checkbox"/>	mm	28,5
Nº Camadas Liga	V30062	<input type="checkbox"/>		2
Nº Camadas Alumínio	V30044	<input type="checkbox"/>		2
Peso de Liga de Alumínio	V30025	<input type="checkbox"/>	kg/Km	408,4
Factor Incremento de Massa-Liga (ACAR)	V30061	<input type="checkbox"/>	∓	0,86
Peso de Alumínio	V30024	<input type="checkbox"/>	kg/Km	919,1
Factor de Incremento de Massa - ALI/Alm	V30046	<input type="checkbox"/>	∓	2,57
Peso Total do Condutor	V30027	<input type="checkbox"/>	kg/Km	1328
Condutor Lubrificado	V30048	<input type="checkbox"/>	-	Não
Tipo de Lubrificação	V30049	<input type="checkbox"/>	-	
Norma Lubrificação	V30050	<input type="checkbox"/>	-	
Coefficiente k	V30051	<input type="checkbox"/>	-	
Peso de Massa Lubrificante	V30052	<input type="checkbox"/>	kg/km	0,0
Peso Total do Condutor (inc. Lubrificação)	V30028	<input type="checkbox"/>	kg/Km	1328
Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	V30029	<input type="checkbox"/>	Ohm/Km	0,0628
Módulo Final de Elasticidade	V30030	<input type="checkbox"/>	Mpa	55000
Módulo Final de Elasticidade	V30030a	<input type="checkbox"/>	Mpa	
Coefficiente de Dilatação Linear	V30021	<input type="checkbox"/>	1/°C	2.300.0000e-5
kl - (factor coefficiente de dilatação)	V30084	<input type="checkbox"/>		0,452
Carga de Rotura Nominal	V30032	<input type="checkbox"/>	KN	98,9
Multiplicador Carga Rotura Liga (ACAR)	V30032c	<input type="checkbox"/>	∓	100
Multiplicador Carga Rotura ALI (ACAR)	V30032d	<input type="checkbox"/>	∓	100
Sentido de Cableamento da Última Camada	V30032a	<input type="checkbox"/>		Direita (Z)
Relação de Cableamento da Última Camada	V30086a	<input type="checkbox"/>	xD	10 a 16

Figura 6.12 - Ficha Técnica Condutor Completo ACAR

O Departamento de Tecnologia, consoante a destinação de instalação do cabo, seleciona a norma de construção e de controlo de qualidade do produto. Neste caso, o fabrico segue a norma *EN 50182*, especificada na tabela 5.2. De seguida, a plataforma regista automaticamente os valores de grande parte das características, com base nas tabelas de apoio respeitantes às normas técnicas aplicáveis e nas fórmulas matemáticas descritas no capítulo 4. O utilizador é apenas responsável por escolher o que pretende nas variáveis que assim o permitem (variáveis do tipo texto - ‘Composição’, ‘Condutor Lubrificado’, ‘Tipo de Lubrificação’, ‘Sentido de Cableamento da Última Camada’ e ‘Relação de Cableamento da Última Camada’) ou por especificar o seu valor (variáveis do tipo valor - ‘Módulo Final de Elasticidade’).

### 6.2.5 - Ficha Técnica Final

Após a finalização do preenchimento do formulário técnico dos grupos constituintes do modelo, é, então, possível confirmar todas as características calculadas e imprimir a respetiva ficha técnica.

Descrição	Designação:	Características
<b>1- Fios de Liga de Alumínio</b>		
1.1 NORMA	-	EN 50183
1.2 Tipo	-	AL3
1.3 Número de Fios	-	19
1.4 Diâmetro dos Fios	mm	3,17
1.5 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	7,89
1.6 Resistividade Individual máx. 20 <sup>o</sup> C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,03253
1.7 Resistividade Média máx. 20 <sup>o</sup> C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	-
1.8 Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios	Mpa	295
1.9 Tensão de Rotura Média Mínima dos Fios	Mpa	-
1.10 Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	%	3,5
1.11 Densidade a 20 <sup>o</sup> C	kg/dm <sup>3</sup>	2,700
1.12 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	55000
1.13 Coeficiente de Dilatação Material	1/C <sup>o</sup>	2.300000e-5
1.14 Calor Específico	Kcal/Kg <sup>o</sup> C	0,215875
1.15 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	309,00
<b>2- Fios de Alumínio</b>		
2.1 NORMA	-	EN 60889
2.2 Número de Fios	-	42
2.3 Diâmetro dos Fios	mm	3,17
2.4 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	7,89
2.5 Resistividade Máx. a 20 <sup>o</sup> C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,028264
2.6 Tensão de Rotura Min. dos fios	MPa	165
2.7 Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	%	-
2.8 Densidade a 20 <sup>o</sup> C	kg/dm <sup>3</sup>	2,703
2.9 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	55000
2.10 Coeficiente de Dilatação Material	1/C <sup>o</sup>	2.300000e-5
2.11 Calor Específico	Kcal/Kg <sup>o</sup> C	0,220866
2.12 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	228,00
<b>3- Condutor Completo</b>		
3.1 Composição	-	42/19
3.2 NORMA	-	EN 50182
3.3 Secção do Condutor	mm <sup>2</sup>	481,44
3.4 Diâmetro do Condutor	mm	28,5
3.4.1 N <sup>o</sup> Camadas Liga		2
3.4.2 N <sup>o</sup> Camadas Alumínio		2
3.5 Peso de Liga de Alumínio	kg/Km	408,4
3.5.1 Factor Incremento de Massa-Liga (ACAR)	%	0,86
3.6 Peso de Alumínio	kg/Km	919,1
3.6.1 Factor de Incremento de Massa - AL1/Alm	%	2,57
3.7 Peso Total do Condutor	kg/Km	1328
3.8 Condutor Lubrificado	-	Não
3.9 Tipo de Lubrificação	-	
3.10 Norma Lubrificação	-	
3.11 Coeficiente k	-	
3.12 Peso de Massa Lubrificante	kg/km	0,0
3.13 Peso Total do Condutor (inc. lubrificação)	kg/Km	1328
3.14 Resistência Eléctrica Máx. a 20 <sup>o</sup> C	Ohm/Km	0,0628
3.15 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	55000
3.16 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	
3.17 Coeficiente de Dilatação Linear	1/ <sup>o</sup> C	2.3000000e-5
3.17.1 K1 -(factor coeficiente de dilatação)		0,452
3.18 Carga de Rotura Nominal	KN	98,9
3.18.1 Multiplicador Carga Rotura Liga (ACAR)	%	100
3.18.2 Multiplicador Carga Rotura AL1 (ACAR)	%	100
3.19 Sentido de Cableamento da Última Camada		Direita (Z)
3.20 Relação de Cableamento da Última Camada	xD	10 a 16

Figura 6.13 - Ficha Técnica Final Cabos ACAR

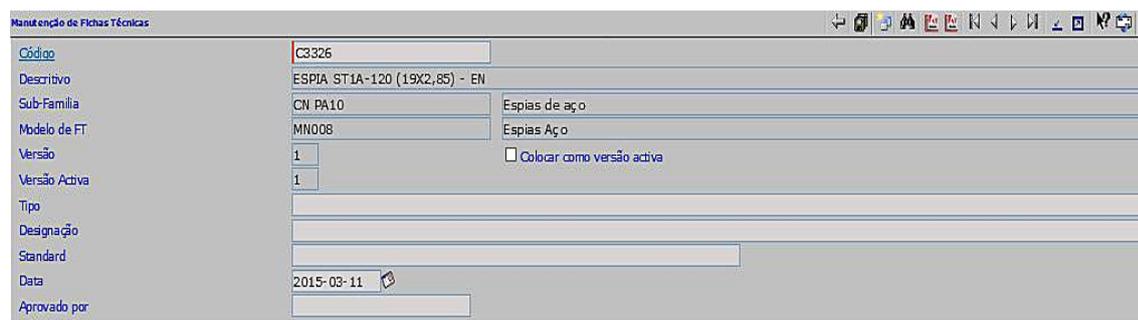
## 6.3 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Espias de Aço

Após a criação dos grupos constituintes e consequente modelo 'Espias Aço', as elaborações de fichas técnicas relativas aos mesmos são agora passíveis de se construir.

Sendo que as Espias de Aço se apresentam como cabos homogêneos e, a par dos cabos AAC, o seu modelo criado é também composto por dois grupos - fios de aço galvanizado e condutor completo.

### 6.3.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica

Mais uma vez, o passo inicial será associar a construção de uma ficha técnica de uma Espia de aço ao modelo criado, de forma a ser possível a plataforma reconhecer que o código inserido se refere a um cabo deste tipo, disponibilizando os grupos constituintes corretos para um preenchimento acertado da ficha técnica.



Código	C3326
Descritivo	ESPIA ST1A-120 (19X2,85) - EN
Sub-Família	CN PA10
Modelo de FT	MN008
Versão	1
Versão Activa	1
Tipo	
Designação	
Standard	
Data	2015-03-11
Aprovado por	

Figura 6.14 - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo

Realizado este primeiro passo, a plataforma atualiza a composição da ficha técnica para o modelo correto, fornecendo os grupos constituintes para o preenchimento da mesma.

### 6.3.2 - Grupo - Fios de Aço Galvanizado

Na criação deste grupo, voltou-se a recorrer às tabelas de apoio e variáveis auxiliares para a determinação dos parâmetros essenciais à realização do preenchimento de fichas técnicas, tendo por base as normas técnicas aplicáveis. Neste sentido, e apresentado na figura em baixo, é evidenciada a construção do mesmo, demonstrando os tipos de variáveis criadas.

Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas

Código: GN001

Descrição: Fios de Aço Galvanizado

Abreviatura:

Composição: 1ª Camada [VN0034c]

Nível	Tipo	Variável	Tabela/No Incluir Com/Prod	Formula
1	Agrupamento	VN0001		
2	NORMA	VN0001		
2	Norma	VN0001		
2	Tipo	VN0006		
2	Valor	VN0007		
2	Valor	VN0008		
2	Formula	VN0011		$\text{round}(\pi() \cdot \text{power}(:\text{GN001.VN0008}; 2, 0, 2), 4)$
2	Tabela	VN0012	:GN001.VN0041;   D; :GN001.VN0041; ;GN001.VN0006; ;GN001.VN0016; ;#;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0038	:GN001.VN0041;   D; :GN001.VN0041; ;GN001.VN0006; ;GN001.VN0016; ;#;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0015	:GN001.VN0041;   D; :GN001.VN0041; ;GN001.VN0006; ;GN001.VN0016; ;#;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0016		
2	Tabela	VN0040	:GN001.VN0041;   D; :GN001.VN0041; ;GN001.VN0016; ;#;GN001.VN0008;	
2	Valor	VN0018		
2	Tabela	VN0047	:GN001.VN0041; #;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0058	:GN001.VN0041; #;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0053	:GN001.VN0041;   D; :GN001.VN0041; ;GN001.VN0007; ;GN001.VN0007; ;#;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0031a	:GN001.VN0041; #;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0063	:GN001.VN0047; #;GN001.VN0008;	
2	Tabela	VN0066	:GN001.VN0047; #;GN001.VN0008;	

Figura 6.15 - Grupo Fios de Aço Galvanizado

Pela visualização do grupo em estudo, é perceptível a quantidade de características criadas como variáveis do tipo tabela, dado que maior parte das características dos fios constituintes são impostas pelas normas técnicas aplicáveis. Neste caso, dependendo da norma abrangente, as tabelas procuram o valor adequado para uma determinada especificação técnica.

