



FACULDADE DE ENGENHARIA DA FACULDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA E DE
COMPUTADORES

ENERVENTO - ENERGIAS RENOVÁVEIS SA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E COMPUTADORES

PROJECTO E EXPLORAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

Catarino Branco Leite da Silva

Orientadores

Professor Vladimiro Miranda
Eng.º Aurélio Tavares

Julho 2002

47.3)
1/SILc





1	Agradecimentos.....	7
2	Introdução.....	8
3	Objectivo	9
4	Descrição do Trabalho / Estágio.....	9
5	Construção do Parque Eólico da Serra da Amêndoa	10
5.1	Caracterização da área em estudo	10
5.2	Escolha da localização do Parque Eólico.....	11
5.3	Estudos do vento	12
5.3.1	Campanha de medição	15
5.3.2	Instalação e funcionamento da estação meteorológica.....	15
5.3.3	Resultado das medições durante o período de funcionamento em estudo.....	16
5.3.4	Análise de dados	17
5.3.5	Desenvolvimento do cálculo	18
5.3.6	Resultados	19
5.3.7	Tabela de resultados.....	21
5.4	Construção do Parque	22
5.4.1	1ª Fase – Reconhecimento do interesse público.....	23
5.4.2	2ª Fase – Estabelecimento da linha de Média Tensão	24
5.4.2.1	Protocolo.....	25
5.4.3	3ª Fase – Processo de Licença de Obras.....	27
5.5	Memória Descritiva de um Parque Eólico	28
5.5.1	Aspectos técnicos e características dos aerogeradores utilizados no Parque:.....	28
5.5.1.1	Rotor	29
5.5.1.2	Pás.....	30
5.5.1.3	Torre	32
5.5.1.4	Gerador	33
5.5.1.5	Turbinas de Eixo vertical	36
5.5.1.6	Caixa de velocidade.....	37
5.5.1.7	Cabine.....	38
5.5.1.8	Sistema de travagem	39
5.5.2	Painel de controlo e protecção	40
5.5.3	Protecções	41
5.5.4	Circuito de terra do aerogerador.....	43
5.5.5	Compensação da potência reactiva	44
5.5.6	Instalação eléctrica	44
5.5.6.1	Ligações de Média Tensão	44



5.5.6.1.1	Interligação entre a linha aérea de Média Tensão e o Posto de Seccionamento Principal	44
5.5.6.1.2	Interligação entre o Posto de Seccionamento Principal e um Posto de Seccionamento	45
5.5.6.1.3	Interligação do Posto de Seccionamento PS1 e os Postos de Transformação	46
5.5.6.2	Ligações de Baixa Tensão	46
5.5.6.2.1	Interligação entre o PS e PS1	46
5.5.6.2.2	Interligação entre o PS, PS1, PT e os Aerogeradores	47
5.5.6.3	Instalação Eléctrica dos Serviços Auxiliares	47
5.5.7	Postos de Transformação	48
5.5.7.1	Posto de Seccionamento Principal, PS	48
5.5.7.1.1	Aspectos Construtivos	48
5.5.7.1.2	Circuitos de Terra	49
5.5.7.1.3	Disposições Regulamentares	49
5.5.7.1.4	Cela de Saída	50
5.5.7.1.5	Cela de Medida	50
5.5.7.1.6	Cela de Corte Geral	52
5.5.7.1.7	Celas de Chegada	52
5.5.7.1.8	Cela de Protecção para Bateria de Condensadores	53
5.5.7.1.9	Celas de Protecção	53
5.5.7.1.10	Transformador de Potência dos Serviços Auxiliares	54
5.5.7.1.11	Transformador de Potência do Aerogerador A1	54
5.5.7.1.12	Instalação Eléctrica do Posto de Seccionamento	55
5.5.7.1.12.1	QGBT para os Serviços Auxiliares, QGBTSA	55
5.5.7.1.12.2	Quadro de Protecção e Medida, QPM	56
5.5.7.1.12.3	Quadro da Bateria e Carregador, QCC	57
5.5.7.2	Posto de Seccionamento PS1	58
5.5.7.2.1	Aspectos Construtivos	58
5.5.7.2.2	Cela de Interligação	59
5.5.7.2.3	Cela de Chegada	59
5.5.7.2.4	Cela de Protecção	60
5.5.7.2.5	Transformador de Potência	61
5.5.7.2.6	Disposições Regulamentares	61
5.5.7.2.7	Instalação Eléctrica do PS1	61
5.5.7.2.7.1	Quadro Parcial dos Serviços Auxiliares, QPSA1	62
5.5.7.2.7.2	Iluminação	62



5.5.7.2.7.3	Circuitos de Tomadas.....	63
5.5.7.3	Posto de Transformação.....	63
5.5.7.3.1	Protecção	64
5.5.7.3.2	Transformador de Potência.....	64
5.5.7.3.3	Disposições Regulamentares	65
5.5.7.3.4	Instalação Eléctrica do PT.....	65
5.5.7.3.4.1	Quadros Parciais dos Serviços Auxiliares.....	65
5.5.7.3.4.2	Iluminação.....	66
5.5.7.3.4.3	Circuitos de Tomadas.....	66
5.5.8	Rede de Terras	67
5.5.9	Fornecimento de Energia Reactiva	68
5.5.10	Cálculos	68
5.5.10.1	Linha de MT entre o PS e PS1	68
5.6	Memória descritiva e justificativa da subestação 60/15 kV – 15 MVA.....	71
5.6.1	Introdução/Objectivos	71
5.6.2	Especificações técnicas do projecto	72
5.6.2.1	Andar de AT – exterior	72
5.6.2.2	Andar de MT – interior	72
5.6.3	Especificações técnicas dos materiais	73
5.6.3.1	Material de AT.....	73
5.6.3.1.1	Chegada da linha de 60 kV.....	73
5.6.3.1.2	Seccionador de chegada	73
5.6.3.1.3	Disjuntor de 60 kV	73
5.6.3.1.4	Transformador de intensidade	74
5.6.3.1.5	Transformadores de tensão	74
5.6.3.1.6	Descarregadores de sobretensão.....	75
5.6.3.1.7	Ligações entre a aparelhagem.....	75
5.6.3.1.8	Transformador de potência.....	75
5.6.3.2	Material de MT	76
5.6.3.2.1	Ligação da MT do transformador de potência ao Quadro de MT	76
5.6.3.2.1.1	Descarregadores de sobretensão.....	76
5.6.3.2.1.2	Ligação ao Quadro de MT	76
5.6.3.3	Quadro de MT.....	76
5.6.3.3.1	Chegada do transformador de potência	77
5.6.3.3.2	Saídas para os aerogeradores	77
5.6.3.3.3	Cela para os transformador de tensão.....	78
5.6.3.4	Quadro de comando de AT.....	79



5.6.3.4.1	Regulação de tomadas do transformador de potência.....	79
5.6.3.4.2	Sinalizador de alarmes e disparo das protecções.....	79
5.6.3.4.3	Protecções instaladas.....	80
5.6.3.4.3.1	Protecções de máximo de intensidade.....	80
5.6.3.4.3.2	Protecção de tensão.....	80
5.6.3.5	Quadros de Serviços Auxiliares.....	81
5.6.3.5.1	Quadro Geral de Baixa Tensão dos Serviços Auxiliares.....	81
5.6.3.5.2	Quadro de Corrente Contínua, QCC.....	81
5.6.3.6	Interligação entre o Quadro de MT e os PS/PT'S.....	81
5.6.3.7	Encravamentos.....	82
5.6.3.7.1	Entre o Seccionador de Terra e o Seccionador de chegada nos 60 kV...82	
5.6.3.7.2	Entre o Seccionador de chegada e o Disjuntor de 60 kV.....	82
5.6.3.7.3	Actuação das Protecções próprias do Transformador de Potência.....	82
5.6.3.7.4	Celas de MT.....	82
5.6.3.8	Contagem de Energia.....	83
5.6.3.9	Sistemas de Terras da Subestação.....	83
5.6.3.10	Vedação exterior.....	84
5.6.3.11	Material de Segurança.....	84
5.6.4	Dimensionamento.....	85
5.6.4.1	Subestação Eléctrica.....	85
5.6.4.1.1	Critérios Gerais.....	85
5.6.4.1.2	Potência de Transformação.....	85
5.6.4.1.3	Cálculo da Intensidade de Curto-circuito a 60 kV.....	86
5.6.4.1.4	Cálculo dos valores máximos de choque a 60 kV.....	86
5.6.4.1.5	Características da aparelhagem de 60 kV.....	86
5.6.4.1.6	Cálculo dos barramentos de 60 kV.....	87
5.6.4.1.7	Cálculo da Potência e Intensidade de Curto-circuito a 15 kV.....	90
5.6.4.1.8	Cálculo dos valores máximos de choque a 15 kV.....	91
5.6.4.1.9	Cálculo dos barramentos de 15 kV.....	92
5.6.4.1.10	Cálculo da Canalização de Média Tensão a 15 kV.....	95
5.6.4.1.11	Distâncias e Zonas de Protecção.....	98
5.6.4.1.12	Níveis de Isolamentos.....	99
5.6.4.2	Cabina de Distribuição.....	101
5.6.4.2.1	Critérios Gerais.....	101
5.6.4.2.2	Cálculo da Potência e Intensidade de Curto-circuito.....	101
5.6.4.2.3	Cálculo dos valores Máximos de Choque.....	102
5.6.4.2.4	Características da Aparelhagem a 15 kV.....	103



5.6.4.3	Canalização entre a cabina de Distribuição e PT das Unidades Fabris.....	104
5.6.4.3.1	Cálculo da Canalização de Alimentação do PT.....	104
6	Descrição dos trabalhos executados na construção do Parque	106
6.1	Evolução temporal da construção do Parque	106
6.2	Instalação e montagem.....	106
6.2.1	Caminhos de acesso aos aerogeradores dentro do parque eólico	107
6.2.2	Fundações dos aerogeradores.....	107
6.2.3	Plataformas para montagem dos aerogeradores	108
6.2.4	Valas para cabos.....	109
6.2.5	Montagem das cinco torres – Neg-Micon 900 kW	109
6.2.5.1	Preparação da instalação	109
6.2.5.1.1	Verificação das partes da torre	110
6.2.5.1.2	Armazenamento.....	110
6.2.5.1.3	Preparação da torre.....	110
6.2.5.2	Instalação da parte inferior.....	111
6.2.5.3	Betonagem	111
6.2.5.3.1	Preparação	111
6.2.5.3.2	Mistura	112
6.2.5.3.3	Moldação.....	113
6.2.5.3.4	Acabamento.....	113
6.2.5.3.5	Solidificação.....	113
6.2.5.3.6	Inspecção e testes	114
6.2.5.3.6.1	Verificação da densidade	114
6.2.5.3.6.2	Verificação da solidificação	114
6.2.5.4	Betonagem à volta dos pinos de ajustamento	115
6.2.5.5	Ajustamento dos pinos de ancoragem.....	115
6.2.5.5.1	Pré-ajustamento.....	115
6.2.5.6	Ensaio adicionais.....	116
7	Estudos económicos	116
7.1	Investimento.....	116
7.2	Aspectos económicos.....	116
7.2.1	Decisões sobre o tarifário.....	117
7.2.2	Exploração	120
7.2.3	Custo total de investimento.....	120
7.2.3.1	Custos de fabrico dos geradores eólicos	120
7.2.3.2	Custos de preparação do projecto e de infra-estruturas.....	121
7.2.3.3	Custos de operação e manutenção	121



7.2.3.4	Operabilidade do sistema.....	121
7.2.3.5	Tempo de vida.....	121
7.2.3.6	Período de Amortização.....	122
7.2.3.7	Valor médio da velocidade do vento.....	122
7.2.3.8	Custo anualizado de energia produzida com sistemas eólicos.....	123
7.3	Aspectos Gerais.....	123
7.4	Dados.....	123
7.4.1	Metodologia dos <i>cash-flows</i> actualizados.....	124
7.4.2	Implementação.....	124
7.4.3	Investimentos.....	125
7.4.3.1	Aerogeradores.....	125
7.4.3.2	Transporte e Seguro.....	125
7.4.3.3	Torres dos Aerogeradores.....	126
7.4.3.4	Montagem.....	126
7.4.3.5	Central Monitoring System.....	126
7.4.3.6	Telecomunicações.....	126
7.4.3.7	Linha de Média Tensão.....	127
7.4.3.8	Construção Civil.....	127
7.4.3.9	Imprevistos.....	127
7.4.3.10	Capital circulante.....	127
7.4.3.11	Projectos, estudos e supervisão.....	127
7.4.3.12	Juros durante a construção.....	128
7.4.4	Custos e proveitos.....	128
7.4.4.1	Produção.....	128
7.4.4.2	Vendas.....	128
7.4.4.3	Seguros.....	129
7.4.4.4	Manutenção e Operação.....	129
7.4.4.5	Administração.....	129
7.4.4.6	Outros custos.....	129
7.4.5	Controle do Projecto.....	129
8	Conclusão.....	130
9	Bibliografia.....	131



1 Agradecimentos

Tenho a agradecer, em primeiro lugar, aos meus orientadores, Professor Doutor Vladimiro Miranda pelo Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, e ao Engenheiro Electrónico Aurélio Tavares pela empresa Enervento – Energias Renováveis SA, o acompanhamento dedicado, atempado e contínuo a este trabalho/estágio, a toda a disponibilidade demonstrada, bem como toda a informação que me foi facultada para a sua realização. Todos os seus conhecimentos, experiência e, em especial, os seus entusiasmos, contribuíram decisivamente para o meu gosto pelas energias renováveis, tendo sido uma mais valia que me permitiu a estratificação de conhecimentos e me orientou no modo como proceder na construção e exploração de um Parque Eólico.

Desejo ainda expressar a minha gratidão ao Engenheiro Mecânico Rui Vieira de Castro, Presidente da empresa onde estive a estagiar durante o segundo semestre, Engenheiro Civil Rui Junqueira, o qual também me auxiliou em todas as fases da construção civil do Parque Eólico na Serra da Amêndoa, em Mação.