No preenchimento da ficha técnica, é novamente especificada a norma aplicável dos fios constituintes, neste caso *EN 50189*, descrita na tabela 5.2. Em relação aos tipos dos fios de aço, na subsecção 2.1.1.3 são especificados os tipos existentes no mercado, que são transpostos para a plataforma computacional, como variável de tabela de texto, onde é permitido ao utilizador selecionar o tipo desejado. O número de fios e o seu diâmetro são, mais uma vez, especificados pelo cliente, sendo que a classe de galvanização se apresenta igualmente como uma característica, na qual se pode optar por escolher a sua atribuição.

Descrição	Variável	Mostrar	Unidade	Valor
Fios de Aço Galvanizado	VN0001			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50189
Tipo	VN0006	<input type="checkbox"/>	-	ST1A
Número de Fios	VN0007	<input type="checkbox"/>	-	19
Diâmetro dos Fios	VN0008	<input type="checkbox"/>	mm	2,85
Secção dos Fios	VN0011	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	6,38
Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios	VN0012	<input type="checkbox"/>	Mpa	1350
Tensão de Ruptura a 1% do Alongamento	VN0018	<input type="checkbox"/>	Mpa	1140
Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	VN0015	<input type="checkbox"/>	%	3,5
Classe de Galvanização	VN0016	<input type="checkbox"/>	-	A
Galvanização	VN0040	<input type="checkbox"/>	g/m <sup>2</sup>	230
Torções (n° min. de Voltas)	VN0018	<input type="checkbox"/>	-	4
Densidade a 20°C	VN0047	<input type="checkbox"/>	kg/dm <sup>3</sup>	7,780
Resistividade Máx. a 20°C	VN0058	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,192000
Módulo de Elasticidade	VN0053	<input type="checkbox"/>	N/mm <sup>2</sup>	190000
Coefficiente de Dilatação Material	VN0031a	<input type="checkbox"/>	1/°C	1,200000e-5
Calor Específico	VN0063	<input type="checkbox"/>	Kcal/Kg°C	0,109848
Coefficiente de Temperatura de Resistência	VN0066	<input type="checkbox"/>	K	202,00

Figura 6.16 - Ficha Técnica Grupo Fios de Aço Galvanizado

A plataforma automatiza os valores das restantes variáveis, mediante as tabelas de apoio criadas, com base nas normas técnicas, e consoante a fórmula matemática (4.3), demonstrada no capítulo 4, para o cálculo da secção dos fios.

### 6.3.3 - Grupo - Condutor Completo Espias de Aço

Na criação do grupo condutor completo para este tipo de cabos, a estrutura foi pensada de uma forma cuidada, tendo em conta todas as características necessárias determinar. Na figura seguinte está apresentada a sua estruturação para posterior preenchimento do grupo na ficha técnica.

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Fórmula
1	Condutor Completo			
1	Agrupamento	VN0005		
2	NORMA			
2	Norma	VN0041		
3	Secção do Condutor			
2	Fórmula	VN0021		$\text{round}(\text{pi}) * \text{power}(:\text{GN001.VN0008}; 2, 0, 2) * \text{GN001.VN0007}; 2)$
4	Nº camadas aço			
2	Tabela	VN0043	:GN001.VN0007; #:GN001.VN0008;	
5	Diâmetro do Condutor			
2	Fórmula	VN0022		$(1+2*:\text{GN012.VN0043};) * : \text{GN001.VN0008};$
6	Factor Incremento de Massa - Aço			
2	Tabela	VN0045	:GN012.VN0041;  D :GN012.VN0041; :GN001.VN0007; :GN001.VN0007; #:GN012.VN0021;	
7	Peso Total do Condutor			
2	Fórmula	VN0027		$\text{power}(:\text{GN001.VN0008}; 2) * \text{pi} / 4 * : \text{GN001.VN0047}; * (1 + : \text{GN012.VN0045}; / 100) * : \text{GN001.VN0007};$
8	Módulo Final de Elasticidade			
2	Tabela	VN0030	:GN012.VN0041; #:GN012.VN0021;	
9	Módulo Final de Elasticidade			
2	Valor	VN0030a		
10	Coefficiente de Dilatação Linear			
2	Tabela	VN0031	:GN012.VN0041; #:GN012.VN0021;	
11	Multiplicador Carga Ruptura - Aço/ACS			
2	Tabela	VN0032b	:GN012.VN0041; #:GN012.VN0021;	
12	Carga de Ruptura Nominal			
2	Fórmula	VN0032		$(: \text{GN001.VN0012}; * : \text{GN001.VN0007}; * : \text{GN001.VN0011}; * : \text{GN012.VN0032b}; / 100) / 1000$
13	Carga de Ruptura Nominal			
2	Valor	VN0032e		
14	Resistência Eléctrica Máx. a 20° C			
2	Fórmula	VN0029		$: \text{GN001.VN0058}; / (: \text{GN001.VN0011}; * : \text{GN001.VN0007};) * 1000 * ((: \text{GN012.VN0045}; / 100) + 1)$
15	Relação de Cableamento			
2	Agrupamento	VN0056		
16	Relação de Cableamento da Última Camada			
3	Tabela	VN0056a	:GN012.VN0041;  D :GN012.VN0041; :GN001.VN0007; :GN001.VN0007; #:GN012.VN0021;	
17	Sentido de Cableamento da Última Camada			
2	Texto	VN0033a		

Figura 6.17 - Grupo Condutor Completo Espias Aço

Toda a informação relevante referente às normas técnicas aplicáveis a Espias de aço foi implementada nas tabelas de apoio, aquando da construção do grupo Condutor Completo correspondente.

Para o preenchimento da ficha técnica, na vertente do grupo do condutor completo, apenas se seleciona a norma técnica abrangente, neste exemplo, *EN 50182*, apresentada na tabela 5.2.

Descrição	Variável	Mostrar/Imprimir	Unidade	Valor
Condutor Completo	VN0005			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50182
Secção do Condutor	VN0021	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	121,2
Nº camadas aço	VN0043	<input type="checkbox"/>		2
Diâmetro do Condutor	VN0022	<input type="checkbox"/>	mm	14,3
Factor Incremento de Massa-Aço	VN0045	<input type="checkbox"/>	‡	1,68
Peso Total do Condutor	VN0027	<input type="checkbox"/>	kg/km	959
Módulo Final de Elasticidade	VN0020	<input type="checkbox"/>	Mpa	190000
Módulo Final de Elasticidade	VN0020a	<input type="checkbox"/>	Mpa	
Coefficiente de Dilatação Linear	VN0031	<input type="checkbox"/>	1/°C	1.1500000e-5
Multiplicador Carga Rotura - Aço/ACS	VN0022b	<input type="checkbox"/>	‡	100
Carga de Rotura Nominal	VN0022	<input type="checkbox"/>	kN	163,6
Carga de Rotura Nominal	VN0022e	<input type="checkbox"/>	kN	
Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	VN0029	<input type="checkbox"/>	Ohm/km	1,6105
Relação de Cableamento	VN0056			
Relação de Cableamento da Última Camada	VN0056a	<input type="checkbox"/>	xD	10 a 16
Sentido de Cableamento da Última Camada	VN0032a	<input type="checkbox"/>		Direta (Z)

Figura 6.18 - Ficha Técnica Grupo Condutor Completo Espia Aço

Após a seleção da norma técnica da base de dados, a aplicação de imediato determina as características do cabo. As variáveis ‘*Secção do Condutor*’, ‘*Diâmetro do Condutor*’, ‘*Peso Total do Condutor*’ e ‘*Resistência Eléctrica Máx. a 20° C*’ são calculadas de acordo com as fórmulas apresentadas no capítulo 4, sendo que as restantes variáveis, com exceção da variável ‘*Sentido de Cableamento da Última Camada*’ (variável de tabela de texto), são determinadas com base nas tabelas de apoio criadas e especificadas no anexo B.

De salientar, novamente, que a criação de uma nova variável ‘*Módulo Final de Elasticidade*’ do tipo valor remete para uma situação na qual o utilizador pretende especificar a sua atribuição, como já explicado na subsecção 6.1.3. No entanto, para cabos de guarda, foi proposto pelo Departamento de Tecnologia a utilização deste processo também para a variável ‘*Carga de Rotura Nominal*’.

### 6.3.4 - Ficha Técnica Final

Após a finalização do preenchimento do formulário técnico dos grupos constituintes, é, assim, possível efetuar uma pré-visualização da ficha técnica correspondente e, conseqüentemente, imprimir a mesma.

Descrição	Designação:	Características
<b>1- Fios de Aço Galvanizado</b>		
1.1 NORMA	-	EN 50189
1.2 Tipo	-	ST1A
1.3 Número de Fios	-	19
1.4 Diâmetro dos Fios	mm	2,85
1.5 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	6,38
1.6 Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios	Mpa	1350
1.7 Tensão de Rotura a 1% do Alongamento	MPa	1140
1.8 Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	%	3,5
1.9 Classe de Galvanização	-	A
1.10 Galvanização	g/m <sup>2</sup>	230
1.11 Torções (nº mín. de Voltas)	-	
1.12 Densidade a 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	7,780
1.13 Resistividade Máx. a 20°C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,192000
1.14 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	190000
1.15 Coeficiente de Dilatação Material	1/Cº	1.200000e-5
1.16 Calor Específico	Kcal/Kg°C	0,109848
1.17 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	202,00
<b>2- Condutor Completo</b>		
2.1 NORMA	-	EN 50182
2.2 Secção do Condutor	mm <sup>2</sup>	121,2
2.3 Nº camadas aço		2
2.4 Diâmetro do Condutor	mm	14,3
2.5 Factor Incremento de Massa-Aço	%	1,68
2.6 Peso Total do Condutor	kg/Km	959
2.7 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	190000
2.8 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	
2.9 Coeficiente de Dilatação Linear	1/°C	1.1500000e-5
2.10 Multiplicador Carga Rotura - Aço/ACS	%	100
2.11 Carga de Rotura Nominal	KN	163,6
2.12 Carga de Rotura Nominal	KN	
2.13 Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	Ohm/Km	1,6105
2.14 Relação de Cableamento		
2.14.1 Relação de Cableamento da Última Camada	xD	10 a 16
2.15 Sentido de Cableamento da Última Camada		Direita (Z)

Figura 6.19 - Ficha Técnica Final Espia Aço

## 6.4 - Exemplo de Elaboração de Ficha Técnica - Cabo O.P.G.W.

A construção do modelo de cabos *O.P.G.W.* foi, de facto, um processo complexo, dada a composição variada de camada para camada que estes cabos podem apresentar. Neste sentido, um estudo e planeamento aprofundados tiveram de ser conduzidos, de forma a ser possível implementar estes cabos de guarda na plataforma computacional.

Uma das particularidades dos cabos *O.P.G.W.* é o facto de, a par da introdução de um tubo ótico - tubo que armazena as fibras óticas -, poderem apresentar uma composição mista de camada para camada, ou seja, numa determinada camada podem incorporar por exemplo o tubo ótico, fios de liga de alumínio e fios de aço revestidos a alumínio. Este detalhe proporciona um conjunto de combinações bastante alargado em termos de composição do cabo, levando a uma análise rigorosa sobre a melhor forma de implementar este tipo de cabos na aplicação. A par desta particularidade, em termos de plataforma computacional, foi necessário, aquando da construção do respetivo modelo, englobar os quatro grupos de metais constituintes (Fios de alumínio, liga de alumínio, aço e aço revestido a alumínio), uma vez que este tipo de cabos pode incorporar na sua composição uma qualquer combinação de alumínio e aço.

### 6.4.1 - Associação do Modelo à Ficha Técnica

Como todos os outros cabos, apresentados anteriormente, o primeiro passo engloba a criação do código e a associação do modelo correspondente à ficha técnica.

Código	CS2007
Descritivo	OPGW ACS/AA/ST 63/36 48FO-EN
Sub-Família	CN PA12
Modelo de FT	MNO10
Versão	1
Versão Activa	1
Tipo	
Designação	
Standard	
Data	2015-07-02
Aprovado por	

Figura 6.20 - Criação do código da ficha técnica e sua associação ao modelo respetivo

Reconhecido o modelo e consequentes grupos constituintes, é agora exequível o preenchimento da ficha técnica correspondente. Neste exemplo, a composição foi

especificada, exigindo o cliente o fabrico de um cabo *O.P.G.W.* constituído por fios de aço revestido a alumínio, fios de liga de alumínio e um tubo ótico de aço com 48 fibras óticas.

### 6.4.2 - Grupo - Fios de Aço Revestido a Alumínio (ACS)

Para a criação do grupo de fios de aço revestido a alumínio, voltou-se novamente a incorporar tabelas de apoio com informações relativas às normas técnicas aplicáveis a este tipo de fios. Na figura abaixo representada, evidencia-se a estrutura do respetivo grupo constituente.

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
<b>1 Fios de ACS</b>				
1	Agrupamento	VN0004		
<b>2 NORMA</b>				
2	Norma	VN0041		
<b>3 Número de Fios</b>				
2	Valor	VN0007		
<b>4 Diâmetro dos Fios</b>				
2	Valor	VN0008		
<b>5 Secção dos Fios</b>				
2	Formula	VN0011		$\text{round}(\pi) * \text{power}(\text{GN006.VN0008}; 2, 0, 2), 2)$
<b>6 Classe (ACS)</b>				
2	Texto	VN0050		
<b>7 Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios</b>				
2	Tabela	VN0012	:GN006.VN0041; D(:GN006.VN0041;:GN006.VN0050;:);#:GN006.VN0008;	
<b>8 Tensão de Ruptura a 1% do Alongamento</b>				
2	Tabela	VN0038	:GN006.VN0041; D(:GN006.VN0041;:GN006.VN0050;:);#:GN006.VN0008;	
<b>9 Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)</b>				
2	Tabela	VN0015	:GN006.VN0041; D(:GN006.VN0041;:GN006.VN0050;:);#:GN006.VN0008;	
<b>10 Resistividade Máx. a 20°C</b>				
2	Tabela	VN0058	:GN006.VN0041;#:GN006.VN0008;	
<b>11 Densidade a 20°C</b>				
2	Tabela	VN0047	:GN006.VN0041;#:GN006.VN0008;	
<b>12 Módulo de Elasticidade</b>				
2	Tabela	VN0053	:GN006.VN0041;#:GN006.VN0008;	
<b>13 Coeficiente de Dilatação Material</b>				
2	Tabela	VN0031a	:GN006.VN0041;#:GN006.VN0008;	
<b>14 Calor Específico</b>				
2	Tabela	VN0063	:GN006.VN0047;#:GN006.VN0008;	
<b>15 Coeficiente de Temperatura de Resistência</b>				
2	Tabela	VN0066	:GN006.VN0047;#:GN006.VN0008;	

Figura 6.21 - Grupo Fios de Aço Revestido a Alumínio (ACS)

No preenchimento das características relativas aos fios ACS, é selecionada a norma aplicável da base de dados da aplicação, e introduz-se o número de fios e o seu diâmetro, previamente especificados pelo cliente. Relativamente à classe do ACS, na subsecção 2.1.1.3 são especificadas as diferentes classes existentes no mercado, que são transpostas para a plataforma computacional, como variável de tabela de texto, onde é permitido ao utilizador seleccionar o tipo pretendido.

Descritivo	Variável	Mo Imprimir	Unidade	Valor
Fios de ACS	Y00004			
NORMA	Y00041	<input type="checkbox"/>	-	EN 61232
Número de Fios	Y00007	<input type="checkbox"/>	-	14
Diâmetro dos Fios	Y00008	<input type="checkbox"/>	mm	2,40
Secção dos Fios	Y00011	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	4,52
Classe (ACS)	Y00060	<input type="checkbox"/>	-	20SA
Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios	Y00012	<input type="checkbox"/>	Mpa	1340
Tensão de Rotura a 1% do Alongamento	Y00018	<input type="checkbox"/>	Mpa	1200
Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	Y00015	<input type="checkbox"/>	%	1,5
Resistividade Máx. a 20°C	Y00058	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,084800
Densidade a 20°C	Y00047	<input type="checkbox"/>	kg/dm <sup>3</sup>	6,590
Módulo de Elasticidade	Y00053	<input type="checkbox"/>	N/mm <sup>2</sup>	162000
Coefficiente de Dilatação Material	Y0001a	<input type="checkbox"/>	1/°C	1.300000e-5
Calor Especifico	Y00063	<input type="checkbox"/>	Jcal/Jg°C	0,136355
Coefficiente de Temperatura de Resistência	Y00066	<input type="checkbox"/>	K	257,78

Figura 6.22 - Ficha Técnica Grupo Fios ACS

De seguida, a própria plataforma individualiza a característica ‘Secção dos Fios’ com base na fórmula (4.3), apresentada no capítulo 4, e as restantes características são determinadas com o apoio das tabelas criadas, de acordo com a norma técnica EN 61232, descrita na tabela 5.2.

### 6.4.3 - Grupo - Fios de Liga de Alumínio

A estrutura do grupo dos fios de liga de alumínio é em toda semelhante à do grupo dos fios de alumínio, apenas diferenciando-se na inclusão da característica ‘Tipo’.

The screenshot shows a software interface for configuring technical data groups. The main window is titled 'Grupos de Variáveis de Fichas Técnicas' and displays a list of variables for the group 'Fios de Liga de Alumínio'. The variables are organized into a tree structure with levels (Nível) and types (Tipo). The variables listed are:

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
1	Agrupamento	VN0003		
2	NORMA	VN0041		
2	Tipo	VN0006		
2	Número de Fios	VN0007		
2	Diâmetro dos Fios	VN0008		
2	Secção dos Fios	VN0011		$\text{round}(\pi()^{\#} \text{power}(\# \text{GN002.VN0008}/2, 0, 2), 2)$
2	Resistividade Individual máx. 20°C	VN0019		$:\text{GN002.VN0041}; \text{D}; \text{GN002.VN0041}; \text{GN002.VN0006}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Resistividade Média máx. 20°C	VN0020		$:\text{GN002.VN0041}; \text{D}; \text{GN002.VN0041}; \text{GN002.VN0006}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios	VN0012		$:\text{GN002.VN0041}; \text{D}; \text{GN002.VN0041}; \text{GN002.VN0006}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Tensão de Ruptura Média Mínima dos Fios	VN0013		$:\text{GN002.VN0041}; \text{D}; \text{GN002.VN0041}; \text{GN002.VN0006}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	VN0015		$:\text{GN002.VN0041}; \text{D}; \text{GN002.VN0041}; \text{GN002.VN0006}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Densidade a 20°C	VN0047		$:\text{GN002.VN0041}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Módulo de Elasticidade	VN0053		$:\text{GN002.VN0041}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Coefficiente de Dilatação Material	VN0031a		$:\text{GN002.VN0041}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Calor Especifico	VN0063		$:\text{GN002.VN0047}; \#; \text{GN002.VN0008}$
2	Coefficiente de Temperatura de Resistência	VN0066		$:\text{GN002.VN0047}; \#; \text{GN002.VN0008}$

Figura 6.23 - Grupo Fios de Liga de Alumínio

Para o preenchimento das características relativas aos fios de liga de alumínio, é selecionada a norma da base de dados, e atribui-se o número de fios e o seu diâmetro, previamente especificados pelo cliente. Relativamente ao tipo, na subsecção 2.1.1.2 são especificados os diversos tipos existentes no mercado, que são carregados para a plataforma computacional, como variável de tabela de texto, onde é permitido ao utilizador seleccionar o tipo ambicionado.

The screenshot shows a technical data sheet for 'Fios de Liga de Alumínio'. The table lists various characteristics with their corresponding variables, units, and values.

Descrição	Variável	Não Imprimir	Unidade	Valor
Fios de Liga de Alumínio	VN0003			
NORMA	VN0041	<input type="checkbox"/>	-	EN 50183
Tipo	VN0006	<input type="checkbox"/>	-	AL3
Número de Fios	VN0007	<input type="checkbox"/>	-	9
Diâmetro dos Fios	VN0008	<input type="checkbox"/>	mm	2,25
Secção dos Fios	VN0011	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	3,98
Resistividade Individual máx. 20°C	VN0019	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,03253
Resistividade Média máx. 20°C	VN0020	<input type="checkbox"/>	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	-
Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios	VN0012	<input type="checkbox"/>	Mpa	295
Tensão de Ruptura Média Mínima dos Fios	VN0013	<input type="checkbox"/>	Mpa	-
Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	VN0015	<input type="checkbox"/>	%	3,5
Densidade a 20°C	VN0047	<input type="checkbox"/>	kg/dm <sup>3</sup>	2,700
Módulo de Elasticidade	VN0053	<input type="checkbox"/>	N/mm <sup>2</sup>	55000
Coefficiente de Dilatação Material	VN0031a	<input type="checkbox"/>	1/°C	2.300000e-5
Calor Especifico	VN0063	<input type="checkbox"/>	Kcal/Kg°C	0,215875
Coefficiente de Temperatura de Resistência	VN0066	<input type="checkbox"/>	K	309,00

Figura 6.24 - Ficha Técnica Grupo de Fios de Liga de Alumínio

Novamente, a aplicação computacional determina a característica 'Secção dos Fios' com base na fórmula (4.3), apresentada no capítulo 4, e as restantes características são definidas

com o apoio das tabelas criadas, de acordo com a norma técnica *EN 50183*, descrita na tabela 5.2.

### 6.4.4 - Grupo - Componente Ótica

O grupo da componente ótica integra o tubo ótico onde são inseridas as fibras óticas para fins de telecomunicações. A estrutura deste grupo foi, mais uma vez, discutida com o Departamento de Tecnologia da empresa, sendo apresentada de seguida.