2 Introdução

A Energia Eólica tem se tornado cada vez mais importante, devido ao desenvolvimento tecnológico incrementado pela necessidade de obter energias limpas e renováveis, em substituição das energias fósseis e nuclear.

Ao longo da última década, as energias renováveis, em especial a energia eólica, aumentaram velozmente a sua produção, causando impactos significativos em sectores como a economia, indústria e o ambiente. No final de 1994 a capacidade instalada global de turbinas ligadas à rede era de 3700 MW, dos quais 1700 MW nos EUA e 1650 MW na Europa. Actualmente, os governos incentivam a instalação de energia eólica através de programas activos, contribuindo assim para o crescimento da potência instalada. Organizações, indústria e empresas de serviços assumem, cada vez mais, o seu interesse na energia como um bom investimento e como solução para os problemas energéticos do futuro. Mas o potencial desta energia é variável de país para país, pois a viabilidade económica dos investimentos está muito dependente da distribuição geográfica do potencial eólico.

Uma vertente da energia eólica muito aplicada é a produção de pequenos sistemas eólicos, com sistema de armazenamento de energia em baterias, normalmente de potência inferior a 100 W. Outro aproveitamento muito popular, não relacionado com energia eléctrica, é o sistema mecânico de bombagem, usados no abastecimento de água potável às populações.

Ao longo trabalho, iremos abordar as aplicações tecnológicas, assim como o aspecto económico e ambiental desta forma de energia, limpa e renovável.



3 Objectivo

Este projecto destina-se ao acompanhamento da construção do Parque Eólico da Serra da Amêndoa, que será constituído por cinco aerogeradores, localizados numa área montanhosa situada na região centro de Portugal, no concelho de Mação. Este projecto tem também como objectivo a exploração de parques eólicos.

4 Descrição do Trabalho / Estágio

Este trabalho será dividido em duas partes, uma correspondente à construção do Parque Eólico da Serra da Amêndoa e outra parte referente à exploração do mesmo. Em seguida estão representadas as fases a cumprir durante o estágio:

Fase 1 – Recolha bibliográfica e consolidação de conhecimentos

Fase 2 – Análise das características dos equipamentos em serviço nos parques eólicos da empresa

Fase 3 – Acompanhamento dos processos de instalação de novos parques, incluindo cooperação no projecto e ensaios

Fase 4 – Estudo dos sistemas de monitorização dos parques e sistemas de teledioda

Fase 5 – Análise computacional dos valores telediodados de exploração do parque e desenvolvimento de modelos de exploração

Fase 6 – Estudos económicos sobre o investimento, exploração e decisões sobre o tarifário

Fase 7 – Elaboração do Relatório final



5 Construção do Parque Eólico da Serra da Amêndoa

5.1 Caracterização da área em estudo

O concelho de Mação é caracterizado por uma vasta superfície montanhosa, sendo as altitudes em causa, contudo, moderadas, não ultrapassando os 700 metros.

O relevo encontra-se aberto e desimpedido em quase todas as direcções, sendo necessário caminhar cerca de 4 km para Este para encontrar a primeira elevação de cota superior.

A vegetação da área utilizada é predominantemente rasteira, sendo quase exclusivamente para pastorícia, não se encontram obstáculos ou edificações de monta nas imediações.

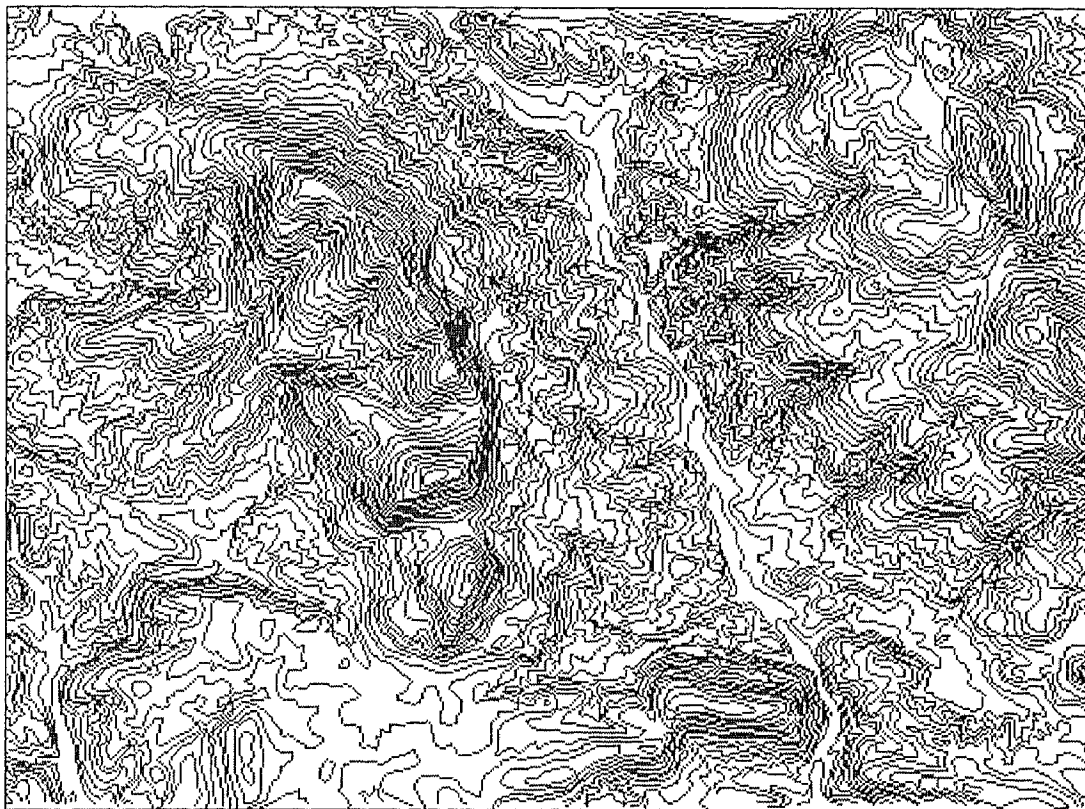


Fig.1 – Digitalização da área em estudo



5.2 Escolha da localização do Parque Eólico

A exploração da energia cinética do vento para produção de electricidade está sujeita a vários condicionalismos relativos à localização dos equipamentos de conversão, nomeadamente, possibilidade de ligação à rede de distribuição de energia eléctrica em condições económicas, disponibilidade de ventos com os regimes e velocidade média que permitam a obtenção de rentabilidade adequada, condições orográficas e morfológicas não perturbadoras.

Numa primeira fase faz-se a identificação do terreno no qual se quer implantar o parque eólico. Esta identificação tem como base o reconhecimento do terreno, se é baldio ou não, a disposição dos ventos e a pertença do terreno. Na observação directa da natureza pode-se idealizar uma possível localização de um parque eólico. a localização de um parque eólico é, provavelmente, o factor mais importante para a economia do projecto.

A natureza do solo é um factor a considerar uma vez que este terá de permitir a realização das fundações para as turbinas. O local deverá ainda permitir o acesso de camiões e/ou guias com o material necessário para a construção do Parque.

A aquisição dos terrenos é feita na Câmara Municipal ou na Junta de freguesia à qual o terreno pertence, caso haja omissão sobre o proprietário do mesmo.

Em seguida, solicitam-se as licenças de estabelecimento e de exploração do parque na Direcção Geral de Energia. A licença de estabelecimento permite iniciar os trabalhos de instalação. Assim que as obras estejam concluídas, o explorador deverá, segundo o Artº.41º e seguintes do Regulamento aprovado pelo Decreto-Lei nº 26852, de 30 de Julho de 1936 e outros, requerer a respectiva vistoria, em carta dirigida ao Director Regional do Ministério da Economia, a fim de ser autorizada a sua exploração.



5.3 Estudos do vento

O estudo do potencial existente no vento é um factor muito importante para a construção de um parque eólico. Isto porque, dá-nos a informação que necessitamos para saber se a sua construção se torna viável ou não.

As características topográficas dos terrenos, os acidentes naturais da paisagem envolvente e obstáculos mais próximos, constituem dados básicos para o cálculo do regime dos ventos em locais não muito distantes das estações meteorológicas. Através das informações geográficas do local posto à prova na área vizinha do ponto de medição, e as suas coordenadas, permitem calcular a velocidade média anual do vento no local. Tendo em consideração as características das máquinas, curva de potência, e o regime dos ventos é possível calcular a produção esperada para cada aerogerador.

A rosa dos ventos permite obter a informação sobre as distribuições de velocidade e frequência da variação das direcções do vento. Esta pode ser desenhada a partir de observações meteorológicas das velocidades e direcções do vento.

O raio de cada uma das fatias exteriores indica a frequência relativa de cada uma das 12 direcções do vento. As fatias intermédias indicam, também, a frequência relativa. Mas neste caso, é necessário multiplicar o raio das fatias pela média da velocidade do vento em cada direcção particular.

Desta forma a observação da rosa dos ventos é extremamente útil para a localização dos aerogeradores. Grande parte da energia do vento vem de uma determinada direcção, assim nestes estudos, convém que a paisagem tenha o menor número de obstáculos. A rugosidade do terreno tem uma grande influência no estudo de um parque eólico, uma vez que está intimamente relacionada com a perda de velocidade do vento, ou seja com o cisalhamento do vento. Assim, quanto mais plano for o terreno e quanto menor for o número de obstáculos, melhor.

As áreas com superfícies muito acidentadas dão origem ao aparecimento de muitas turbulências, com fluxos de ar muito irregulares e remoinhos. As turbulências causam perdas no aproveitamento da energia eólica, uma vez que estas provocam não só o desgaste, como a ruptura da turbina eólica. Desta forma, para diminuir o impacto



causado pelas turbulências colocam-se torres com alturas suficientes, em relação ao solo, para que a utilização da energia eólica se faça da melhor forma possível.

Para evitar perdas da energia do vento, causadas pelas turbulências, colocam-se as turbinas separadas umas das outras com uma distância mínima de três vezes o diâmetro do rotor. Em geral, a separação dos aerogeradores de um parque eólico, é de 5 a 9 diâmetros do rotor na direcção dos ventos dominantes e de 3 a 5 na direcção perpendicular à dos ventos dominantes.

O estudo da velocidade do vento e direcção é feito através de um anemómetro. O anemómetro mais usual é o tipo taça. Este é composto por um eixo vertical, três taças que capturam o vento e por um cata-vento para detectar a direcção do mesmo. O anemómetro deve ser colocado num mastro a uma altura correspondente à futura instalação da turbina eólica. O número de rotações por minuto e a direcção do anemómetro é registado electronicamente. O registo é feito através de um chip electrónico que transmite posteriormente essa informação a um computador.

A velocidade do vento está em constante flutuação, pelo que o conteúdo energético varia continuamente. A amplitude dessas flutuações dependem tanto das condições climáticas como das condições da superfície e dos obstáculos existentes, como mencionado. Normalmente o vento sopra mais durante o dia do que durante a noite. Esta variação deve-se às diferenças de temperatura entre a superfície terrestre e do mar, devido ao facto de serem mais elevadas durante o dia. Isto torna-se vantajoso, na medida em que os consumos de energia são mais elevados durante o dia, e assim as companhias pagam mais durante as horas de picos de carga.

Os modelos eólicos assim como os conteúdos energéticos podem variar de ano para ano, pelo que, torna-se importante obter informações das observações de vários anos para ter-se uma média mais credível.

Um dos melhores locais para a construção de um parque eólico é no cimo das colinas. Estes locais são os mais vantajosos, na medida em que, em termos de paisagem são mais livres na direcção do vento dominante, permitindo assim, velocidades superiores às das áreas circundantes. Isto porque, o vento é comprimido contra a montanha, subindo até ao cimo da colina, e uma vez alcançado o ar pode expandir-se pelo lado sotavento da



colina. Este facto pode tornar-se desvantajoso e no caso da montanha ser muito irregular pode provocar o aparecimento de turbulência no vento.

Os mapas orográficos facilitam o estudo da localização das turbinas, na medida em que indicam a altura relativa do terreno em causa. Para complementar todo o estudo do vento existem, ainda, os mapas energéticos da zona, que permitem obter as curvas de nível do terreno, o mapa topográfico da área e as curvas da intensidade do vento do local.

Em geral, os projectistas de parques eólicos recorrem a medições realizadas durante um ano, e utilizam observações meteorológicas a longo prazo.

A avaliação dos recursos eólicos, do projecto em causa, foi recrutada no INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Este executa uma série de trabalhos de medição, e posterior caracterização, do regime do vento e potencial eólico disponível na área em estudo. Para tal, foi instalada uma estação meteorológica, identificada através de uma referência directa ao marco geodésico mais próximo da respectiva área. Com o intuito de obter melhores resultados, em toda a zona montanhosa, instalou-se outra estação meteorológica.

A estação meteorológica, em causa, é constituída pelo equipamento de medida e registo, e pela respectiva torre de suporte. A torre de suporte tem 40 metros de altura, é metálica, de treliça, e espiada. Quanto ao equipamento fazem parte do conjunto dois anemómetros, dois sensores de direcção ou cata-ventos e um *datalogger*, sistema central de aquisição e registo dos dados em unidades, ou *chips*, de memória. O sistema permite a medição da velocidade e direcção do vento, em intervalos de 2 segundos. Estes registos são armazenados sob a forma de médias de 10 minutos, podendo determinar-se, para cada intervalo, o desvio padrão da velocidade e a rajada máxima, do local em causa. Apesar da estação ser instrumentada com sensores, um par anemómetro/sensor de direcção, a 40 metros acima do nível do solo e outro a 10 metros acima do nível do solo, apenas é determinado o desvio de padrão e a rajada máxima para a maior altura.