Nível	Tipo	Variável	Tabela/Não Incluir Com/Prod	Formula
1	Componente Ótica			
1	Agrupamento	VN0080		
2	Tubo Ótico			
2	Agrupamento	VN0071		
3	Material do Tubo			
3	Texto	VN0072		
4	Número de Tubos			
3	Valor	VN0073		
5	Espessura do Tubo Aço			
3	Valor	VN0074		
6	Espessura Tubo Alumínio			$dbo.se(:GN014.VN0075; :GN014.VN0075a; 0; (:GN014.VN0075 - :GN014.VN0075a) / 2)$
3	Formula	VN0074a		
7	Diâmetro do Tubo de Aço			
3	Valor	VN0075a		
8	Diâmetro do Tubo			
3	Valor	VN0075		
9	Secção do Tubo			
3	Formula	VN0076		$dbo.se(:GN014.VN0074a; 0; ((:pf)^*:GN014.VN0075; +:GN014.VN0074; +:GN015.VN0073; ) * ((:power(:GN014.VN0075; 2) - :power(:GN014.VN0075a; 2)) / (:GN014.VN0075 - :GN014.VN0075a)))$
10	Número de Fibras (ITU-T G.652 D)			
3	Texto	VN0077		
11	Número de Fibras (ITU-T G.655 C)			
3	Texto	VN0077a		
12	Fibras Óticas			
2	Agrupamento	VN0078		
3	Texto	VN0079		
14	Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.652 D)			
2	Agrupamento	VN0089		
3	Formula	VN0105		$dbo.se(:GN014.VN0077; 0; 0,0,34)$
16	Atenuação Máx. a 1550nm			
3	Formula	VN0106		$dbo.se(:GN014.VN0077; 0; 0,0,20)$
17	Dispersão Máx. a 1310nm			
3	Formula	VN0108		$dbo.se(:GN014.VN0077; 0; 0,3,5)$
18	Dispersão Máx. a 1550nm			
3	Formula	VN0109		$dbo.se(:GN014.VN0077; 0; 0,18)$
19	Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.655 C)			
2	Agrupamento	VN0089a		
20	Atenuação Máx. a 1550nm			
3	Formula	VN0106a		$dbo.se(:GN014.VN0077a; 0; 0,0,25)$
21	Atenuação Máx. a 1625nm			
3	Formula	VN0107		$dbo.se(:GN014.VN0077a; 0; 0,0,24)$
22	Dispersão Máx. a 1530 até 1565nm			
3	Formula	VN0111		$dbo.se(:GN014.VN0077a; 0; 0, "4,5 a 6")$
23	Dispersão Máx. a 1365 até 1625nm			
3	Formula	VN0112		$dbo.se(:GN014.VN0077a; 0; 0, "4,5 a 11,2")$

Figura 6.25 - Grupo Componente Ótica

De notar que o tubo ótico não se rege por nenhuma norma técnica, pelo que parte muito da experiência pessoal do Departamento de Tecnologia na construção deste tipo de cabos, conseguir dimensionar corretamente o mesmo. Outro detalhe importante a reter da estrutura deste grupo é o facto da utilização frequente, em diversas características, do comando

'*dbo.se()*'). Este comando permite a comparação de dois valores (1,2), retornando um terceiro valor (3) em caso de igualdade, ou retornando um quarto valor (4), em caso de desigualdade, ou seja, '*dbo.se(1,2,3,4)*' - retornará o 4.

No preenchimento deste grupo na ficha técnica, por intermédio de variáveis de tabelas de texto, descritas no anexo C, é possível selecionar as atribuições às características '*Material do Tubo*' (Aço, Alumínio ou ACS), '*Número de Fibras segundo a especificação técnica (ITU-T G 652 D)*', '*Número de Fibras segundo a especificação técnica (ITU-T G 655 C)*' e '*Tipo de Fibras*' (Monomodo ou Multimodo). O utilizador preenche a variável '*Número de Tubos*', especificando de seguida a sua espessura e diâmetro. Neste exemplo, o tubo ótico é de aço, no entanto, se fosse de aço revestido a alumínio, a espessura da película de alumínio teria de ser também contabilizada.

Descritivo	Variável	Imprimir	Unidade	Valor
Componente Ótica	VB0080		-	
Tubo Ótico	VB0071		-	
Material do Tubo	VB0072	<input type="checkbox"/>	Aço	
Número de Tubos	VB0073	<input type="checkbox"/>	-	1
Espessura do Tubo Aço	VB0074	<input type="checkbox"/>	mm	0,20
Espessura Tubo Alumínio	VB0074a	<input type="checkbox"/>	mm	0,00
Diâmetro do Tubo de Aço	VB0075a	<input type="checkbox"/>	mm	4,2
Diâmetro do Tubo	VB0075	<input type="checkbox"/>	mm	4,2
Secção do Tubo	VB0076	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	2,64
Número de Fibras (ITU-T G.652 D)	VB0077	<input type="checkbox"/>	-	48
Número de Fibras (ITU-T G.655 C)	VB0077a	<input type="checkbox"/>	-	24
Fibras Óticas	VB0078		-	
Tipo de Fibras	VB0079	<input type="checkbox"/>	Monomodo	
Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.652 D)	VB0089		-	
Atenuação Máx. a 1310nm	VB0105	<input type="checkbox"/>	dB/Km	0,34
Atenuação Máx. a 1550nm	VB0106	<input type="checkbox"/>	dB/Km	0,20
Dispersão Máx. a 1310nm	VB0108	<input type="checkbox"/>	ps/nm.Km	3,5
Dispersão Máx. a 1550nm	VB0109	<input type="checkbox"/>	ps/nm.Km	18,0
Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.655 C)	VB0089a		-	
Atenuação Máx. a 1550nm	VB0106a	<input type="checkbox"/>	dB/Km	0,25
Atenuação Máx. a 1625nm	VB0107	<input type="checkbox"/>	dB/Km	0,24
Dispersão Máx. a 1520 até 1565nm	VB0111	<input type="checkbox"/>	ps/nm.Km	
Dispersão Máx. a 1625 até 1625nm	VB0112	<input type="checkbox"/>	ps/nm.Km	

Figura 6.26 - Ficha Técnica Grupo Componente Ótica

A plataforma determina as restantes características por intermédio de cálculos e comparações entre variáveis. Os atributos de '*Atenuação*' e '*Dispersão*' são individualizados com base nas especificações técnicas descritas em *ITU-T G 652 D* e *ITU-T G 655 C* - documentos técnicos sobre as características das fibras óticas, os quais a empresa consulta para o seu fabrico.

### 6.4.5 - Grupo - Condutor Completo Cabo O.P.G.W.

Na criação do grupo condutor completo para este tipo de cabos, a estrutura foi exaustivamente pensada de uma forma rigorosa, em conjunto com o Departamento de Tecnologia, levando-se em consideração todas as características necessárias determinar. Neste sentido, na figura seguinte está apresentada a sua disposição para posterior preenchimento do grupo na ficha técnica.

Nível	Grupo	Tipo	Varável	Tabela/VBo Incluir Cony/Prod	Formula
1	Condutor Completo	Agrupamento	VN0005		
2	NORMA	Norma	VN0041		
3	Número Fios Aço	Formula	VN0081a		:(GN001.VN0007;
4	Número Fios ACS	Formula	VN0081		:(GN006.VN0007;
5	Número Fios Alumínio	Formula	VN0082a		:(GN005.VN0007;
6	Número Fios Liga de Alumínio	Formula	VN0082		:(GN002.VN0007;
7	Número de Tubos	Formula	VN0073		:(GN014.VN0073;
8	Secção Fios Aço	Formula	VN0083a		round(pi()*power((GN001.VN0008/(2.0.2.2))*:(GN015.VN0081a);
9	Secção Fios ACS	Formula	VN0083		round(pi()*power((GN006.VN0008/(2.0.2.2))*:(GN015.VN0081;
10	Secção Fios Alumínio	Formula	VN0084a		round(pi()*power((GN005.VN0008/(2.0.2.2))*:(GN015.VN0082a;
11	Secção Fios Liga de Alumínio	Formula	VN0084		round(pi()*power((GN002.VN0008/(2.0.2.2))*:(GN015.VN0082;
12	Secção do Tubo	Formula	VN0076		dbo.se((GN014.VN0074a;0,0,(pi()*:(GN014.VN0075;*(GN014.VN0074);
13	Secção do Condutor	Formula	VN0021		:(GN015.VN0083;+:(GN015.VN0084;+:(GN015.VN0076;
14	Diâmetro do Condutor	Formula	VN0022		:(GN015.VN0092;+(2*:(GN015.VN0110;+(2*:(GN015.VN0088;+;
15	Peso de Aço	Formula	VN0023		:(GN015.VN0081a;*(GN001.VN0047;*(GN001.VN0011;
16	Peso Fios ACS	Formula	VN0026		:(GN015.VN0081a;*(GN006.VN0047;*(GN006.VN0011;
17	Peso de Alumínio	Formula	VN0024		:(GN015.VN0082a;*(GN005.VN0047;*(GN005.VN0011;
18	Peso de Liga de Alumínio	Formula	VN0025		:(GN015.VN0082;*(GN002.VN0047;*(GN002.VN0011;
19	Peso do Tubo Ótico	Formula	VN0025		power((GN014.VN0075;2)-power((GN014.VN0075;-(2*:(GN014.VN0074;2));
20	Peso Total do Condutor	Formula	VN0027		:(GN015.VN0026;+:(GN015.VN0025;+:(GN015.VN0085;
21	Carga de Ruptura Nominal	Formula	VN0032		((:(GN006.VN0012;*(GN015.VN0083;)+((:(GN002.VN0012;*(GN015.VN0084;))/1000;
22	Tensão Máxima Admissível (40% Carga de Ruptura)	Formula	VN0032		:(GN015.VN0032)*0.4
23	K1 - (factor coeficiente de dilatação)	Formula	VN0086		((:(GN006.VN0053;*(:(GN006.VN0011;*(:(GN006.VN0007;))/((GN002.VN0053;*
24	Coefficiente de Dilatação Linear	Formula	VN0054		((:(GN002.VN0011;*(:(GN002.VN0007;)))
25	Módulo Final de Elasticidade	Formula	VN0031		((:(GN002.VN0031a;+:(GN015.VN0054;*(GN006.VN0031a;)/(1+:(GN015.VN0054;)))
26	Módulo Final de Elasticidade	Formula	VN0030		((:(:(GN006.VN0053;+:(GN001.VN0053;))*((:(GN015.VN0083;+:(GN015.VN0083a;))/
27	Rato de Curvatura Mínimo (Durante instalação)	Valor	VN0030a		
28	Rato de Curvatura Mínimo (Após instalação)	Formula	VN0087		:(GN015.VN0022)*20
29	Rato de Curvatura Mínimo (Após instalação)	Formula	VN0088		:(GN015.VN0022)*15
30	Relação de Cableamento	Agrupamento	VN0056		
31	Resistência Eléctrica Máx. a 30° C	Formula	VN0033a		
32	Temperatura Inicial	Valor	VN0029		((:(GN002.VN0019;/(GN015.VN0084;)+1000)*((:(GN006.VN0056;/(GN015.VN0083;)
33	Temperatura Final	Valor	VN0064		
34	Duração do Curto-Circuito	Valor	VN0065		
35	Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	Valor	VN0069		
36	Corrente Máxima do Fio Separável	Formula	VN0067		sqrt((GN015.VN0068;)/(GN015.VN0069;
37	Duração do Curto-Circuito	Formula	VN0066		power((sqrt(((GN006.VN0063;/(0.002088))*((GN006.VN0047;*(1000)*
38	Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	Formula	VN0067a		sqrt(power((GN015.VN0067;2)/(GN015.VN0069a;)))
39	auxDiâmetroOPCWACS/ST	Formula	VN0095		:(GN001.VN0008;+:(GN006.VN0008;
40	auxDiâmetroOPCWAA/AL	Formula	VN0096		:(GN002.VN0008;+:(GN005.VN0008;
41	Material Fio Central	Texto	VN0090		
42	auxFioCentral_a	Tabela	VN0091	:(GN015.VN0090;#:(GN015.VN0073;	
43	auxFioCentral_b	Formula	VN0092		dbo.se((GN015.VN0091;1;:(GN001.VN0008;+:(GN006.VN0008;);dbo.se
44	Material 1ª Camada	Texto	VN0090a		
45	aux1ª Camada_a	Tabela	VN0093	:(GN015.VN0090a;#:(GN015.VN0073;	
46	aux1ª Camada_b	Formula	VN0110		dbo.se((GN015.VN0093;1;:(GN015.VN0095;);dbo.se
47	Material 2ª Camada	Texto	VN0090b		
48	aux2ª Camada_a	Tabela	VN0097	:(GN015.VN0090b;#:(GN015.VN0073;	
49	aux2ª Camada_b	Formula	VN0097		dbo.se((GN015.VN0097;1;:(GN015.VN0095;);dbo.se
50	Material 3ª Camada	Texto	VN0090c		
51	aux3ª Camada_a	Tabela	VN0099	:(GN015.VN0090c;#:(GN015.VN0073;	
52	aux3ª Camada_b	Formula	VN0100		dbo.se((GN015.VN0099;1;:(GN015.VN0095;);dbo.se
53	Material 4ª Camada	Texto	VN0090d		
54	aux4ª Camada_a	Tabela	VN0101	:(GN015.VN0090d;#:(GN015.VN0073;	
55	aux4ª Camada_b	Formula	VN0102		dbo.se((GN015.VN0101;1;:(GN015.VN0095;);dbo.se
56	Material 5ª Camada	Texto	VN0090e		
57	aux5ª Camada_a	Tabela	VN0103	:(GN015.VN0090e;#:(GN015.VN0073;	
58	aux5ª Camada_b	Formula	VN0104		dbo.se((GN015.VN0103;1;:(GN015.VN0095;);dbo.se

Figura 6.27 - Estrutura do Grupo Cabo Completo O.P.G.W.

Descrição	Variável	Mostrar	Unidade	Valor
Condutor Completo	V00005	<input type="checkbox"/>		
NORMA	V00041	<input type="checkbox"/>	- EN 50182	
Número fios Aço	V00081a	<input type="checkbox"/>	-	0
Número fios ACS	V00081	<input type="checkbox"/>	-	14
Número Fios Alumínio	V00082a	<input type="checkbox"/>	-	0
Número fios Liga de Alumínio	V00082	<input type="checkbox"/>	-	9
Número de Tubos	V00072	<input type="checkbox"/>	-	1
Secção fios Aço	V00083a	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	0,00
Secção fios ACS	V00083	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	63,28
Secção fios Alumínio	V00084a	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	0,00
Secção fios Liga de Alumínio	V00084	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	35,82
Secção do Tubo	V00076	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	0,00
Secção do Condutor	V00021	<input type="checkbox"/>	mm <sup>2</sup>	99,10
Diâmetro do Condutor	V00022	<input type="checkbox"/>	mm	11,6
Peso de Aço	V00023	<input type="checkbox"/>	Kg/Km	0,0
Peso Fios ACS	V00026	<input type="checkbox"/>	kg/km	417,0
Peso de Alumínio	V00024	<input type="checkbox"/>	kg/Km	0,0
Peso de Liga de Alumínio	V00025	<input type="checkbox"/>	kg/Km	96,7
Peso do Tubo Óptico	V00085	<input type="checkbox"/>	Kg/Km	48,18
Peso Total do Condutor	V00027	<input type="checkbox"/>	kg/Km	562
Carga de Ruptura Nominal	V00022	<input type="checkbox"/>	KN	95,4
Tensão Máxima Admissível (40% Carga de Ruptura)	V00066	<input type="checkbox"/>	KN	38,16
K1 -(factor coeficiente de dilatação)	V00084	<input type="checkbox"/>		5,203
Coefficiente de Dilatação Linear	V00081	<input type="checkbox"/>	1/°C	1,4610000e-5
Módulo Final de Elasticidade	V00038	<input type="checkbox"/>	Mpa	123325
Módulo Final de Elasticidade	V00039a	<input type="checkbox"/>	Mpa	
Raio de Curvatura Mínimo (Durante instalação)	V00087	<input type="checkbox"/>	mm	232,0
Raio de Curvatura Mínimo (Após instalação)	V00088	<input type="checkbox"/>	mm	174,0
Relação de Cablamente	V00056	<input type="checkbox"/>		
Sentido de Cablamente da Última Camada	V00034a	<input type="checkbox"/>	Direta (Z)	
Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	V00029	<input type="checkbox"/>	Ohm/Km	
Temperatura Inicial	V00064	<input type="checkbox"/>	°C	40
Temperatura Final	V00065	<input type="checkbox"/>	°C	180
Duração do Curto-Circuito	V00069	<input type="checkbox"/>	s	1
Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	V00067	<input type="checkbox"/>	KA	7,6
Corrente Máxima de Defeito Suportável	V00068	<input type="checkbox"/>	KA2.s	58,2
Duração do Curto-Circuito	V00069a	<input type="checkbox"/>	s	0,3
Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	V00067a	<input type="checkbox"/>	kA	13,9
auxDiámetroOPWACS/ST	V00095	<input type="checkbox"/>	mm	2,40
auxDiámetroOPWAA/AL	V00096	<input type="checkbox"/>	mm	2,25
Material Fio Central	V00090	<input type="checkbox"/>	- AA/AL	
auxFioCentral_a	V00091	<input type="checkbox"/>	-	2
auxFioCentral_b	V00092	<input type="checkbox"/>	-	2,25
Material 1ªCamada	V00090a	<input type="checkbox"/>	- AA/AL	
aux1ªCamada_a	V00093	<input type="checkbox"/>	-	2
aux1ªCamada_b	V00110	<input type="checkbox"/>	-	2,25
Material 2ªCamada	V00090b	<input type="checkbox"/>	- ACS/ST	
aux2ªCamada_a	V00097	<input type="checkbox"/>	-	1
aux2ªCamada_b	V00098	<input type="checkbox"/>	-	2,40
Material 3ªCamada	V00090c	<input type="checkbox"/>	- N/A	
aux3ªCamada_a	V00099	<input type="checkbox"/>	-	7
aux3ªCamada_b	V00100	<input type="checkbox"/>	-	0,00
Material 4ªCamada	V00090d	<input type="checkbox"/>	- N/A	
aux4ªCamada_a	V00101	<input type="checkbox"/>	-	7
aux4ªCamada_b	V00102	<input type="checkbox"/>	-	0,00
Material 5ªCamada	V00090e	<input type="checkbox"/>	- N/A	
aux5ªCamada_a	V00103	<input type="checkbox"/>	-	7
aux5ªCamada_b	V00104	<input type="checkbox"/>	-	0,00
aux5ªCamada_a	V00105	<input type="checkbox"/>	-	7
aux5ªCamada_b	V00106	<input type="checkbox"/>	-	0,00

Figura 3.28 - Ficha Técnica Condutor Completo O.P.G.W.

Para a determinação de todas as características da ficha técnica, após a especificação da norma técnica aplicável e do material constituinte para cada camada e fio central, a plataforma disponibiliza automaticamente os valores dos restantes parâmetros, com base nas tabelas de apoio descritas no anexo B, de acordo com a norma EN 50182, e nas fórmulas matemáticas apresentadas no capítulo 4.

É de realçar o facto de que, especialmente neste grupo, inúmeras são as variáveis que servem de apoio ao cálculo de outras características, mas que são, de uma forma análoga, evidenciadas, uma vez que sem as mesmas um correto dimensionamento de um cabo O.P.G.W. não seria possível. Um exemplo desta particularidade pode ser demonstrado pelas variáveis auxiliares calculadas para cada camada, com o intuito final de se pretender determinar o diâmetro do condutor.

## 6.4.6 - Ficha Técnica Final

Terminado todo o dimensionamento do cabo *O.P.G.W.* validam-se todas as características dimensionais e elétricas e, por fim, imprime-se a ficha técnica correspondente.

Descrição	Designação:	Características
<b>1- Fios de Aço Galvanizado</b>		
1.1 NORMA	-	
1.2 Tipo	-	
1.3 Número de Fios	-	
1.4 Diâmetro dos Fios	mm	
1.5 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	0,00
1.6 Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios	Mpa	
1.7 Tensão de Ruptura a 1% do Alongamento	MPa	
1.8 Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	%	
1.9 Classe de Galvanização	-	
1.10 Galvanização	g/m <sup>2</sup>	
1.11 Torções (nº mín. de Voltas)	-	
1.12 Densidade a 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	
1.13 Resistividade Máx. a 20°C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	
1.14 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	
1.15 Coeficiente de Dilatação Material	1/Cº	
1.16 Calor Específico	Kcal/Kg°C	
1.17 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	
<b>2- Fios de ACS</b>		
2.1 NORMA	-	EN 61232
2.2 Número de Fios	-	14
2.3 Diâmetro dos Fios	mm	2,40
2.4 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	4,52
2.5 Classe (ACS)	-	20SA
2.6 Tensão de Ruptura Individual Mínima dos Fios	Mpa	1340
2.7 Tensão de Ruptura a 1% do Alongamento	MPa	1200
2.8 Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	%	1,5
2.9 Resistividade Máx. a 20°C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,084800
2.10 Densidade a 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	6,590
2.11 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	162000
2.12 Coeficiente de Dilatação Material	1/Cº	1.300000e-5
2.13 Calor Específico	Kcal/Kg°C	0,136355
2.14 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	257,78
<b>3- Fios de Alumínio</b>		
3.1 NORMA	-	
3.2 Número de Fios	-	
3.3 Diâmetro dos Fios	mm	
3.4 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	0,00
3.5 Resistividade Máx. a 20°C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	
3.6 Tensão de Ruptura Mín. dos fios	MPa	
3.7 Alongamento Mínimo à Ruptura (250 mm)	%	
3.8 Densidade a 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	