Dada a maior altura que os aerogeradores vêm apresentando, é cada vez mais importante a existência de medições de velocidade a duas alturas distintas. Estas permitem avaliar a evolução do perfil vertical de velocidades. Torna-se cada vez mais



importante que através de medições a duas alturas do nível do solo seja possível estimar os valores esperados a alturas superiores a essas.

O perfil vertical de velocidades pode ser expresso da seguinte forma:

$$V_2 = V_1 (h_2 / h_1)^p$$

O expoente p , também designado por *shear factor*, varia com a natureza do terreno. Para terrenos planos, o valor típico de p é de $1/7$, diminuindo com o aumento da complexidade.

A avaliação de recursos eólicos permite, para além das descrições das campanhas de medição e a análise dos seus resultados, a apresentação da distribuição do potencial esperado para a área, como também face a uma informação actual, estudar e analisar as *performances* esperadas para a configuração preliminar de um parque de aerogeradores.

5.3.1 Campanha de medição

As características de sazonalidade, reconhecidamente presentes nos fenómenos de origem climatológica como o vento, sublinham a importância de utilizar dados representativos de, pelo menos, um ciclo anual. Quando os registos obtidos não correspondem aos requisitos temporais desejados, procura-se correlacionar os regimes medidos em ambas as estações meteorológicas através de uma metodologia desenvolvida especificamente para o estudo dos ventos, MCP – *Measure-Correlate-Predict*.

5.3.2 Instalação e funcionamento da estação meteorológica

A estação meteorológica encontra-se situada nas proximidades do marco geodésico de Codes, a 600 metros acima do nível do mar.

Devido ao facto do aparecimento de problemas no funcionamento da estação meteorológica, mais concretamente avaria no *datalogger* e, passado algum tempo, no anemómetro que se encontra instalado a 40 metros acima do nível do solo, foi necessário ter todo o cuidado na análise dos seus resultados.



Os registos em falta que se verificam, por mero acaso, no período em que os valores do potencial se encontram mais elevados, foram possíveis de completar, graças à correlação que se efectuou com o auxílio das medições de velocidade correspondentes às duas alturas.

5.3.3 Resultado das medições durante o período de funcionamento em estudo

Mês	Jan - 01	Fev - 01	Mar - 01	Abr - 01	Mai - 01	Jun - 01	Global semestre
Dias válidos	29	8	10	27	0	30	104
Velocidade média - 40 m [m/s]	9.4	8.1	8.2	7.8	-	7.5	8.2
Potência [W/m ²]	744	605	463	418	-	394	523
A [m/s]	10.3	9.4	9.2	8.8	-	8.6	9.3
K	2.46	2.21	3.13	3.08	-	2.88	2.69
Desvio padrão [m/s]	0.97	0.85	0.90	0.83	-	0.76	0.86
Int. turb. (% $v > 5$ m/s)	190	9.9	10.8	10.1	-	9.6	10.0
Velocidade máxima [m/s]	20.1	16.8	18.1	17.3	-	17.1	20.1
Rajada máxima [m/s]	28	25	23	21	-	24	28
Velocidade média - 10 m [m/s]	7.6	6.5	6.6	6.5	-	6.2	6.7

Tab1 - Resultado das medições no primeiro semestre de funcionamento

Mês	Jul - 01	Ago - 01	Set - 01	Out - 01	Nov - 01	Dez - 01	Global semestre	Global Ano
Dias válidos	31	25	29	30	30	31	176	280
Velocidade média - 40 m [m/s]	8.5	6.5	6.0	7.2	8.4	9.2	7.7	7.9
Potência [W/m ²]	394	541	289	362	590	834	483	498
A [m/s]	9.7	7.4	6.9	7.9	9.5	10.03	8.7	9.0
K	3.25	2.30	2.52	2.24	2.39	2.12	2.23	2.41
Desvio padrão [m/s]	0.91	0.71	0.69	-	-	0.94	0.63	0.72
Int. turb. (% $v > 5$ m/s)	10.5	10.0	9.8	-	-	10.3	8.2	8.9
Velocidade máxima [m/s]	18.4	15.1	15.3	20	23	21.8	23.0	23.0
Rajada máxima [m/s]	21	17	21	-	-	26	26	28
Velocidade média - 10 m [m/s]	7.2	5.5	5.1	5.7	7.2	7.5	6.4	6.5

Tab.2 - Resultado das medições no segundo semestre de funcionamento

Os valores que se encontram a cinzento são valores obtidos com o auxílio de correlações entre os valores a 10 e a 40 metros acima do nível do solo.

Através dos dados de vento registados é possível obter os seguintes gráficos:

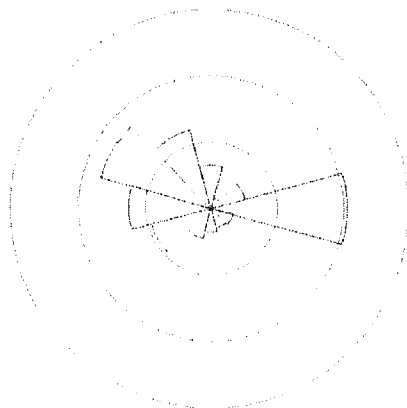


Fig.2 – Distribuição de frequências

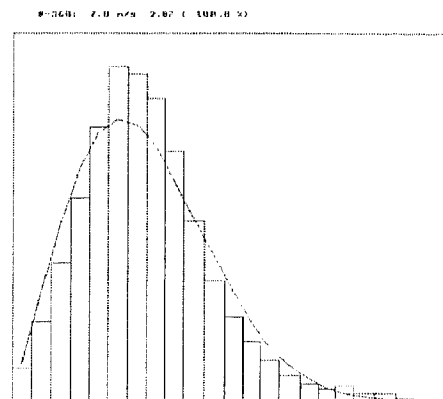


Fig.3 – Distribuição de Weibull

5.3.4 Análise de dados

Na análise dos dados verifica-se que a velocidade média global anual para os 40 metros de altura é de 7,9 m/s. Apesar do baixo número de registos, devido ao facto das avarias verificadas durante o período em estudo, pode-se afirmar que este valor é bastante abonatório para o local onde se encontrará o aproveitamento eólico. Como se pode verificar as falhas estão mais ou menos repartidas pelos meses de Verão e Inverno, assim as contribuições para o potencial médio anual consideram-se de uma forma geral equilibradas.

Segundo o resultado das medições verifica-se que o período de Inverno corresponde aos valores com maior potencial. Considerando a avaliação de recursos eólicos feita pelo INEGI, este Inverno foi um dos mais ventosos de que a instituição teve conhecimento.



5.3.5 Desenvolvimento do cálculo

Inicialmente estima-se a produção das máquinas, que irão ser implantadas no Parque, para duas alturas de eixo. Neste estudo, prevê-se que a máquina a instalar terá 900 kW de potência unitária e 52 m de diâmetro de rotor.

Tendo como referência a máquina a utilizar selecciona-se a curva de potência correspondente à mesma. Esta curva depende da densidade média do ar no local, em função da altura e das temperaturas médias.

Em seguida, encontram-se os valores da curva de potência da máquina de 900 kW para uma densidade de $1,225 \text{ kg/m}^3$. Esta curva é introduzida no programa *Park*, com alterações em diversos parâmetros necessários para que esta se encontre à densidade real do local.

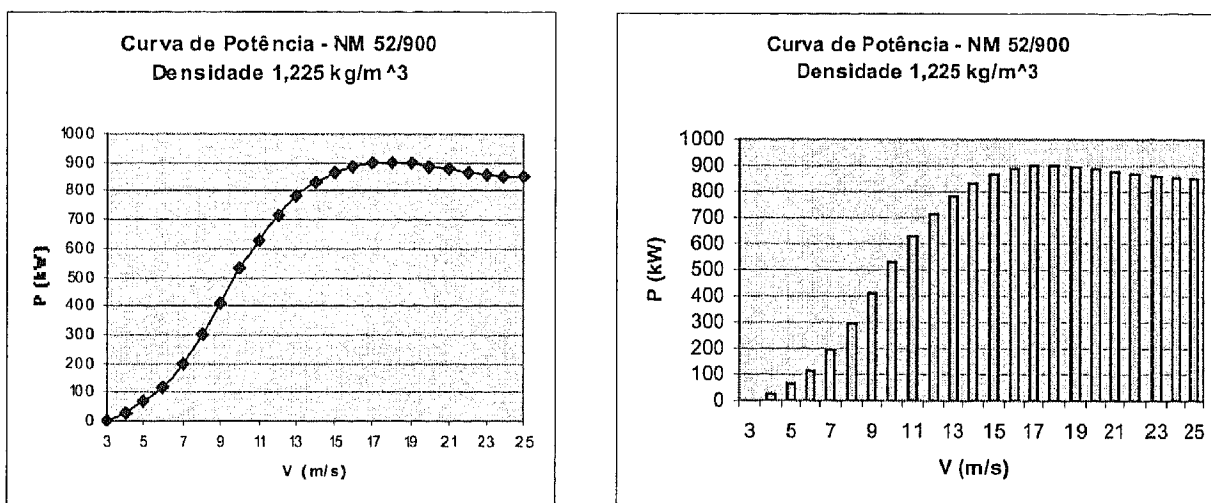


Fig.4 – Curvas de Potência – NM 52/900



V (m/s)	P (kW)
3	0
4	26
5	66
6	115
7	194
8	296
9	410
10	530
11	628
12	713
13	782
14	832
15	866
16	887
17	899
18	900
19	895
20	887
21	877
22	867
23	859
24	853
25	849
>25	0

Tab.3 – Curva de Potência

 $d=1,225 \text{ kg/m}^3$

5.3.6 Resultados

Considerando uma distância mínima entre os aerogeradores de 150 m, calcula-se a produção obtida no Parque, para o caso em estudo, instalação de cinco aerogeradores. Na análise dos resultados obteve-se a melhor localização para os aerogeradores e a produção para cada um dos casos estudados, como se pode verificar na figura que se segue:

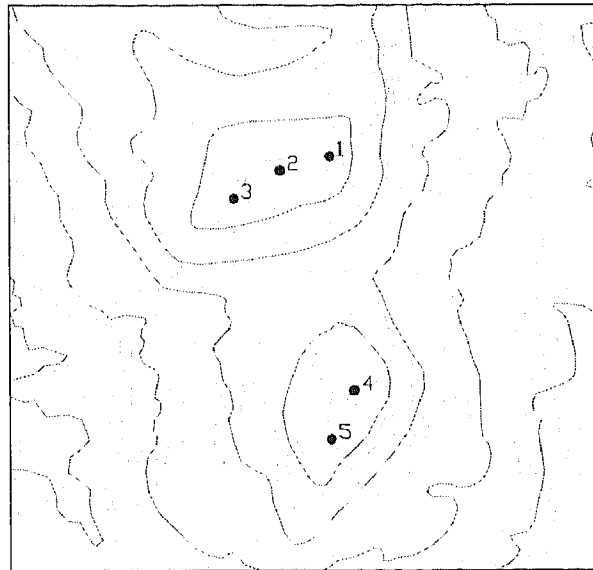


Fig.5 – Localização no mapa de curvas de nível dos diferentes aerogeradores

Devido à topografia do terreno e razões de ordem técnica colocaram-se três aerogeradores num monte e os outros dois noutra monte. A distância entre estes dois montes é cerca de 600 metros.

Em função dos resultados obtidos escolheu-se a seguinte máquina:

- Máquinas de 900 kW
- 5 Aerogeradores
- Potência instalada – 4,5 MW

A melhor opção será, então, a máquina de 900 kW. A partir desta considera-se uma produção líquida global para as cinco máquinas de 900 kW cerca de 11.000.000 kWh/ano. Em seguida apresenta-se a figura relativa ao histograma das velocidades de vento durante o período em estudo:

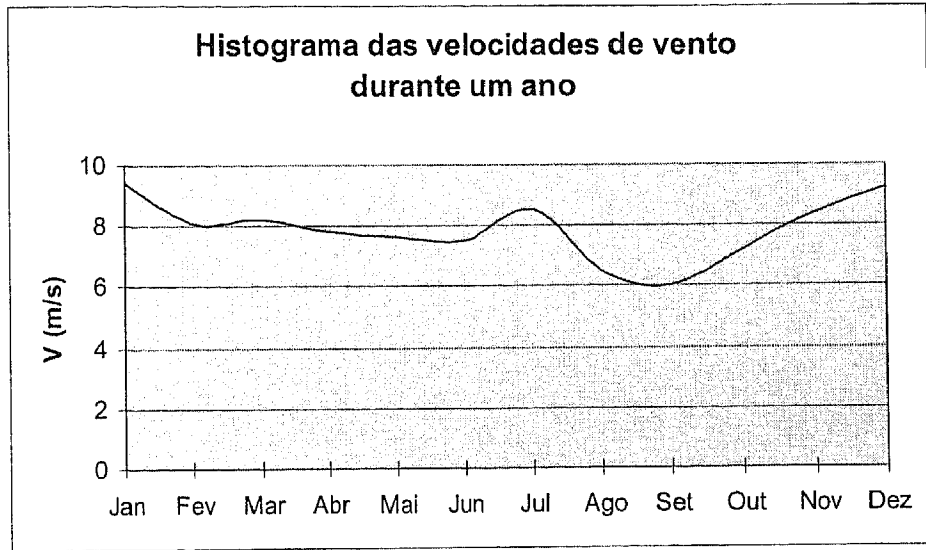


Fig.6 – Histograma das velocidades de vento durante um ano

5.3.7 Tabela de resultados

Máquina	NM 52/900	
	10 m	40 m
Altura de cálculo	10 m	40 m
Produção MWh/ano (<i>free</i>)	16000	16100
Produção MWh/ano (<i>park</i>)	15500	15600
Eficiência	0,98	0,98
Produção média por aerogerador	2600	2700
Horas equivalentes de funcionamento	3200	3220

Tab.4 – Tabela de resultados da máquina NM 52/900

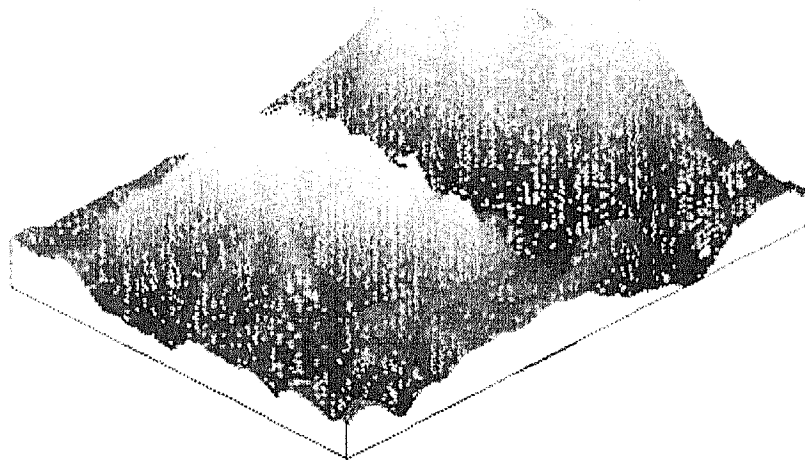


Fig.7 – Localização dos aerogeradores no terreno a três dimensões

5.4 Construção do Parque

O Parque Eólico a instalar na Serra da Amêndoa, no concelho de Mação, será constituído por cinco aerogeradores. Estes serão equipados com motores assíncronos, tendo cada um, uma potência nominal de 900 kW. A potência total a instalar no Parque é de 4,5 MW.