3.9 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	
3.10 Coeficiente de Dilatação Material	1/C <sup>º</sup>	
3.11 Calor Específico	Kcal/Kg <sup>º</sup> C	
3.12 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	
<b>4- Fios de Liga de Alumínio</b>		
4.1 NORMA	-	EN 50183
4.2 Tipo	-	AL3
4.3 Número de Fios	-	9
4.4 Diâmetro dos Fios	mm	2,25
4.5 Secção dos Fios	mm <sup>2</sup>	3,98
4.6 Resistividade Individual máx. 20 <sup>º</sup> C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	0,03253
4.7 Resistividade Média máx. 20 <sup>º</sup> C	Ohm.mm <sup>2</sup> /m	-
4.8 Tensão de Rotura Individual Mínima dos Fios	Mpa	295
4.9 Tensão de Rotura Média Mínima dos Fios	Mpa	-
4.10 Alongamento Mínimo à Rotura (250 mm)	%	3,5
4.11 Densidade a 20 <sup>º</sup> C	kg/dm <sup>3</sup>	2,700
4.12 Módulo de Elasticidade	N/mm <sup>2</sup>	55000
4.13 Coeficiente de Dilatação Material	1/C <sup>º</sup>	2,300000e-5
4.14 Calor Específico	Kcal/Kg <sup>º</sup> C	0,215875
4.15 Coeficiente de Temperatura de Resistência	K	309,00
<b>5- Componente Ótica</b>		
5.1 Tubo Ótico	-	
5.1.1 Material do Tubo	-	Aço
5.1.2 Número de Tubos	-	1
5.1.3 Espessura do Tubo Aço	mm	0,20
5.1.4 Espessura Tubo Alumínio	mm	0,00
5.1.5 Diâmetro do Tubo de Aço	mm	4,2
5.1.6 Diâmetro do Tubo	mm	4,2
5.1.7 Secção do Tubo	mm <sup>2</sup>	2,64
5.1.8 Número de Fibras (ITU-T G.652 D)	-	48
5.1.9 Número de Fibras (ITU-T G.655 C)	-	24
5.2 Fibras Óticas	-	
5.2.1 Tipo de Fibras	-	Monomodo
5.3 Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.652 D)	-	
5.3.1 Atenuação Máx. a 1310nm	dB/Km	0,34
5.3.2 Atenuação Máx. a 1550nm	dB/Km	0,20
5.3.3 Dispersão Máx. a 1310nm	ps/nm.Km	3,5
5.3.4 Dispersão Máx. a 1550nm	ps/nm.Km	18,0
5.4 Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.655 C)	-	
5.4.1 Atenuação Máx. a 1550nm	dB/Km	0,25
5.4.2 Atenuação Máx. a 1625nm	dB/Km	0,24
5.4.3 Dispersão Máx. a 1530 até 1565nm	ps/nm.Km	
5.4.4 Dispersão Máx. a 1365 até 1625nm	ps/nm.Km	
6.1 NORMA	-	EN 50182

6.2 Número fios Aço	-	0
6.3 Número fios ACS	-	14
6.4 Número Fios Alumínio	-	0
6.5 Número fios Liga de Alumínio	-	9
6.6 Número de Tubos	-	1
6.7 Secção fios Aço	mm <sup>2</sup>	0,00
6.8 Secção fios ACS	mm <sup>2</sup>	63,28
6.9 Secção fios Alumínio	mm <sup>2</sup>	0,00
6.10 Secção fios Liga de Alumínio	mm <sup>2</sup>	35,82
6.11 Secção do Tubo	mm <sup>2</sup>	0,00
6.12 Secção do Condutor	mm <sup>2</sup>	99,10
6.13 Diâmetro do Condutor	mm	11,6
6.14 Peso de Aço	Kg/Km	0,0
6.15 Peso Fios ACS	kg/km	417,0
6.16 Peso de Alumínio	kg/Km	0,0
6.17 Peso de Liga de Alumínio	kg/Km	96,7
6.18 Peso do Tubo Ótico	Kg/Km	48,18
6.19 Peso Total do Condutor	kg/Km	562
6.20 Carga de Rotura Nominal	KN	95,4
6.21 Tensão Máxima Admissível (40% Carga de Rotura)	KN	38,16
6.22 K1 -(factor coeficiente de dilatação)		5,203
6.23 Coeficiente de Dilatação Linear	1/°C	1.4610000e-5
6.24 Módulo Final de Elasticidade	Mpa	123325
6.25 Raio de Curvatura Mínimo (Durante instalação)	mm	232,0
6.26 Raio de Curvatura Mínimo (Após instalação)	mm	174,0
6.27 Relação de Cableamento		
6.28 Sentido de Cableamento da Última Camada		Direita (Z)
6.29 Resistência Eléctrica Máx. a 20° C	Ohm/Km	0,5413
6.30 Temperatura Inicial	°C	40
6.31 Temperatura Final	°C	180
6.32 Duração do Curto-Circuito	s	1
6.33 Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	KA	7,6
6.34 Corrente Máxima do Defeito Suportável	KA2.s	58,2
6.35 Duração do Curto-Circuito	s	0,3
6.36 Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito	kA	13,9
6.37 auxDiámetroOPGWACS/ST	mm	2,40
6.38 auxDiámetroOPGWAA/AL	mm	2,25
6.39 Material Fio Central	-	AA/AL
6.39.1 auxFioCentral_a	-	2
6.39.2 auxFioCentral_b	-	2,25
6.40 Material 1ªCamada	-	AA/AL
6.40.1 aux1ªCamada_a	-	2
6.40.2 Aux1ªCamada_b	-	2,25
6.41 Material 2ªCamada	-	ACS/ST
6.41.1 aux2ªCamada_a	-	1

6.41.2 aux2ªCamada_b	-	2,40
<b>6.42 Material 3ªCamada</b>	-	N/A
6.42.1 aux3ªCamada_a	-	7
6.42.2 aux3ªCamada_b	-	0,00
<b>6.43 Material 4ªCamada</b>	-	N/A
6.43.1 aux4ªCamada_a	-	7
6.43.2 aux4ªCamada_b	-	0,00
<b>6.44 Material 5ªCamada</b>	-	N/A
6.44.1 aux5ªCamada_a	-	7
6.44.2 aux5ªCamada_b	-	0,00

Figura 6.29 - Ficha Técnica Final Cabo O.P.G.W.

# Capítulo 7

## Conclusões e Perspetivas Futuras

Neste capítulo são apresentadas todas as conclusões retiradas com o desenvolvimento da plataforma informática relativamente a cabos nus e são demonstradas algumas perspetivas futuras sobre o seu progresso. O objetivo principal deste projeto de dissertação estabeleceu-se como sendo a continuação do desenvolvimento de uma plataforma que, de forma rápida e automática, preenchesse as características técnicas de um cabo nu. Nesse sentido, foi, então, necessário um estudo aprofundado das famílias de cabos existentes e dos seus aspetos construtivos, tendo as suas características elétricas e dimensionais sido analisadas detalhadamente, com base nas normas técnicas abrangentes.

### 7.1 - Conclusões

Estabelecido o objetivo principal deste projeto de dissertação, foi, assim, necessária toda uma preparação prévia e intensiva, de forma a rentabilizar todo o processo de trabalho. O procedimento de desenvolvimento da plataforma e dos processos envolventes incorporaram um plano de estudos rigoroso, desde as normas técnicas abrangentes até aos diferentes tipos de cabos nus existentes no mercado. O próprio estudo antecipado da interface da plataforma e da sua estrutura proporcionou uma facilidade de interação com a mesma, tendo sido bastante vantajoso aquando da construção das variáveis, tabelas, grupos e modelos dos cabos.

Com o desenvolvimento desta aplicação informática, a elaboração de fichas técnicas passa a ser, de facto, um processo mais simplificado e organizado relativamente ao processo utilizado atualmente - *Microsoft Excel* -, no qual é necessária a colocação individual de todos os elementos constituintes de um cabo, assim como as suas características dimensionais e elétricas. Este processo é repetido sempre que um cabo é solicitado, tornando a necessidade de utilização da plataforma crucial para a elaboração de fichas técnicas. A par da simplificação e organização, uma das maiores conclusões verificadas é a redução do tempo a uma consulta técnica, dada a rapidez, face ao método atual. Este benefício é determinante para rentabilizar

a produção do Departamento de Tecnologia e, conseqüentemente, potenciar o lucro da empresa.

Por outro lado, tendo em consideração que a maior parte das características dimensionais e elétricas são calculadas diretamente pela plataforma, com o auxílio da base de dados criada especificamente para o efeito, a probabilidade de equívocos na elaboração de fichas técnicas passa a ser bastante reduzida, promovendo novamente o maior e melhor rendimento de trabalho.

Sendo que as normas técnicas aplicáveis são inseridas na base de dados criada, é possível, a qualquer momento, efetuar alterações a essas normas, com a vantagem de as realizar somente uma vez. Desta forma, sempre que as características que foram alteradas forem carregadas para um determinado grupo constituinte de um cabo, estarão agora devidamente atualizadas e o cabo dimensionado corretamente. Assim, uma vez que estão guardadas na base de dados, para além de se evitar a leitura frequente das normas técnicas, evita-se também que as atualizações sejam realizadas sempre que seja necessário elaborar uma ficha técnica.

Durante a criação dos diferentes tipos de cabos nus na plataforma, foi possível verificar as diferenças existentes entre eles. Neste sentido, o cabo *O.P.G.W.* foi, claramente, o mais complexo de implementar na aplicação informática, uma vez que teve que se criar inúmeras variáveis e tabelas auxiliares para o cálculo de diversas características. Sendo que a composição de um cabo *O.P.G.W.* pode variar até de camada para camada, todas as combinações possíveis tiveram de ser consideradas para um correto dimensionamento do mesmo. A quantidade de tubos óticos utilizados e a sua localização, características de cariz fundamental no dimensionamento de um cabo deste tipo que, aliadas às especificações mencionadas em cima, tiveram também de ser levadas em conta. Desta forma, foi essencial uma compreensão perfeita das limitações da plataforma, de maneira a ser possível calcular todas as especificações técnicas exigidas pelos clientes e pelas normas aplicáveis.

Por fim e de um ponto de vista mais particular, toda a preparação, o estudo, o planeamento e o processo de desenvolvimento da aplicação, tornaram esta dissertação numa experiência bastante enriquecedora, quer a nível pessoal, quer a nível profissional, dado que é sempre gratificante entender e presenciar que o projeto realizado tem aplicabilidade imediata na rotina laboral da SOLIDAL, além de que irá contribuir para uma melhor metodologia de trabalho, potenciando o crescimento e a rentabilidade numa das empresas líderes nacionais na sua área.

## 7.2 - Perspetivas Futuras

Do ponto de vista futuro, é possível, em algumas áreas, continuar o desenvolvimento da plataforma. Em relação à construção dos grupos constituintes de um cabo nu, a redução do número de variáveis auxiliares criadas seria benéfica para o Departamento de Tecnologia da empresa, não só pela organização estrutural do grupo, mas também pelo preenchimento facilitado de uma ficha técnica.

Eventualmente, será também possível expandir a base de dados criada, acrescentando as normas técnicas frequentemente menos utilizadas. Desta forma, seria, então, praticável englobar todas as normas existentes na plataforma, evitando o desconforto de ter que as adicionar quando, casualmente, fosse necessário.

Outro ponto de vista interessante foca-se no controlo documental dos processos intermediários de construção dos cabos. Em ambiente fabril, na construção dos cabos, relativamente a cada camada constituinte do cabo, a organização é feita em semi-produtos, isto é, à medida que vão sendo produzidas as camadas, vão dando origem ao produto final, designado por cabo completo. Assim, a cada processo intermédio de construção dos semi-produtos, está associado um código. Estes processos intermédios englobam o fabrico de uma camada constituinte de um cabo, realizado por uma das máquinas. Sendo o Departamento de Produção responsável por estes processos, o mesmo elabora fichas de fabrico individuais para cada máquina utilizada e para cada semi-produto. Ora, um dos objetivos da utilização da plataforma computacional é, eventualmente, conseguir interligar as fichas técnicas, elaboradas pelo Departamento de Tecnologia, e as fichas de fabrico, elaboradas pelo Departamento de Produção. Desta forma, seria possível evitar não conformidades nos cabos, sendo que qualquer alteração que seria realizada na ficha técnica, seria igualmente realizada na ficha de fabrico.

# Anexo A

## Variáveis criadas

Neste anexo, são demonstradas todas as variáveis necessárias criar, no âmbito desta dissertação, para auxiliar a metodologia de dimensionamento dos cabos nus.

Tabela A.1 – Variáveis Criadas na Plataforma

Variáveis	Descrição
VN0056b	Relação de Cableamento Camada(s) Interior(es)
VN0063	Calor Específico
VN0064	Temperatura Inicial
VN0065	Temperatura Final
VN0066	Coefficiente de Temperatura de Resistência - ACS
VN0066a	Coefficiente de Temperatura de Resistência - Liga de Alumínio
VN0067	Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito
VN0067a	Corrente Máxima Admissível em Curto-Circuito
VN0068	Corrente Máxima de Defeito Suportável
VN0069	Duração do Curto-Circuito
VN0069a	Duração do Curto-Circuito
VN0070	Fator Incremento de Massa Espias ACS
VN0071	Tubo Ótico
VN0072	Material do Tubo
VN0073	Número de Tubos
VN0074	Espessura do Tubo
VN0074a	Espessura do Tubo de Alumínio
VN0075	Diâmetro do Tubo
VN0075a	Diâmetro do Tubo de Aço
VN0076	Secção do Tubo
VN0077	Número de Fibras (ITU-T G.652 D)
VN0077a	Número de Fibras (ITU-T G.655 C)
VN0078	Fibras Óticas
VN0079	Tipo de Fibras
VN0080	Componente Ótica
VN0081	Número de Fios ACS

VN0081a	Número de Fios Aço
VN0082	Número de Fios Liga de Alumínio
VN0082a	Número de Fios Alumínio
VN0083	Secção de Fios ACS
VN0083a	Secção de Fios Aço
VN0084	Secção de Fios Liga de Alumínio
VN0084a	Secção de Fios Alumínio
VN0085	Peso do Tubo Ótico
VN0086	Tensão Máxima Admissível (40% Carga de Rutura Nominal)
VN0087	Raio de Curvatura Mínimo (Durante Instalação)
VN0088	Raio de Curvatura Mínimo (Após Instalação)
VN0089	Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.652 D)
VN0089a	Dimensão e Geometria das Fibras (ITU-T G.655 C)
VN0090	Material Fio Central
VN0090a	Material 1ª Camada
VN0090b	Material 2ª Camada
VN0090c	Material 3ª Camada
VN0090d	Material 4ª Camada
VN0090e	Material 5ª Camada
VN0091	auxFioCentral_a
VN0092	auxFioCentral_b
VN0093	Aux1ªCamada_a
VN0094	Aux1ªCamada_b
VN0095	auxDiametroOPGW ACS/ST
VN0096	auxDiametroOPGW AA/AL
VN0097	Aux2ªCamada_a
VN0098	Aux2ªCamada_b
VN0099	Aux3ªCamada_a
VN0100	Aux3ªCamada_b
VN0101	Aux4ªCamada_a
VN0102	Aux4ªCamada_b
VN0103	Aux5ªCamada_a
VN0104	Aux5ªCamada_b
VN0105	Atenuação Máx. a 1310nm
VN0106	Atenuação Máx. a 1550nm
VN0106a	Atenuação Máx. a 1550nm
VN0107	Atenuação Máx. a 1625nm
VN0108	Dispersão Máx. a 1310nm

VN0109	Dispersão Máx. a 1550nm
VN0110	Aux1ªCamada_a
VN0111	Dispersão Máx. a 1530 até 1565nm
VN0112	Dispersão Máx. a 1365 até 1625nm

---



# Anexo B

## Tabelas de apoio criadas

Neste anexo, são evidenciadas todas as tabelas de apoio criadas, no âmbito desta dissertação, para auxiliar a metodologia de dimensionamento dos cabos nus.

Tabela Apoio		13		Fator de incremento massa Espias ACS	
Chave	Desde	Até	Resultado		
ASTM B-416 19	0	20000	1,4		
ASTM B-416 3	0	20000	0,8		
ASTM B-416 37	0	20000	2,0		
ASTM B-416 7	0	20000	1,0		
EN 50182 127	0	20000	2,75		
EN 50182 19	0	20000	1,68		
EN 50182 37	0	20000	2,03		
EN 50182 61	0	20000	2,36		
EN 50182 7	0	20000	1,11		
EN 50182 91	0	20000	2,78		

Figura B.1 - Tabela "Fator de incremento massa Espias ACS"

Tabela Apoio		13a		Fator Incremento de Massa - Espias Aço	
Chave	Desde	Até	Resultado		
ASTM A 475 127	0	20000	2,75		
ASTM A 475 19	0	20000	1,68		
ASTM A 475 37	0	20000	2,03		
ASTM A 475 61	0	20000	2,36		
ASTM A 475 7	0	20000	1,11		
ASTM A 475 91	0	20000	2,78		
ASTM A-363 127	0	20000	2,75		
ASTM A-363 19	0	20000	1,68		
ASTM A-363 37	0	20000	2,03		
ASTM A-363 61	0	20000	2,36		
ASTM A-363 7	0	20000	1,11		
ASTM A-363 91	0	20000	2,78		
EN 50182 127	0	20000	2,75		
EN 50182 19	0	20000	1,68		
EN 50182 37	0	20000	2,03		
EN 50182 61	0	20000	2,36		
EN 50182 7	0	20000	1,11		
EN 50182 91	0	20000	2,78		

Figura B.2 - Tabela "Fator Incremento Massa - Espias Aço"

Tabela Apoio		15a		Nº camadas aço/ACS espias	
Chave	Desde	Até	Resultado		
127	0	10	6		
19	0	10	2		
37	0	10	3		
61	0	10	4		
7	0	10	1		
91	0	10	5		

Figura B.34 - Tabela "Nº camadas aço/ACS espias"

Tabela Apoio		16a		Nº Camadas Fios Alumínio/Liga - Cabos AAC/AAAC	
Chave	Desde	Até	Resultado		
127	0	5	6		
19	0	5	2		
37	0	5	3		
61	0	5	4		
7	0	5	1		
91	0	5	5		

Figura B.4 - Tabela "Nº Camadas Fios Alumínio/Liga - Cabos AAC/AAAC"

Tabela Apoio		18		Coeficiente k para peso de massa - Cabos Homogêneos	
Chave	Desde	Até	Resultado		
127  Caso 1	0	20000	0		
127  Caso 2	0	20000	16,40		
127  Caso 3	0	20000	22,96		
127  Caso 4	0	20000	19,28		
19  Caso 1	0	20000	0		
19  Caso 2	0	20000	1,09		
19  Caso 3	0	20000	3,28		
19  Caso 4	0	20000	1,79		
37  Caso 1	0	20000	0		
37  Caso 2	0	20000	3,28		
37  Caso 3	0	20000	6,56		
37  Caso 4	0	20000	4,52		
61  Caso 1	0	20000	0		
61  Caso 2	0	20000	6,56		
61  Caso 3	0	20000	10,93		
61  Caso 4	0	20000	8,35		
7  Caso 1	0	20000	0		
7  Caso 2	0	20000	0		
7  Caso 3	0	20000	1,09		
7  Caso 4	0	20000	0,17		
91  Caso 1	0	20000	0		
91  Caso 2	0	20000	10,93		
91  Caso 3	0	20000	16,40		
91  Caso 4	0	20000	13,27		

Figura B.5 - Tabela "Coeficiente k para peso de massa - Cabos Homogêneos"

Tabela Apoio		19e		Módulo de Elasticidade Final - Espias ACS	
Chave	Desde	Até	Resultado		
ASTM B-416	0	20000	160000		
EN 50182	0	20000	160000		

Figura B.6 - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Espias ACS"

Tabela Apoio : 19f		Módulo Elasticidade Final - Cabos AAC/AAAC		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B 231 19	0	20000	57000	
ASTM B 231 37	0	20000	57000	
ASTM B 231 61	0	20000	55000	
ASTM B 231 7	0	20000	60000	
ASTM B 231 91	0	20000	55000	
ASTM B 399 19	0	20000	57000	
ASTM B 399 37	0	20000	57000	
ASTM B 399 61	0	20000	55000	
ASTM B 399 7	0	20000	60000	
ASTM B 399 91	0	20000	55000	
EN 50182 19	0	20000	57000	
EN 50182 37	0	20000	57000	
EN 50182 61	0	20000	55000	
EN 50182 7	0	20000	60000	
EN 50182 91	0	20000	55000	

Figura B.7 - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Cabos AAC/AAAC"

Tabela Apoio : 19g		Módulo Elasticidade Final - Espias Aço		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM A 475	0	20000	190000	
ASTM A-363	0	20000	190000	
EN 50182	0	20000	190000	

Figura B.8 - Tabela "Módulo de Elasticidade Final - Espias Aço"

Tabela Apoio : 20e		Coeficiente de Dilatação Linear - Espias ACS		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B-416	0	20000	0,0000126	
EN 50182	0	20000	0,0000126	

Figura B.9 - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Espias ACS"

Tabela Apoio : 20f		Coeficiente de Dilatação Linear - Cabos AAC/AAAC		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B 231	0	20000	0,000023	
ASTM B 399	0	20000	0,000023	
EN 50182	0	20000	0,000023	

Figura B.10 - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Cabos AAC/AAAC"

Tabela Apoio : 20g		Coeficiente Dilatação Linear - Espias Aço		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM A 475	0	20000	0,0000115	
ASTM A-363	0	20000	0,0000115	
EN 50182	0	20000	0,0000115	

Figura B.11 - Tabela "Coeficiente de Dilatação Linear - Espias Aço"

Tabela Apoio		21a Multiplicador Carga de Rotura Cabos Homogêneos Alumínio/Liga		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B 231 127	0	20000	89	
ASTM B 231 19	0	20000	93	
ASTM B 231 37	0	20000	91	
ASTM B 231 61	0	20000	90	
ASTM B 231 7	0	20000	96	
ASTM B 231 91	0	20000	89	
ASTM B 399 19	0	20000	93	
ASTM B 399 37	0	20000	91	
ASTM B 399 61	0	20000	90	
ASTM B 399 7	0	20000	96	
EN 50182 127	0	20000	100	
EN 50182 19	0	20000	100	
EN 50182 37	0	20000	100	
EN 50182 61	0	20000	100	
EN 50182 7	0	20000	100	
EN 50182 91	0	20000	100	