Existirá um Posto de recepção/seccionamento, no qual serão instalados os equipamentos de corte, protecção, medida e controle do parque. Na saída serão instalados os equipamentos de protecção dos alimentadores que irão efectuar a ligação entre o Posto de Recepção e cada um dos aerogeradores, e entre o Posto de Recepção e o Posto de Seccionamento correspondente ao primeiro aerogerador.

Na proximidade de cada aerogerador será instalado um Posto de transformação de 1000 kVA. Este tem a função de transformar a tensão gerada no aerogerador, 690 V, para o nível de tensão de interligação do Parque com a rede de transporte de energia eléctrica.

A rede de Média tensão a instalar no interior do Parque é do tipo subterrâneo. Os cabos a utilizar serão de cobre ou alumínio, devidamente normalizados.



No Parque será, ainda, instalada uma rede de terras que interligará as fundações dos aerogeradores e todas as partes metálicas dos diferentes circuitos que fazem parte do mesmo.

A construção de um parque eólico efectua-se inclui inicialmente três fases distintas. Numa primeira fase faz-se o reconhecimento do interesse público da construção do parque eólico. A segunda fase corresponde ao estabelecimento da linha MT. O processo de licenciamento de obras efectua-se numa terceira fase.

5.4.1 1ª Fase – Reconhecimento do interesse público

O reconhecimento do interesse público consiste no pedido de licenciamento ao Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. Este tem como finalidade a avaliação do impacte ambiental e da reserva ecológica nacional, em conformidade com o Despacho do Ministro do Ambiente e do Ordenamento do Território n.º 11091/2001 (2ª série), publicado no Diário da República de 25 de Maio de 2001. Neste caso, o despacho de reconhecimento do interesse público da construção do parque eólico deverá ter o parecer favorável das Direcções Regionais do Ambiente e do Ordenamento do Território (DRAOT) para que os pedidos sejam posteriormente aprovados pelas entidades competentes, nomeadamente a Direcção Geral de Energia e EDP - Distribuição de Energia SA.. As DRAOT devem obrigatoriamente analisar a viabilidade do empreendimento à luz do enquadramento nos instrumentos de gestão territorial em vigor. Tendo em conta o regime jurídico da REN e as normas orientadoras para a instrução do processo, esta Direcção Regional deverá indicar, caso existam, todos os inconvenientes na pretensão, incluindo medidas de minimização dos impactes negativos resultantes da execução do empreendimento.

A Direcção Regional do Ambiente e do Ordenamento do Território emitirá uma certidão ao proprietário quando todos os requisitos forem preenchidos.



5.4.2 2ª Fase – Estabelecimento da linha de Média Tensão

Os aerogeradores têm que ser ligados à rede eléctrica e para isso é necessário colocar uma linha de alta tensão relativamente perto. Isto para que o preço da interligação não seja um factor proibitivo da construção do Parque. Por vezes surge a necessidade de se fazer um reforço na linha existente.

A linha de Média Tensão irá interligar o Posto de Seccionamento do Parque Eólico a instalar na Serra da Amêndoa com o Posto de Transformação situado o mais próximo do Parque em causa.

O estabelecimento da linha de MT, para o posto de transformação do Parque eólico, é da responsabilidade da EDP Distribuição Energia SA.. A esta cabe o estudo dos cortes que serão necessários efectuar para o estabelecimento da faixa de protecção à instalação do Parque em causa.

Os prejuízos causados durante os trabalhos de construção da linha estarão a cargo dos proprietários do referido Parque. Ter-se-á ainda, que ter em conta outros prejuízos resultantes de danos provocados, só possíveis de avaliar com o decorrer da construção da linha.

A EDP terá que atribuir um termo de responsabilidade a um técnico devidamente qualificado, para garantir, desta forma, que as instalações sejam devidamente ligadas à rede pública que as alimentará. Este técnico deverá fiscalizar todo o processo de construção da linha de interligação. No caso dos proprietários do Parque decidirem proceder à construção e fiscalização da linha de interligação, estes deverão prestar tal informação à EDP Distribuição Energia SA., acompanhada de cronograma de execução, por forma a poderem ser executadas as tarefas de responsabilidade do Gestor da Rede Pública (Tarefas Mínimas).

As negociações com proprietários para o acordo de passagem da linha serão da responsabilidade da EDP. Por vezes, há necessidade de se fazerem alterações no projecto devido ao facto dos proprietários se oporem à passagem da mesma.

A EDP permite a consulta ao mercado para a execução de infra-estruturas eléctricas da linha de MT, para o posto de transformação do Parque ao qual este pertence.



Esta disponibiliza uma lista de Empreiteiros Credenciados aos quais se pode recorrer para o estabelecimento da mesma, assim como o Regulamento para a execução da obra e Protocolo a estabelecer.

Nesta fase dever-se-á consultar o Regulamento Normativo para o Estabelecimento de Infra-estruturas de Energia Eléctrica Promovidas por Particulares.

5.4.2.1 Protocolo

O protocolo tem como objectivo o acordo entre a EDP – Distribuição e a entidade promotora, neste caso a Enervento – Energias Renováveis, SA. Estas entidades, entre si, chegam a um consenso para as condições de estabelecimento de infra-estruturas eléctricas da Linha a 30 kV para o Posto de Transformação do Parque Eólico.

O protocolo obriga a entidade promotora, no caso de transmissão de propriedade, venda, cedência, ou outra, a dar conhecimento aos futuros proprietários das condições estabelecidas no mesmo, para estabelecimento das infra-estruturas eléctricas e demais compromissos assumidos.

As infra-estruturas eléctricas deverão ser estabelecidas de acordo com o “Regulamento Normativo para o Estabelecimento de Infra-estruturas de Energia Eléctrica em Novas Urbanizações Promovidas por Particulares”. Este Regulamento será anexado ao referente protocolo.

O estabelecimento das infra-estruturas é da responsabilidade do promotor. Este só poderá dar início aos trabalhos de estabelecimento assim que estejam estabelecidas as garantias financeiras necessárias a favor da EDP. Deverá ser entregue à EDP um Termo de Responsabilidade pela execução das infra-estruturas. Após a comunicação antecipada da data de início dos trabalhos, e de todos os requisitos acima referidos, é que se pode dar início aos trabalhos de estabelecimento.

O acompanhamento e a fiscalização dos materiais e dos trabalhos será feita por um técnico nomeado pela EDP para o efeito. O promotor deverá ser informado pela EDP do nome do técnico seleccionado para o acompanhamento e a fiscalização da qualidade dos materiais e dos trabalhos.



O promotor é obrigado a garantir que a firma adjudicatária dos trabalhos cumpra toda a Regulamentação e demais Legislação em vigor. O promotor deve, ainda, garantir todas as exigências técnicas que os serviços de fiscalização considerem como necessárias para garantir a boa qualidade da obra.

O estabelecimento das infra-estruturas deverá estar concluído no prazo global de 60 dias, contados a partir da data da consignação dos trabalhos.

No caso de ser necessário efectuar alguma alteração no prazo de conclusão do estabelecimento de infra-estruturas, esta só poderá ser aceite após a actualização dos valores das garantias financeiras a definir pela EDP.

A EDP poderá accionar as garantias financeiras e substituir-se à entidade promotora na execução dos trabalhos, nas seguintes condições:

- Falta de qualidade dos materiais, das técnicas de montagem ou dos trabalhos de uma forma geral;
- Existência de situações que ponham em risco a segurança das pessoas e/ou bens;
- Não cumprimentos do prazo de execução;
- Por impedimento ou abandono das obras;
- Incumprimento do estipulado no presente protocolo;
- Outras situações em que se verifique dolo ou má fé do promotor.

A EDP, mesmo que tenha accionado as garantias financeiras, só poderá retomar o estabelecimento das infra-estruturas se, no local, estiverem criadas as condições técnicas para o efeito, nomeadamente, ruas abertas, lancis colocados e passeios definidos.

A entrega das Infra-estruturas Eléctricas à EDP será efectuada mediante um Auto de Entrega no qual são evidenciadas as quantidades físicas que constituem as infra-estruturas bem como as respectivas valorizações.

A aceitação, por parte da EDP, do Auto de Entrega corresponde à recepção provisória das infra-estruturas eléctricas do ramal de MT e do PST (antes da entrada em serviço), nestas circunstâncias serão libertados 90% das garantias financeiras.



Os Autos de Entrega poderão ser parciais seguindo-se contudo o especificado nos dois parágrafos anteriores.

A recepção Definitiva decorrerá um ano após a Recepção Provisória. Com a Recepção Definitiva serão libertadas as garantias financeiras, desde que se verifique um bom funcionamento das condições técnicas das instalações. São da inteira responsabilidade da entidade promotora todos os danos, directos e/ou indirectos, causados na sequência do estabelecimento das infra-estruturas.

As infra-estruturas eléctricas do ramal de MT não poderão entrar em serviço, sem que esteja entregue e aceite o Auto de Entrega respectivo.

5.4.3 3ª Fase – Processo de Licença de Obras



5.5 Memória Descritiva de um Parque Eólico

Num projecto de instalação eléctrica de um parque eólico deverá ser feita uma memória descritiva e justificativa que será entregue à Direcção Geral de Energia, para aprovação.

Esta memória descritiva diz respeito à instalação eléctrica de média e baixa tensão do Parque, que se destina à produção autónoma de energia. Este processo implica a passagem pelas seguintes etapas: transformação da energia cinética do vento transformada no aerogerador em energia mecânica e esta, por sua vez, em energia eléctrica. Este Parque será constituído por cinco aerogeradores de 900 kW, que corresponde a 4500 kW instalados no total, dois postos de transformação de 1250 VA e três postos de seccionamento, sendo um principal e dois secundários. Cada um dos postos de seccionamento é constituído por um transformador de elevação de tensão de 1250 kVA. A injeção na rede será feita por este transformador elevador, que tem a função de elevar a tensão recolhida nos terminais do alternador para o nível dos 690 Vac a 50 Hz, do valor da rede a 30 kV. A interligação do Parque à rede será efectuada através de uma linha aérea de média tensão, de 60 kV. O ponto de ligação à rede será feito à tensão nominal de 30 kV. O regime do neutro a utilizar é o de neutro isolado do lado da rede.

5.5.1 Aspectos técnicos e características dos aerogeradores utilizados no Parque:

A figura 8 mostra os principais componentes de um aerogerador do tipo mais comum, isto é, de eixo horizontal e directamente ligada à rede eléctrica. Os aerogeradores que serão utilizados no Parque serão deste tipo.

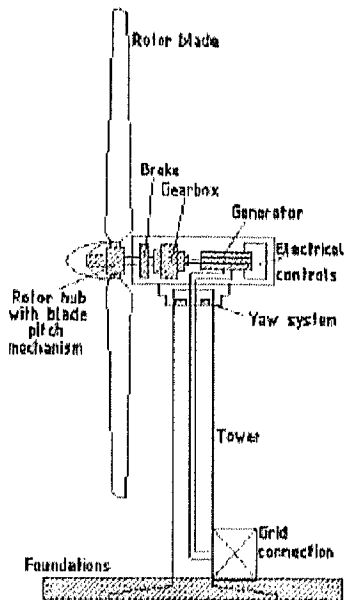


Fig.8 – Esquema dos principais componentes de um aerogerador

Como se pode verificar na figura acima a turbina divide-se, basicamente em três partes:

- Rotor
- Cabina
- Torre

Em seguida apresentam-se as partes onstituintes de um aerogerador.

5.5.1.1 Rotor

O rotor é colocado no topo da torre. Este é auto-regulado e de alta eficiência, sendo o impacte do torque, quer na torre quer nas fundações minimizado.

O eixo de rotor está ligado à haste de baixa rotação da turbina eólica. A haste de baixa rotação da turbina liga com o eixo do rotor à caixa multiplicadora ou de velocidade.



Neste aerogerador de 900 kW o rotor gira a uma velocidade relativamente lenta, cerca de 15 a 22,5 r.p.m..

Em relação à superfície de ataque do vento incidente nas pás, o rotor pode ser colocado a montante (barlavento; upwind) ou a jusante (sotavento; downwind) da torre. A opção de colocar o rotor a montante, em que o vento ataca as pás pelo lado da frente, generalizou-se devido ao facto de o vento incidente não ser perturbado pela torre. A opção de colocar o rotor a jusante, em que o vento ataca as pás pelo lado de trás, permite o auto alinhamento do rotor na direcção do vento, mas tem vindo a ser progressivamente abandonada, pois o escoamento é perturbado pela torre antes de incidir no rotor.

O cubo do rotor, local de fixação das pás, deve ter espaço suficiente para baloiçar, ou seja, deve apresentar um ângulo de inclinação relativamente à vertical, de forma a acomodar os desequilíbrios resultantes da passagem das pás em frente à torre. Esta questão assume relevância acrescida no desenho do rotor de duas pás.

A vida útil do rotor está relacionada com os esforços a que fica sujeito e com as condições ambientais em que se insere.

5.5.1.2 Pás

As pás do rotor capturam o vento transferindo a energia ao eixo do rotor. O seu design foi estudado tendo em consideração o maior proveito de energia que se pode tirar através destas. O projecto das pás do rotor, no qual a forma da pá e o ângulo de ataque em relação à direcção do vento têm uma influência determinante, beneficiou do conhecimento da tecnologia das asas dos aviões, que apresentam um funcionamento semelhante.

Define-se solidez como sendo a razão entre a área total das pás e a área varrida pelas mesmas. Se o diâmetro e a solidez das pás forem mantidos constantes, o rendimento aumenta com o número de pás. Isto acontece porque diminuem as chamadas perdas de extremidade.

O acréscimo na energia capturada do vento está estimado em cerca de 3 a 5% quando se passa de duas para três pás, mas esta percentagem vai-se tornando



progressivamente menor à medida que se aumenta o número de pás. Por esta razão a grande maioria das turbinas em operação apresentam rotores com três pás, muito embora a solução com duas pás configure benefícios relacionados com a diminuição de peso e de custo.

Os rotores de uma só pá foram objecto de investigação, tendo sido construídos alguns protótipos; contudo não conheceram desenvolvimento comercial, dada a sua natureza inerentemente desequilibrada.

A selecção dos materiais usados na construção das pás das turbinas é uma operação delicada, a sua escolha faz-se entre a madeira, os compostos sintéticos e os metais.

A madeira é o material de fabrico de pás de pequena dimensão, da ordem de 5 m de comprimento. Mais recentemente, a madeira passou a ser empregue em técnicas avançadas de fabrico de materiais de compósitos de madeira laminada. Actualmente há alguns fabricantes a usar estes materiais em turbinas de 40 m de diâmetro.

Os compostos sintéticos constituem os materiais mais usados nas pás das turbinas eólicas, nomeadamente, plásticos reforçados com fibra de vidro. Estes materiais são relativamente baratos, robustos, resistem bem à fadiga, mas, principalmente, são facilmente moldáveis, o que é uma vantagem na fase de fabrico. Sob o ponto de vista das propriedades mecânicas, as fibras de carbono constituem a melhor opção. Contudo, o seu preço elevado é ainda um obstáculo que se opõe a uma maior difusão.

No grupo dos metais, o aço tem sido usado, principalmente nas turbinas de maiores dimensões. Contudo, é um material denso, o que o torna pesado. Em alternativa alguns fabricantes optaram por ligas de alumínio que apresentam melhores propriedades mecânicas, mas tem a desvantagem de a sua resistência à fadiga se deteriorar rapidamente. A tendência actual aponta para o desenvolvimento na direcção de novos materiais compósitos híbridos, por forma a tirar partido das melhores características de cada um dos componentes, designadamente sob o ponto de vista do peso, robustez e resistência à fadiga.



Cada aerogerador, do Parque, será equipado com três pás auto-suportadas, construídas em fibras de vidro reforçada a *poliester*, do tipo LM 25,5. A área varrida pelas pás é cerca de 2140 m², com um diâmetro de 52 m.

5.5.1.3 Torre

A torre suporta a cabine, *nacelle*, e eleva o rotor a uma cota em que a velocidade do vento é maior e menos perturbada, do que junto ao solo.

Hoje em dia as torres podem ter até 70 m de altura, pelo que a estrutura tem de ser dimensionada para suportar cargas significativas, bem como para resistir a uma exposição em condições naturais ao longo da sua vida útil, estimada em cerca de vinte anos.

Existem dois tipos de torres: tubulares e entrelaçadas.

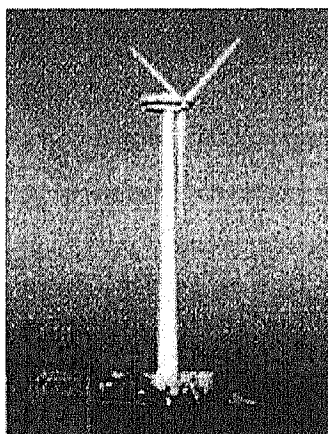


Figura 9: Torre tubular

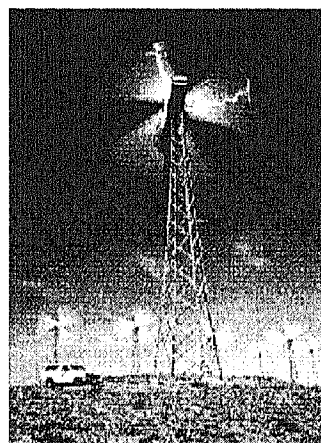


Figura 10: Torre entrelaçada

No fabrico das torres tubulares utiliza-se aço ou betão, sendo, normalmente os diversos troços fixados no local com uma grua. Estas torres são mais seguras para o pessoal da manutenção, que pode usar uma escada interior para aceder à plataforma da cabine.

As torres entrelaçadas são mais baratas, as fundações são mais ligeiras e o efeito de sombra da torre é atenuado; contudo, têm vindo a ser progressivamente abandonadas.



A torre é suportada por um maciço que será executado em betão armado da classe B 30 e A 400. A torre é do tipo cónica, constituída por dezasseis elementos, em construção soldada e dividida em duas secções, devidamente galvanizadas a quente, no interior das quais existirá uma escada de acesso à cabine e à plataforma de serviço. Na base desta, ficará instalado o painel de controlo, protegido por uma porta equipada com fechadura de alta segurança, de forma a permitir a entrada apenas de pessoal especializado.

5.5.1.4 Gerador

O gerador converte a energia mecânica disponível no veio de alta rotação em energia eléctrica. Para converter a energia mecânica disponível no veio em energia eléctrica, a opção básica consiste em usar o gerador síncrono, alternador; ou o assíncrono, de indução.

O gerador assíncrono torna a ligação mais flexível, permitida pelo escorregamento. Esta característica tem levado a maior parte dos fabricantes a escolhê-lo como equipamento de conversão mecano-eléctrica. O gerador síncrono tem como característica uma ligação rígida que não se adapta às variações do vento, pelo que este conversor só é praticamente usado em sistemas de velocidade constante.

O gerador utilizado no Parque é do tipo ELIN ou equivalente, assíncrono, com as seguintes características:

Potência nominal: 900 kW

Velocidade: 1500 r.p.m.

Tensão: 400 V

Frequência: 50 Hz

Protecção: IP 54

Classe de isolamento: classe F

Quando a apropriação da energia eólica é conduzida de maneira a que a exploração se faça a velocidade praticamente constante, o gerador de indução é a opção



mais usada pelos fabricantes, tirando partido da sua grande simplicidade e robustez, e, conseqüentemente, do seu baixo preço.

A existência de um escorregamento entre a velocidade de rotação e a velocidade de sincronismo permite acomodar parte da turbulência associada ao vento, de modo a tornar a operação deste tipo de máquinas suficientemente suave. Ao contrário, o funcionamento síncrono do alternador não deixa margem para acolher as flutuações da velocidade do vento, tornando a operação dos geradores síncronos demasiado rígida.

Como principal desvantagem do gerador de indução aponta-se o facto de trocar com a rede a energia reactiva de excitação e, portanto, necessitar de equipamento adicional para corrigir o factor de potência.

Os sistemas de conversão de energia eólica funcionando a velocidade aproximadamente constante equipados com geradores de indução directamente ligados a uma rede de frequência constante, correspondem ao chamado "conceito dinamarquês" e constituem a extensa maioria das aplicações actualmente em operação.

Nos últimos anos, o conceito dinamarquês tem vindo a sofrer alguns melhoramentos relativamente à sua formulação original, com o objectivo de maximizar o aproveitamento da energia eólica.

Para alargar o espectro de velocidades de rotação possíveis, alguns fabricantes dinamarqueses oferecem actualmente como equipamento *standard*, sistemas conversores equipados com gerador de indução de rotor bobinado e escorregamento variável.

Outros fabricantes optaram por dois geradores de indução, um de menor potência optimizado para funcionar a baixas velocidades do vento, e outro, mais potente, operando quando a velocidade do vento assume valores mais elevados. Para atingir o mesmo objectivo, estão também disponíveis no mercado montagens com um gerador de indução que pode funcionar, alternativamente, acoplado a rotores com diferentes pares de pólos.

Entretanto, o conceito tipicamente alemão de velocidade variável tem vindo a afirmar-se como uma alternativa cada vez mais credível aos sistemas de velocidade constante.



A configuração típica dos sistemas de velocidade variável, VSCF – *Variable Speed Constant Frequency*, consiste num gerador síncrono ligado assincronamente à rede eléctrica através de um conjunto rectificador/inversor.

A utilização de um tipo especial de gerador síncrono, com um número elevado de pares de pólos, permite ao gerador acompanhar a velocidade de rotação da turbina, tornando a caixa de velocidades dispensável.

A ligação assíncrona isola a frequência do rotor da frequência da rede, oferecendo, por isso, a possibilidade de o sistema funcionar de forma consistente em pontos de operação próximos do valor óptimo de TSR – *Tip Speed Ratio*. Por outro lado, a utilização de modernos conversores electrónicos de potência funcionando com IGBT permite controlar simultaneamente os trânsitos de energia activa e reactiva.

Os benefícios dos sistemas VSCF, *Variable Speed Constant Frequency*, incluem:

- aumento da produção de energia;
- redução das fadigas nos componentes mecânicos;
- redução do ruído a baixas velocidades do vento;
- ligação suave à rede de frequência constante;
- eventual ausência de caixa de velocidades.

A possibilidade oferecida por estes sistemas de dispensarem a caixa de velocidades é uma vantagem importante, pois diminuem as perdas e o ruído associado com baixas velocidades do vento e aumenta, em princípio, a fiabilidade do sistema.

Com a instalação destes equipamentos no terreno, torna-se necessário avaliar correctamente os seus potenciais efeitos negativos. Aspectos relacionados com a eficiência dos conversores electrónicos, com a produção de harmónicas, com o comportamento do sistema eléctrico em condições extremas de vento, com a compatibilidade electromagnética, assumem, neste quadro, importância significativa.



5.5.1.5 Turbinas de Eixo vertical

Actualmente pode afirmar-se que todas as turbinas eólicas em operação comercial possuem um rotor em forma de hélice com eixo horizontal. Estas turbinas fazem uso do mesmo princípio básico das modernas turbinas hídricas, isto é, o escoamento é paralelo ao eixo de rotação das pás da turbina.

Nas antigas rodas de água, a água chegava às pás segundo uma direcção perpendicular ao eixo de rotação da roda. As turbinas de eixo vertical apresentam um princípio de funcionamento semelhante.

A única turbina de eixo vertical que foi, em tempos, fabricada comercialmente era uma máquina do tipo *Darrieus*, apresentada na figura que se segue. Normalmente eram constituídas por duas ou três pás em forma de C.

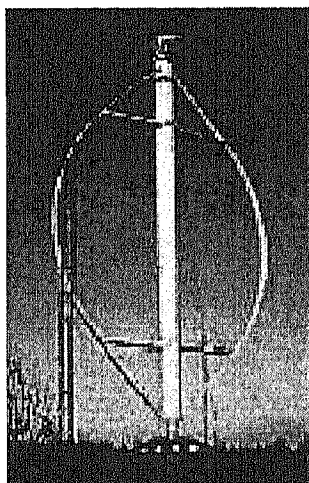


Fig.11 – Turbina de eixo vertical do tipo *Darrieus*.

As principais vantagens das turbinas de eixo vertical podem ser sumariadas da seguinte forma:

- Simplicidade na concepção;
- Insensibilidade à direcção do vento, dispensando o mecanismo de orientação direccional;



- Possibilidade de instalação junto ao solo de todo o equipamento de conversão da energia mecânica.

Quanto aos inconvenientes desta solução, identificam-se os seguintes:

- Velocidades do vento muito baixas junto à base;
- Incapacidade de auto-arranque, necessitando de meios exteriores de auxílio;
- Necessidade de utilização de espigas de suporte;
- Esforços dinâmicos acrescidos, devido ao comportamento inerentemente periódico.

5.5.1.6 Caixa de velocidade

A caixa de velocidades ou multiplicadora é necessária para adaptar a frequência do rotor da turbina, tipicamente na ordem de 0,33 Hz (20 r.p.m.) ou 0,5 Hz (30 r.p.m.), à frequência do gerador, isto é da rede eléctrica de 50 Hz. Para auxiliar este processo, o gerador possui normalmente 4 ou 6 pares de pólos, pelo que são habituais caixas de velocidades com relação de 25:1.

A caixa de velocidade é acoplada ao eixo de baixa rotação, correspondente à haste de baixa rotação da turbina. Esta caixa de velocidade tem o objectivo de aumentar a velocidade do eixo de alta rotação, para cerca de 66,67 vezes mais. O eixo de alta rotação, correspondente ao veio principal do rotor, gira, então, a uma velocidade aproximadamente igual a 1500 r.p.m.. Este eixo é equipado com um travão de disco de emergência que só é utilizado no caso da falha do travão aerodinâmico.

A energia mecânica obtida através do rotor é transmitida ao veio do gerador pela caixa de velocidade constituída por dois estágios e uma união elástica, que corresponde à embraiagem. A embraiagem permite eliminar as vibrações aumentando, desta forma, o tempo de vida dos vários componentes.

A caixa de velocidades utilizada no Parque é da marca FLENDER.



5.5.1.7 Cabine

A figura 12 ilustra os principais equipamentos instalados na cabina, ou *nacelle*.