Figura B.12 - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura Cabos Homogêneos Alumínio/Liga"

Tabela Apoio		22a Multiplicador Carga de Rutura - Espias ACS		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B-416 19	0	20000	90	
ASTM B-416 3	0	20000	95	
ASTM B-416 37	0	20000	90	
ASTM B-416 7	0	20000	90	
EN 50182 19	0	20000	100	
EN 50182 3	0	20000	100	
EN 50182 37	0	20000	100	
EN 50182 7	0	20000	100	

Figura B.13 - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura - Espias ACS"

Tabela Apoio		22b Multiplicador Carga de Rutura - Espias Aço		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM A 475	0	20000	100	
ASTM A-363	0	20000	100	
EN 50182	0	20000	100	

Figura B.14 - Tabela "Multiplicador Carga de Rutura - Espias Aço"

Tabela Apoio		79 Calor Específico		
Chave	Desde	Até	Resultado	
2.690	0	10	0,215875	
2.700	0	10	0,215875	
2.703	0	10	0,220866	
2.705	0	10	0,220866	
6.590	0	10	0,136355	
7.780	0	10	0,109848	

Figura B.15 - Tabela "Calor Específico"

Tabela Apoio : 80		Coeficiente de Temperatura de Resistência		
Chave	Desde	Até	Resultado	
2.690	0	10	309	
2.700	0	10	309	
2.703	0	10	228	
2.705	0	10	228	
6.590	0	10	257,78	
7.780	0	10	202	

Figura B.16 - Tabela "Coeficiente de Temperatura de Resistência"

Tabela Apoio : 81		Relação de Cableamento - Camada(s) Interior(es) - Cabos AAC/AAAC		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B 231 127	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 19	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 37	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 61	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 7	0	20000	-	
ASTM B 231 91	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 127	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 19	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 37	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 61	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 7	0	20000	-	
ASTM B 399 91	0	20000	10 a 16	
EN 50182 127	0	20000	10 a 16	
EN 50182 19	0	20000	10 a 16	
EN 50182 37	0	20000	10 a 16	
EN 50182 61	0	20000	10 a 16	
EN 50182 7	0	20000	-	
EN 50182 91	0	20000	10 a 16	

Figura B.17 - Tabela "Relação de Cableamento - Camada(s) Interior(es) - Cabos AAC/AAAC"

Tabela Apoio : 82		Relação de Cableamento - Camada Exterior - Cabos AAC/AAAC		
Chave	Desde	Até	Resultado	
ASTM B 231 127	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 19	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 37	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 61	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 7	0	20000	10 a 16	
ASTM B 231 91	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 127	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 19	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 37	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 61	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 7	0	20000	10 a 16	
ASTM B 399 91	0	20000	10 a 16	
EN 50182 127	0	20000	10 a 14	
EN 50182 19	0	20000	10 a 14	
EN 50182 37	0	20000	10 a 14	
EN 50182 61	0	20000	10 a 14	
EN 50182 7	0	20000	10 a 14	
EN 50182 91	0	20000	10 a 14	

Figura B.18 - Tabela "Relação de Cableamento - Camada Exterior - Cabos AAC/AAAC"

Tabela Apoio		83			Relação Cableamento Camada Exterior - Espias Aço/ACS	
Chave	Desde	Até	Resultado			
ASTM A 475 19	0	20000	<=16			
ASTM A 475 3	0	20000	14 a 20			
ASTM A 475 37	0	20000	<=16			
ASTM A 475 7	0	20000	<=16			
ASTM A-363 19	0	20000	<=16			
ASTM A-363 3	0	20000	<=16			
ASTM A-363 37	0	20000	<=16			
ASTM A-363 7	0	20000	<=16			
ASTM B-416 19	0	20000	10 a 16			
ASTM B-416 3	0	20000	14 a 20			
ASTM B-416 37	0	20000	10 a 16			
ASTM B-416 7	0	20000	10 a 16			
EN 50182 127	0	20000	10 a 16			
EN 50182 19	0	20000	10 a 16			
EN 50182 3	0	20000	10 a 16			
EN 50182 37	0	20000	10 a 16			
EN 50182 61	0	20000	10 a 16			
EN 50182 7	0	20000	10 a 16			
EN 50182 91	0	20000	10 a 16			

Figura B.19 - Tabela "Relação de Cableamento - Camada Exterior - Espias Aço/ACS"

Tabela Apoio		85			Resistividade Máxima a 20°C do Aço	
Chave	Desde	Até	Resultado			
ASTM B-498	0	10	0,19157			
EN 50189	0	10	0,192			

Figura B.20 - Tabela "Resistividade Máxima a 20°C do Aço"

Tabela Apoio		86			aux_a	
Chave	Desde	Até	Resultado			
AA/AL	0	10	2			
ACS/ST	0	10	1			
Misto (AA/AL+TO)	0	10	6			
Misto (ACS/ST+AA/AL)	0	10	4			
Misto (ACS/ST+TO)	0	10	5			
N/A	0	10	7			
TO	0	10	3			

Figura B.21 - Tabela "aux\_a"

# Anexo C

## Tabelas de texto criadas

Neste anexo, são evidenciadas todas as tabelas de apoio criadas, no âmbito desta dissertação, para auxiliar a metodologia de dimensionamento dos cabos nus.

**Tabela C.3** – Tabela de texto referente à Lubrificação do Condutor

<b>Condutor Lubrificado</b>
Sim
Não

**Tabela C.4** – Tabela de texto referente ao Tipo de Lubrificação do Condutor

<b>Tipo Lubrificação</b>
Caso 1
Caso 2
Caso 3
Caso 4

**Tabela C.5** – Tabela de texto referente ao Sentido de Cableamento da Última Camada

<b>Sentido de Cableamento da Última Camada</b>
Direita (Z)
Esquerda (S)

**Tabela C.6** – Tabela de texto referente ao Material do Tubo

<b>Material do Tubo</b>
Aço
Alumínio
ACS

Tabela C.7 – Tabela de texto referente ao Número de Fibras (ITU-T G.652 D)

<b>Número de Fibras (ITU-T G.652 D)</b>
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
72
76
80
84
88
92
96
100

**Tabela C.8** – Tabela de texto referente ao Número de Fibras (ITU-T G.655 C)

<b>Número de Fibras (ITU-T G.655 C)</b>
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60
64
68
72
76
80
84
88
92
96
100

**Tabela C.9** – Tabela de texto referente ao Tipo de Fibras

<b>Tipo de Fibras</b>
Monomodo
Multimodo

Tabela C.10 – Tabela de texto referente ao Material do Fio Central para cabos O.P.G.W.

Material do Fio Central
ACS/ST
AA/AL
TO

Tabela C.11 – Tabela de texto referente ao Material da 1ª Camada para cabos O.P.G.W.

Material da 1ª Camada
ACS/ST
AA/AL
TO
Misto (ACS/ST+AA/AL)
Misto (ACS/ST+TO)
Misto (AA/AL + TO)
N/A

Tabela C.12 – Tabela de texto referente ao Material da 2ª Camada para cabos O.P.G.W.

Material da 2ª Camada
ACS/ST
AA/AL
TO
Misto (ACS/ST+AA/AL)
Misto (ACS/ST+TO)
Misto (AA/AL + TO)
N/A

Tabela C.13 – Tabela de texto referente ao Material da 3ª Camada para cabos O.P.G.W.

Material da 3ª Camada
ACS/ST
AA/AL
TO
Misto (ACS/ST+AA/AL)
Misto (ACS/ST+TO)
Misto (AA/AL + TO)
N/A

**Tabela C.14** – Tabela de texto referente ao Material da 4ª Camada para cabos O.P.G.W.

---

---

<b>Material da 4ª Camada</b>
ACS/ST
AA/AL
TO
<b>Misto (ACS/ST+AA/AL)</b>
<b>Misto (ACS/ST+TO)</b>
<b>Misto (AA/AL + TO)</b>
N/A

---

---

**Tabela C.15** – Tabela de texto referente ao Material da 5ª Camada para cabos O.P.G.W.

---

---

<b>Material da 5ª Camada</b>
ACS/ST
AA/AL
TO
<b>Misto (ACS/ST+AA/AL)</b>
<b>Misto (ACS/ST+TO)</b>
<b>Misto (AA/AL + TO)</b>
N/A

---

---



## Referências

- [1] *Guia Técnico SOLIDAL - Condutores Elétricos*, S.A. 2007.
- [2] Vera Mónica Quintela da Silva. *Automatização do projeto de linhas elétricas: Criação do modelo matemático para minimização de custos*. 2014.
- [3] João António Santos Costa Verde. *Desenvolvimento de Projeto de Linha Aérea de Alta Tensão - Viabilidade Técnica do Uso de Condutores de Alta Temperatura*. 2016.
- [4] Luís Filipe Soares Rocha. *Projeto de Linha Aérea de Alta Tensão - Estudo sobre a utilização de Cabo de Guarda*. 2014.
- [5] J. Neves dos Santos. *Condutores e Cabos de Energia*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2005.
- [6] José Rui Ferreira. *Linhas de Transmissão - Apontamentos de Sistemas Elétricos de Energia*. 2004.
- [7] Hélder Leite. *Elaboração de Projetos de Linhas Aéreas de Distribuição de Energia - Apontamentos de Redes de Transporte e Distribuição*. 2008/2009.
- [8] Joel da Silva Ramires et al. *Projecto de linha de alta tensão: estudo do comportamento eléctrico*. 2014.
- [9] EDP Distribuição, *Guia de Boas Práticas para a Integração Paisagística de Infraestruturas Técnicas*. (Vol. 2), 2011.
- [10] Filipe João Parada Gonçalves. *Projecto de Execução de Linhas de Média Tensão*. 2011.
- [11] *Electric Losses Due to Skin Effect and Proximity Effect*. 2009. Disponível em <http://ep2000.com/>, acessado a última vez em 18 de Dezembro de 2016.
- [12] René Robert. *Efeito Pelicular*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, (vol. 22, no. 2). Junho 2000.
- [13] *Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas de Alta Tensão (Decreto Regulamentar nº1/92 de 18 de Fevereiro)*.
- [14] Carlos Moreira. *Curto-Circuitos. Apontamentos de Regimes Estacionários de Sistemas Elétricos de Energia*. 2009.
- [15] Disponível em <https://web.fe.up.pt/~ee98096/cabos.htm>, acessado a última vez em 28 de Novembro de 2016.
- [16] “Upgrading overhead lines with high temperature, low sag conductors”. Disponível em <http://alexandria.tue.nl/extra1/afstversl/E/624669.pdf>, acessado a última vez em 31 de Outubro de 2016.
- [17] Nuno Tiago Sousa Tavares. *Condutores Aéreos de elevada capacidade - Avaliação de Up-Rating - Dimensionamento eléctrico e mecânico*. 2013.

[18] Nelson Filipe Oliveira da Silva. Desenvolvimento de Plataforma Computacional para Gestão e Otimização de Especificações Técnicas de Cabos Subterrâneos de Alta Tensão para Transmissão de Energia. 2016.