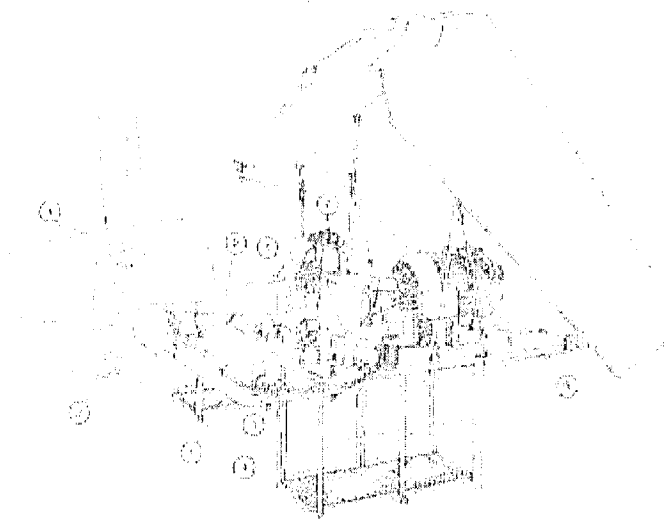


Fig.12 – Esquema do rotor e da cabina de uma turbina eólica

Legenda da figura 12:

1. Base de fixação
2. Veio de baixa rotação
3. Cubo do rotor
4. Pás
5. Travão de disco (a caixa de velocidades está escondida por trás)
6. Gerador
7. Travão hidráulico
8. Mecanismo de orientação direccional
9. Travão de orientação

Na cabina está instalada a turbina e os seus equipamentos auxiliares. Por sua vez, esta está instalada no topo da torre. Na parte superior da cabina irá ser instalado um



anemómetro direccional, com ligação a um sistema motorizado automático. Este tem a finalidade de manter as pás num plano perpendicular à direcção do vento, sempre que os grupos estejam a operar. Este sistema deverá também assegurar a travagem, de modo a obter-se uma maior longevidade de vida da turbina.

O anemómetro direccional permite fazer a medição da velocidade e da direcção do vento. Este encontra-se-á no exterior da cabine e na direcção oposta às pás.

Toda a estrutura da cabine, bem como os seus componentes, são submetidos a uma galvanização a quente.

5.5.1.8 Sistema de travagem

O veio principal de baixa rotação transfere o binário primário do rotor para a caixa de velocidades. Neste veio estão montadas as tubagens de controlo hidráulico dos travões aerodinâmicos.

O sistema hidráulico é usado para repor o sistema de travagem aerodinâmico da turbina eólica.

A travagem do aerogerador, hidráulico-mecânica é levada a actuar em duas situações distintas:

- Em funcionamento normal e por questões de segurança. Ou seja, quando a velocidade do vento atingir a velocidade de corte, ou ainda, aquando da efectuação de serviços de manutenção.
- Em emergência. Isto porque, em caso de avaria, há perigo de embalamento. Um sistema centrífugo montado no rotor fará actuar os *ailerons*, recolocando o aerogerador no nível de velocidade adequado.

Em situações de emergência devidas à falha no travão aerodinâmico ou para efectuar operações de manutenção é usado um travão mecânico de disco. Este travão tanto pode estar situado no veio de baixa rotação como no veio de alta rotação, após a caixa de velocidades. Na segunda opção, o travão é menor e mais barato, pois o binário



de travagem a fornecer é menor. Contudo, na eventualidade de uma falha na caixa de velocidades, não há controlo sobre o rotor.

5.5.2 Painel de controlo e protecção

O controlador electrónico é composto pelo painel de controlo e protecção. O painel de controlo é um computador que observa continuamente as condições de funcionamento do aerogerador, que controla, desta forma, o sistema de orientação do plano de rotação das pás do rotor. O painel de controlo é instalado dentro da torre e dispõe de um microprocessador que assegura o rápido desligamento dos grupos, quando ocorrem defeitos, quer no sistema de produção quer na rede receptora.

Em caso de anomalia no sistema, o controlador interrompe, então, o funcionamento da turbina eólica. Posteriormente é enviada uma mensagem de aviso ao operador para que este possa tomar medidas de prevenção.

Dado que a rede receptora está equipada por um sistema de religação programada com duas religações lentas, a primeira actuando a 30 segundos e a segunda actuando a 60 segundos. O sistema de produção é equipado com meios de desligamento coordenados com os equipamentos de reengate da rede receptora, de acordo com o n.º 2 do artigo 14.º do Decreto Lei n.º 189/88, e serão regulados de acordo com o determinado no n.º 4 do mesmo artigo.



5.5.3 Protecções

O microprocessador é a peça fundamental do sistema de controlo. Esta deve assegurar os disparos em caso de avaria, a selecção dos parâmetros e a leitura imediata dos dados estatísticos.

Um microprocessador deverá possuir um mostrador para a obtenção imediata de toda a informação. O selector permite seleccionar a informação que se pretende, os quatro dígitos, em composição, permitirão assim, obter os parâmetros desejados. Os dados obtidos no microprocessador podem ser chamados ao mostrador através de um botão.

Os parâmetros dados pelo microprocessador indicam:

- O motivo da eventual perda de dados, caso aconteça;
- O eventual desequilíbrio da cabine;
- Sobrecarga no motor;
- Sobre-aquecimento do gerador;
- O torcimento dos cabos devido a um eventual mau funcionamento do desenrolar automático;
- O estado dos calços dos travões. Ou seja, a necessidade de afinação ou substituição;
- O nível do óleo, na caixa de velocidade e a sequência de fases;
- A tensão na rede. No caso de esta ultrapassar os limites máximos permitidos, +7% o grupo deverá sair do paralelo e só reentrar depois da estabilização da tensão durante um período programado. A reentrada do grupo em paralelo será automática. O mesmo acontece no caso da tensão baixar a níveis inferiores aos -7%. Só depois da estabilização da tensão é que o grupo voltará ao paralelo com a rede;
- A frequência da rede. O grupo deverá sair do paralelo caso a frequência varie para mais ou para menos de 0,1%. Só pode reentrar passado um período programado para a estabilização da frequência;



- O excesso de velocidade a que o grupo pode estar sujeito. Neste caso os travões de disco são accionados para que tal situação não se verifique;
- A avaria do sensor referente ao excesso de velocidade;
- Se o sensor de velocidade do gerador está ou não funcional;
- No caso dos cabos estarem enrolados existe uma informação posterior que indica o seu desenrolamento;
- O gerador pára, por falta de vento;
- Quando a velocidade do vento é excessivamente alta. Neste caso o grupo gerador deixa de estar em paralelo com a rede. O arranque só se pode efectuar quando a velocidade do vento descer até pelo menos metade do programado;
- A rede do distribuidor é desligada. Quando esta voltar à situação normal e se encontrar a funcionar correctamente num período programado, o gerador arrancará e ligar-se-á automaticamente;
- Indica, ainda, se a paragem pode ser feita manualmente, no grupo eólico, via microprocessador;
- Se a paragem é manual, no quadro geral do PT;
- Eventuais erros de programação. Neste caso, verificar-se-á, que o computador não está a seguir o programa completo.

O computador regista as seguintes informações que podem ser consultadas através de um selector digital:

- A média dos últimos 12 segundos da potência de saída em kW;
- A média da velocidade do vento em m/s nos últimos 16 segundos;
- A tensão média nas três fases;
- A média da frequência da rede, nos últimos 10 segundos;
- A velocidade do veio principal em r.p.m.;
- A média dos picos na saída, nos últimos 30 segundos;
- O total produzido pelo gerador, em 1000 kWh;
- Total de kWh produzidos;



- Total que o gerador esteve a produzir, em 1000 horas;
- Número de horas que o gerador esteve em produção;
- O total, em 1000 horas, do funcionamento da turbina;
- Número de horas de funcionamento da turbina;
- O total, em 1000 horas, do funcionamento do motor de orientação;
- O total em horas de funcionamento do motor de orientação;
- Número, em 100000, de arranques do gerador;
- Número de arranques do gerador;
- Número, em 10000, de arranques do motor de orientação, no sentido dos ponteiros do relógio;
- Número de arranques do motor de orientação, no sentido dos ponteiros do relógio;
- Número, em 10000, de arranques do motor de orientação, no sentido inverso ao dos ponteiros do relógio;
- Número, 10000, de travagens do grupo eólico, durante o funcionamento normal;
- Número de travagens do grupo eólico, durante o funcionamento.

5.5.4 Circuito de terra do aerogerador

Para cada aerogerador serão executados dois circuitos de terra independentes, um para o pára raios e outro para o próprio aerogerador.

A ligação à rede de terras do Parque far-se-á em cobre nu de 70mm². Todas as ligações nestes dois circuitos serão feitas recorrendo a acessórios adequados para o efeito de aperto mecânico.

Para efectuar a medição da resistência de terra, em qualquer dos dois circuitos, terá de existir um ligador amovível interposto. Este uma vez interrompido permite, então, a medição da resistência de terra.

5.5.5 Compensação da potência reactiva

Para evitar o intercâmbio de potência reactiva com a rede eléctrica a procura da potência reactiva dos aerogeradores deve ser compensada dentro do Parque eólico. Cada aerogerador será, então, dotado de uma bateria de condensadores. Esta é dimensionada tendo em conta a procura da potência reactiva do gerador a funcionar sem carga. O resto da potência reactiva necessária obtém-se através de baterias de condensadores comutadas. Estas serão montadas do lado da baixa tensão dos transformadores elevadores de tensão de modo a que o intercâmbio total de potência reactiva seja limitada em torno dos 0kVAr.

5.5.6 Instalação eléctrica

5.5.6.1 Ligações de Média Tensão

5.5.6.1.1 Interligação entre a linha aérea de Média Tensão e o Posto de Seccionamento Principal

A interligação entre a linha aérea no local e o Posto de Seccionamento Principal, será executada em cabo unipolar, fabricado em alumínio para média tensão, do tipo LXHIOV 120 mm² 18/30(36) kV, para a tensão de serviço de 30 kV. As ligações do cabo de média tensão ao ramal aéreo local serão feitas através de caixas fim de cabo, para montagem exterior, e para esta tensão de serviço.

As ligações do mesmo cabo no posto de seccionamento serão efectuadas com caixas fim de cabo, para montagem interior, e para a mesma tensão de serviço.

A contagem da energia eléctrica produzida ou consumida pelo parque eólico será feita pela equipa de contagem a instalar no posto de seccionamento.



5.5.6.1.2 Interligação entre o Posto de Seccionamento Principal e um Posto de Seccionamento

A interligação entre o posto de seccionamento principal que liga à rede eléctrica nacional, e um posto de seccionamento, PS1, onde chega a energia produzida pelos quatro aerogeradores, A2, A3 e A4, A5 respectivamente, será executada em cabo unipolar armado, fabricado em alumínio para média tensão, do tipo do descrito no ponto anterior para a tensão de serviço de 30 kV.

De referir que o Aerogerador A1 estará directamente ligado ao posto de seccionamento principal, PS, onde se encontra localizado o transformador de elevação de tensão e todo o equipamento de protecção.

As ligações do cabo nos postos de seccionamento PS e PS1, serão executadas com caixas fim de cabo, para montagem interior, com o isolamento por manga termo-retráctil, para a tensão de serviço de 30 kV.

Nos casos de travessia de caminhos estes cabos serão enfiados cada um em cada tubo PET, com o diâmetro de 110 mm e com uma densidade mínima de 4 kgf/cm². Estes por sua vez serão enterrado a pelo menos 0,8 m de profundidade, numa vala de dimensão adequada à colocação de dois tubos lado a lado no fundo da mesma vala.

Na construção da vala, para a presente instalação, deverá ser colocado mais um tubo idêntico aos referidos anteriormente, para o enfiamento dos cabos de MT de uma possível ampliação do parque. Este tubo terminará na caixa de visita prevista para o último aerogerador.

De referir que, nesta mesma vala passarão mais cabos destinados à alimentação dos circuitos eléctricos auxiliares e também os referentes ao controlo, comando e protecção de cada aerogerador. Naturalmente que cada um destes cabos será enfiado num tubo PET de diâmetro adequado ao do respectivo cabo e com a densidade de 4 kgf/cm².



5.5.6.1.3 Interligação do Posto de Seccionamento PS1 e os Postos de Transformação

A interligação do posto de seccionamento e o posto de transformação será efectuada em cabo de média tensão, do mesmo tipo do descrito no ponto 5.5.6.1.1.

As ligações serão executadas através de caixas terminais fim de cabo, para montagem interior, e para a tensão de serviço adequada aos 30 kV, com isolamento por manga termo-retráctil.

Nos casos de travessia de caminhos estes cabos serão enfiados, cada um em tubo PET com o diâmetro de 110 mm e com a densidade mínima de 4 kgf/cm². Este será enterrado a pelo menos 0,8 m de profundidade numa vala de dimensão adequada à colocação de um tubo no fundo vala.

Acima do tubo instalado no fundo da vala será colocada uma fita sinalizadora plástica, a uma distância da superfície de aproximadamente 300 mm. Esta fita sinalizadora plástica tem de ser de material resistente à acção química e mecânica do solo.

De notar que nesta mesma vala passarão mais cabos destinados à alimentação dos circuitos eléctricos auxiliares e também os referentes ao controlo, comando e protecção de cada aerogerador. Naturalmente que cada um destes cabos será enfiado num tubo PET de diâmetro adequado ao do respectivo cabo e com a densidade de 4 kgf/cm².

5.5.6.2 Ligações de Baixa Tensão

5.5.6.2.1 Interligação entre o PS e PS1

A alimentação os circuitos auxiliares do posto de seccionamento PS1, será executado a cabo de cobre. A partir do Quadro Geral de Baixa Tensão do Serviços Auxiliares QGBT-SA, localizado no PS e ao Quadro Parcial de Serviços Auxiliares QPS-A1, localizado no respectivo alimentar-se-á os Quadros Parciais de Serviços Auxiliares,



localizados nos respectivos postos de transformação, por um cabo do tipo VAV R3x25+2G16. Estes cabos serão enterrados em vala a pelo menos 0,8 m de profundidade.

5.5.6.2 Interligação entre o PS, PS1, PT e os Aeroogeradores

O transporte de energia eléctrica entre cada aeroogerador e o respectivo PT localizado no PS, onde se faz a elevação do nível de tensão, é feito por cabo unipolar de cobre com a seguinte composição: 3 x 3xH1XV-R240 + 2 x H1XV-R240 para as três fases e neutro.

Estes cabos serão enfiados um a um em tubo PET de diâmetro 110 mm de 4 kgf/cm² cuja colocação deve obedecer ao já descrito no ponto 5.5.6.2.1.

A protecção contra sobreintensidades e sobrecargas deste cabo faz-se junto do aeroogerador por intermédio de um contactor-disjuntor tetrapolar com relés magneto-térmicos reguláveis.

Quando se pretender entrar na cela do transformador de potência, um interruptor de posição, fim de curso, colocado nas portas, abrirá à distância o contactor-disjuntor, atrás referido, colocando sem tensão o lado de BT do transformador.

5.5.6.3 Instalação Eléctrica dos Serviços Auxiliares

Em cada um dos edifícios que alojam a aparelhagem eléctrica dos PS, PS1 e dos PT's haverá uma instalação de utilização de energia eléctrica de iluminação e tomadas de usos gerais, que seguirá toda a regulamentação aplicável em vigor nomeadamente o R.S.I.U.E.E..

Assim os circuitos de iluminação serão executados em cabo A05VV-U de 1,5 mm² e os circuitos de tomadas a 2,5 mm² do mesmo cabo.

As tomadas serão de dois tipos monofásicas e trifásicas de 16 A sempre com borne de terra, sendo as monofásicas do tipo *schuko* e as trifásicas do tipo CEE.

Todos os circuitos terão protecção diferencial de média sensibilidade 300 mA, e protecção contra sobreintensidades e sobrecargas.



5.5.7 Postos de Transformação

5.5.7.1 Posto de Seccionamento Principal, PS

A aparelhagem de MT está disposta em celas do tipo monobloco, para montagem interior, e para a tensão de serviço de 30 kV, contendo no seu conjunto o seguinte:

- Uma cela de saída;
- Uma cela de medida;
- Uma cela de corte geral;
- Duas celas de chegada;
- Uma cela de protecção para Bateria de Condensadores;
- Duas celas de protecção para o transformador nº1 e para o transformador dos SA;
- Um transformador de potência de 25 kVA para os serviços auxiliares;
- Um transformador de potência de 1250 kVA para o Aerogerador A1.

5.5.7.1.1 Aspectos Construtivos

As celas serão construídas de acordo com a CEI 298 e dimensionadas para albergar toda a aparelhagem eléctrica, sendo fabricadas numa estrutura de perfílados de aço zincor revestida a chapa do mesmo material, convenientemente tratada e pintada a tinta esmalte contra a corrosão.

O barramento de MT é executado em barra de cobre electrolítico de 30 x 5 mm pintado nas cores regulamentares e rigidamente assente em isoladores de resina *epoxy*.

A entrada em cada uma das celas quando isso é possível, é encravada mecanicamente entre a fechadura da respectiva porta e o comando mecânico do aparelho de corte, impedindo assim a entrada na cela com esta sob tensão.

As celas incluirão ainda, nomeadamente, os seguintes equipamentos, conforme o aplicável:



- Esquema sinóptico com a indicação de posição da aparelhagem de corte e manobra nas celas em que seja aplicável;
- Lâmpadas de presença de tensão em todas as celas;
- Resistências de aquecimento, 220 Vca / 100 W, com termostato em todas as celas;
- Bornes de tensão seccionáveis e de corrente curto-circuitáveis, conforme aplicável;
- Barra de terra com secção não inferior a 40 x 6 mm² em todas as celas;
- Disjuntores modulares de baixa tensão para protecção dos circuitos de tensão.

A metodologia de ensaio das celas deverá seguir as normas aplicáveis da CEL.

5.5.7.1.2 Circuitos de Terra

Serão estabelecidos conforme o descrito no ponto 5.5.8.

5.5.7.1.3 Disposições Regulamentares

No edifício estará disponível o conjunto completo de acessórios prescritos no regulamento, contemplando o seguinte:

- Um estrado isolado para a manobra da aparelhagem de MT;
- Um par de luvas de borracha para manobra à tensão de 30 kV;
- Uma fonte de luz portátil e autónoma com uma bateria de NiCd recarregável;
- Um registo dos valores de medição periódica da resistência dos dois circuitos de terra;
- Um cartaz com as instruções para os primeiros socorros;
- Avisos de PERIGO DE MORTE colocados onde for mais pertinente.



5.5.7.1.4 Cella de Saída

Uma cela de interligação equipada com disjuntor motorizado, sinalizadores de tensão, e comando de isolamento e corte em SF6, de fabrico *Ormazabal* de modelo CMP-A 36 ou equivalente. As suas principais características eléctricas:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.1.5 Cella de Medida

Nesta cela serão instalados os transformadores de medida destinados aos relés auxiliares de comando e protecção para a ligação à rede pública, e de contagem de energia. Serão ainda instalados três transformadores de tensão de intensidade com as seguintes características principais:

- Três Transformadores de intensidade de 100/5 A – 5 A, com 20 VA cl 0,5 e 20 VA classe 5P2;
- Três Transformadores de tensão de $30000/\sqrt{3}$; $100/\sqrt{3}$; $100/\sqrt{3}$ com 20 VA cl 0,5 e 20 VA classe 5P20.



Os relés de comando e protecção para a ligação do produtor autónomo de energia eléctrica à rede pública explorada, são essencialmente os a seguir apresentados ou outros equivalentes:

- Um relé de máxima intensidade, do tipo ITG 7166 - CEE;
- Um relé de tensão homopolar, do tipo TTG 7034 - CEE;
- Um relé de máxima tensão, do tipo TTG 7111;
- Um relé de mínima tensão, do tipo TTG 7113;
- Um relé de máxima e mínima frequência, do tipo HDG 7020.

Estes relés serão devidamente instalados e ligados no Quadro de Protecção e Medida QPM.

Os transformadores de intensidade e tensão destinados à contagem de energia serão adequados às potências em trânsito apresentando as seguintes características principais:

- Classe de precisão igual a 0,5 segundo a CEI;
- Tensão secundária dos transformadores de tensão igual a 110 V, sendo ligados pelo método de *Aron*;
- Corrente secundária dos transformadores de intensidade igual a 1 A;
- As caixas de bornes destes transformadores devem ser seláveis.

O contador será de quatro quadrantes contabilizando o trânsito de energia activa e reactiva, de e para os aerogeradores. Este contador é equipado com um concentrador que permitirá a telemedida por linha telefónica.

O contador a instalar é do fabricante *Siemens* da seguinte referência: ZMB405CT446a,2C CBr 14ar 14^a, incluindo o já mencionado concentrador, a instalar no Quadro de Protecção e Medida QPM.



5.5.7.1.6 Celas de Corte Geral

Cada uma das celas será do tipo armário, com isolamento a SF6, equipadas com um seccionador tripolar, de fabrico *Ormazabal*, modelo CMIP-36 ou equivalente, com as seguintes características principais:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.1.7 Celas de Chegada

Cada uma das celas de entrada será do tipo armário de fabrico *Ormazabal*, de modelo CML-36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador tripolar com seccionador de bornes de terra de isolamento e corte em SF6. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)



- à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.1.8 Cella de Protecção para Bateria de Condensadores

Uma cela do tipo armário de fabrico *Ormazabal*, de modelo CML-36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador tripolar com seccionador de bornes de terra de isolamento e corte em SF₆. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.1.9 Celas de Protecção

Cada uma das celas será do tipo armário com isolamento a SF₆ de fabrico *Ormazabal*, de modelo CMP-F36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador-fusível tripolar com seccionador de bornes de terra. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA

- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.1.10 Transformador de Potência dos Serviços Auxiliares

Um transformador de tipo hermético em banho de óleo para alimentar a instalação eléctrica dos serviços auxiliares para montagem interior caracterizado por:

- Tensão primária – 30000 V
- Tensão secundária – 400-231 V
- Frequência de serviço – 50 Hz
- Potência – 25 kVA

Os dois conjuntos de isoladores de MT e BT são encapsulados por caixas tapa terminais garantindo assim o isolamento eléctrico contra contactos directos, e a protecção contra as acções mecânicas.

5.5.7.1.11 Transformador de Potência do Aerogerador A1

O transformador de potência do Aerogerador A1, é um transformador do tipo hermético em banho de óleo para alimentar a instalação eléctrica dos serviços auxiliares, de montagem interior, com as seguintes características:

- Tensão primária – 690 V
- Tensão secundária – 30000 V
- Frequência de serviço – 50 Hz



- Potência – 1250 kVA
- Perdas em vazio – 2600 W
- Perdas em curto-circuito – 9550 W
- Tensão de curto-circuito - 6%
- Normas de fabrico: CEI 76 e 726.

5.5.7.1.12 Instalação Eléctrica do Posto de Seccionamento

Este edifício terá uma instalação de utilização de energia eléctrica para iluminação, tomadas e equipamento de comando, controlo e protecção dos aerogeradores.

A instalação será alimentada a partir do transformador de potência dos serviços auxiliares.

5.5.7.1.12.1 Quadro Geral de Baixa Tensão para os Serviços Auxiliares, QGBTSA

O quadro geral de BT para os serviços auxiliares, QGBTSA, é do tipo armário com painel para fixação mural com as dimensões adequadas à aparelhagem eléctrica. Este é fabricado em *poliester* reforçado a fibra de vidro levando no seu interior devidamente fixa e ligada toda a aparelhagem eléctrica de corte, comando e protecção.

Os comandos para manobra da aparelhagem são todos acessíveis a partir do painel.

O corte geral do quadro faz-se por um interruptor tetrapolar de corte omnipolar.

Para protecção contra as correntes residuais utilizar-se-ão interruptores diferenciais de corte omnipolar e com uma média de sensibilidade de 300 mA.

O barramento é em barras de cobre electrolítico, de secção rectangular dimensionada para a densidade de corrente de 2 A/mm², rigidamente apoiadas em isoladores de resina *epoxy*.



A protecção dos diferentes circuitos contra sobreintensidades e sobrecargas é assegurada por disjuntores magneto-térmicos que cortam o circuito a jusante, com a intensidade nominal própria para a secção dos cabos a jusante e de poder de corte adequado ao valor esperado para a corrente de curto-circuito nesse ponto.

Todo este material deverá ser da marca *Merlin Gerin* ou outro equivalente, e de comprovada qualidade.

5.5.7.1.12.2 Quadro de Protecção e Medida, QPM

Este quadro é do tipo armário com painel para fixação mural com as dimensões adequadas à aparelhagem eléctrica. Este é fabricado em *poliéster* reforçado a fibra de vidro, levando no seu interior devidamente fixa e ligada toda a aparelhagem eléctrica de protecção, medida e contagem.

Os comandos para manobra e os visores da aparelhagem são todos acessíveis a partir do painel frontal.

Essencialmente será composto da seguinte aparelhagem:

- Um contador de energia de quatro quadrantes que contabilize o trânsito de energia eléctrica activa e reactiva, de e para os aerogeradores. Este contador é equipado com um concentrador que permita a telemedida por uma linha telefónica.

Os comandos para manobra e os visores da aparelhagem são todos acessíveis a partir do painel frontal.

O contador, como já foi referido, é o da referência: ZMB405CT446a,2C CBr 14ar 14a de fabrico da *Siemens*, incluindo o já mencionado concentrador.

- Um relé de máxima intensidade, do tipo ITG 7166-CEE;
- Um relé de tensão homopolar, do tipo TTG 7034-CEE;
- Um relé de máxima tensão, do tipo TTG 7111;
- Um relé de mínima tensão, do tipo TTG 7113;
- Um relé de máxima e mínima frequência, do tipo HDG 7020.
- Três amperímetros 0-50/5 A de classe 1,5;



- Um voltímetro e o respectivo comutador de quatro posições 0-30000/100 V de classe 1,5;
- Um frequencímetro de ponteiro com conversor electrónico para a gama compreendida entre 45 e 55 Hz, e com a classe 0,5;
- Um fasímetro electrodinâmico de quatro quadrantes para ligação a transformadores de intensidade de 5 A e de tensão 100 V, classe 1,5.

Toda a aparelhagem de medida têm o mostrador quadrado de 96 mm com o fundo branco e caracteres pretos.

5.5.7.1.12.3 Quadro da Bateria e Carregador, QCC

O quadro da bateria e carregador será instalado no posto de seccionamento.

A bateria será de níquel-cádmio, Ni-Cd, para funcionamento a 48 V, com um total de 38 elementos. Deverá ter a capacidade mínima 56 Ah/5 h e funcionar em tampão. A máxima variação de tensão não deverá ser superior a +/- 10%.

A bateria será munida de dois fusíveis, instalados nos terminais (+) e (-), de modo a protegê-la contra possíveis defeitos no cabo de ligação ao quadro dos serviços auxiliares de corrente contínua.

O carregador deverá ser adequado para a operação de carga de bateria em tampão e ter uma corrente de saída não inferior a 20 A.

A bateria e carregador serão instalados num armário metálico simples, em compartimentos separados, com ventilação natural. O compartimento da bateria disporá de um recipiente em aço inoxidável, com a função de recolha de líquidos por possíveis derrames de electrólito.

Cada elemento da bateria será munido de uma etiqueta indicativa do seu número de referência. O elemento nº1 será o mais negativo e o número de referência maior corresponderá ao elemento mais positivo.

A metodologia de ensaios do quadro da bateria e do carregador deverá seguir as normas CEI aplicáveis.



Este sistema destina-se à alimentação de socorro dos seguintes equipamentos:

- O motor do disjuntor de corte geral;
- Os relés de protecção e medida;
- As centrais de detecção automática de incêndio e intrusão;
- O computador que monitoriza todo o comportamento do parque eólico;
- O sistema de comunicação à distância.

5.5.7.2 Posto de Seccionamento PS1

A aparelhagem de MT está disposta em celas do tipo monobloco, para montagem interior, e para a tensão de serviço de 30 kV, contendo cada um no seu conjunto o seguinte:

- Uma cela de interligação;
- Uma celas de chegada;
- Uma cela de protecção;
- Um transformador de 1250 kVA

5.5.7.2.1 Aspectos Construtivos

O posto de seccionamento é alojado num edifício pré-fabricado, em betão armado e vibrado cuja armadura metálica actua como gaiola de *Faraday*. Todas as suas partes metálicas são tratadas e pintadas com tinta de *poliéster* contra a corrosão.

A envolvente deste edifício é em betão armado vibrado e compõem-se em duas partes: uma aglutinando o piso, as paredes, as grelhas de ventilação natural, e a outra que constitui a cobertura.

Todas as armaduras de betão são ligadas entre si e com o eléctrodo de terra, bem como as demais partes metálicas susceptíveis de serem tocadas.

Como referência apresenta-se o edifício modelo PFU-4 pré-fabricado pela *Ormazabal*, apresentando as seguintes dimensões exteriores em milímetros:



- Comprimento – 4480
- Largura – 2380
- Altura total – 3240
- Altura for a do solo – 2780

5.5.7.2.2 Cella de Interligação

Uma cela de interligação do tipo armário, de fabrico *Ormazabal*, de modelo CML-36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador tripolar com seccionador de bornes de terra de isolamento e corte em SF6, tem como características:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.2.3 Cella de Chegada

A cela de chegada é do tipo armário, de fabrico *Ormazabal*, de modelo CML-36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador tripolar com seccionador de bornes de terra de isolamento e corte em SF6. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A



- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.2.4 Cella de Protecção

A cela de protecção é do tipo armário, com isolamento a SF₆, de fabrico *Ormazabal*, de modelo CMP-F36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador-fusível tripolar com seccionador de bornes de terra. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.



5.5.7.2.5 Transformador de Potência

O transformador de potência é do tipo hermético em banho de óleo para alimentar a instalação eléctrica dos serviços auxiliares para montagem interior caracterizado por:

- Tensão primária – 690 V
- Tensão secundária – 30000 V
- Frequência de serviço – 50 Hz
- Potência – 1250 kVA
- Perdas em vazio – 2600 W
- Perdas em curto-circuito – 9550 W
- Tensão de curto-circuito - 6%
- Normas de fabrico: CEI 76 e 726.

5.5.7.2.6 Disposições Regulamentares

No posto de seccionamento estabelecer-se-ão dois circuitos de terra descritos no ponto 5.5.7.1.2, sendo também equipados com os acessórios regulamentares mencionados no ponto 5.5.7.1.3.

O circuito de terra de protecção liga ao anel de terra do parque eólico como referido no ponto 5.5.8.

A protecção contra contactos directos far-se-á da seguinte forma: do lado de MT haverá um encravamento mecânico entre o comando do interruptor-seccionador-fusível e a fechadura das portas que acedem à cela do transformador, sendo impossível abrir estas últimas sem antes ter aberto o aparelho de corte.

5.5.7.2.7 Instalação Eléctrica do PS1

o posto de seccionamento terá uma instalação eléctrica de serviços auxiliares compreendendo essencialmente: o Quadro Parcial dos Serviços Auxiliares, QPSA, um



circuito de iluminação e dois circuitos de tomadas, um monofásico e o outro trifásico para usos gerais.

5.5.7.2.7.1 Quadro Parcial dos Serviços Auxiliares, QPSA1

O quadro parcial de serviços auxiliares, QPSA, é do tipo armário para fixação mural com as dimensões adequadas à aparelhagem eléctrica. Este fabricado em *poliéster* reforçado a fibra de vidro levando no seu interior devidamente fixa e ligada toda a aparelhagem eléctrica de corte, comando e protecção.

O corte geral faz-se por um interruptor diferencial tetrapolar de corte omnipolar para protecção contra as correntes residuais de média sensibilidade 300 mA.

O barramento é em barras de cobre electrolítico de secção rectangular dimensionada para a densidade de corrente de 2 A/mm², rigidamente apoiadas em isoladores de resina *epoxy*.

A protecção dos diferentes circuitos contra sobreintensidades e sobrecargas é assegurada por disjuntores magneto-térmicos que cortam a fase do circuito em causa, com a intensidade nominal própria para a secção dos cabos a jusante e de poder de corte adequado ao valor esperado para a corrente de curto-circuito nesse ponto.

Todo este material deverá ser da marca *Merlin Gerin*, ou outro de comprovada qualidade.

5.5.7.2.7.2 Iluminação

Para a iluminação do interior do edifício instalar-se-á uma armadura fluorescente com o corpo em *poliéster* reforçado a fibra de vidro e difusor estanque IP44 em policarbonato, equipada com uma lâmpada fluorescente tubular de 36 W.

Este aparelho de iluminação é ainda equipado com um bloco de alimentação autónomo recarregável automaticamente para pelo menos uma hora.



Este circuito de iluminação é comandado por um interruptor de tecla de montagem saliente da série Plexo 55 da *Legrand*, ou equivalente, instalado junto da porta de acesso.

O circuito é à vista executado a cabo A05VV-U3G1.5 fixo por braçadeiras plásticas de aperto mecânico.

5.5.7.2.7.3 Circuitos de Tomadas

Existirão dois circuitos de tomadas distintos, um para uma tomada monofásica com borne de terra do tipo *schuko*, da série Plexo 55 da *Legrand*, e o outro para uma tomada trifásica de 16 A com neutro e terra do tipo CEE também de montagem saliente.

Os circuitos serão executados em cabo A05VV-U de 2,5 mm² fixo por braçadeiras plásticas de aperto mecânico colocadas com espaços regulamentares.

5.5.7.3 Posto de Transformação

O posto de transformação é alojado num edifício pré-fabricado, em betão armado e vibrado cuja armadura metálica actua como gaiola de *Faraday*. Todas as suas partes metálicas são tratadas e pintadas com tinta de *poliéster* contra a corrosão.

A envolvente destes edifícios é em betão armado vibrado e compõem-se em duas partes: uma aglutinando o piso, as paredes, as grelhas de ventilação natural, e a outra que constitui a cobertura.

Todas as armaduras de betão são ligadas entre si e com o eléctrodo de terra, bem como as demais partes metálicas susceptíveis de serem tocados.

Como referência apresenta-se o edifício modelo PFU-3 pré-fabricado pela *Ormazabal*, apresentando as seguintes dimensões exteriores em milímetros:

- Comprimento – 3280
- Largura – 2380
- Altura total – 3240
- Altura fora do solo – 2780



5.5.7.3.1 Protecção

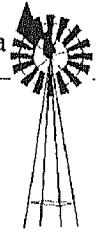
A aparelhagem eléctrica de MT que compõe o PT do tipo armário com isolamento a SF6 de fabrico *Ormazabal*, de modelo CMP-F36 ou equivalente, contemplando um interruptor-seccionador-fusível tripolar com seccionador de bornes de terra. As suas características são:

- Tensão nominal – 36 kV
- Intensidade nominal – 400 A
- Intensidade de curta duração, 1s – 16 kA
- Nível de isolamento a 50 Hz e 1 min:
 - entre a terra e fases – 70 kV
 - à distância de seccionamento – 80 kV
- Onda de choque de tensão:
 - entre a terra e fases – 170 kV (crista)
 - à distância de seccionamento – 195 kV (crista)
- Normas aplicáveis: CEI 56, 129, 255, 265-1, 298, 420, 694 e 801.

5.5.7.3.2 Transformador de Potência

O transformador de potência é do tipo hermético em banho de óleo para alimentar a instalação eléctrica dos serviços auxiliares para montagem interior caracterizado por:

- Tensão primária – 690 V
- Tensão secundária – 30000 V
- Frequência de serviço – 50 Hz
- Potência – 1250 kVA
- Perdas em vazio – 2600 W
- Perdas em curto-circuito – 9550 W
- Tensão de curto-circuito - 6%
- Normas de fabrico: CEI 76 e 726.



5.5.7.3.3 Disposições Regulamentares

No posto de transformação estabelecer-se-ão os dois circuitos de terra descritos no ponto 5.5.7.1.2, sendo também equipados com os acessórios regulamentares mencionados no ponto 5.5.7.1.3.

O circuito de terra de protecção liga ao anel de terra do parque eólico como referido no ponto 5.5.8.

A protecção contra contactos directos far-se-á da seguinte forma: do lado de MT haverá um encravamento mecânico entre o comando do interruptor-seccionador-fusível e a fechadura das portas que acedem à cela do transformador, sendo impossível abrir estas últimas sem antes ter aberto o aparelho de corte.

O lado de BT é colocado fora de tensão ao fazer actuar os interruptores de posição das portas, aquando a sua abertura, o que por sua vez abrirá à distância o contactor-disjuntor que se encontra junto do aerogerador.

5.5.7.3.4 Instalação Eléctrica do PT

O PT terá uma instalação eléctrica de serviços auxiliares compreendendo essencialmente: o Quadro de Serviços Auxiliares, QSA, um circuito de iluminação e dois circuitos de tomadas, um monofásico e o outro trifásico para usos gerais.

5.5.7.3.4.1 Quadros Parciais dos Serviços Auxiliares

Os QPSA`s são do tipo armário para fixação mural com as dimensões adequadas à aparelhagem eléctrica, sendo fabricado em *poliéster* reforçado a fibra de vidro levando no seu interior devidamente fixa e ligada toda a aparelhagem eléctrica de corte, comando e protecção.

O corte geral faz-se por um interruptor diferencial tetrapolar de corte omnipolar para protecção contra as correntes residuais de média sensibilidade 300 mA.



O barramento é em barras de cobre electrolítico de secção rectangular dimensionada para a densidade de corrente de 2 A/mm^2 , rigidamente apoiadas em isoladores de resina *epoxy*.

A protecção dos diferentes circuitos contra sobreintensidades e sobrecargas é assegurada por disjuntores magneto-térmicos que cortam a fase do circuito em causa, com a intensidade nominal própria para a secção dos cabos a jusante e de poder de corte adequado ao valor esperado para a corrente de curto-circuito nesse ponto.

Todo este material deverá ser da marca *Merlin Gerin*, ou outro de comprovada qualidade.

5.5.7.3.4.2 Iluminação

Para a iluminação do interior do edifício instalar-se-á uma armadura fluorescente com o corpo em *poliéster* reforçado a fibra de vidro e difusor estanque IP44 em policarbonato, equipada com uma lâmpada fluorescente tubular de 36 W.

Este aparelho de iluminação é ainda equipado com um bloco de alimentação autónomo recarregável automaticamente para pelo menos uma hora.

Este circuito de iluminação é comandado por um interruptor de tecla de montagem saliente da série Plexo 55 da *Legrand*, ou equivalente, instalado junto da porta de acesso.

O circuito é à vista executado a cabo A05VV-U3G1.5 fixo por braçadeiras plásticas de aperto mecânico.

5.5.7.3.4.3 Circuitos de Tomadas

Serão dois e distintos, um para uma tomada monofásica com borne de terra do tipo *schuko* da série Plexo 55 da *Legrand*, e o outro para uma tomada trifásica de 16 A com neutro e terra do tipo CEE também de montagem saliente.

Os circuitos serão executados em cabo A05VV-U de $2,5\text{mm}^2$ fixo por braçadeiras plásticas de aperto mecânico colocadas com espaços regulamentares.



5.5.8 Rede de Terras

O âmbito do fornecimento inclui a rede de terras subterrânea, constituída pelos anéis envolventes, dos maciços das torres dos aerogeradores, dos postos de transformação junto dos aerogeradores, do posto de transformação/seccionamento, assim como a sua interligação ao longo da vala de cabos com o anel envolvente do posto de seccionamento.

Inclui ainda, a rede de terras à vista no edifício do posto de seccionamento, constituída pela barra condutora e equipamentos de ligação ao anel subterrâneo e o conjunto de eléctrodos de terra, devendo estar incluídos todos os acessórios necessários às respectivas ligações.

A concepção da rede de terras será do tipo terra única, em cabo de cobre nu de 70 mm², sendo nos aerogeradores constituída pelos eléctrodos de fundação, interligados por um anel subterrâneo, com duas derivações para ligação à barra de terra no interior das torres em cabo de cobre nu de 70 mm².

O posto de transformação, será constituído pelos eléctrodos do edifício, formados a partir de um anel subterrâneo, terra de protecção, interligado com um anel exterior, em barra de cobre, terra de serviço, no interior dos mesmos. Esta rede de terras, será interligada com a rede de terras dos aerogeradores e do posto de seccionamento.

O posto de seccionamento, será constituído pelo anel subterrâneo do edifício, interligado com um anel em barra de cobre, no interior do mesmo, tipo gaiola de esquilo. Esta rede de terras, será interligada com a rede de terras das torres. Esta malha será ligada a um ligador amovível que estará interligado com os eléctrodos de terra necessários, com o eventual prolongamento dos cabos de ligação, de forma a obter um valor de resistência de terra $\leq 1 \Omega$.

A terra de serviço dos aerogeradores, será obtida a partir da ligação à terra do neutro dos transformadores instalados nos postos de transformação, e através do condutor de neutro do respectivo cabo de alimentação.

A protecção contra descargas atmosféricas, na zona do posto de seccionamento, será efectuada por um pára-raios piezoeléctrico.



5.5.9 Fornecimento de Energia Reactiva

Fica a cargo do fornecedor dos aerogeradores a instalação de grupos de baterias de condensadores de forma a garantir que nos períodos fora do vazio, este acompanhe o fornecimento de energia activa de uma quantidade de energia reactiva correspondente, no mínimo, a 40% da energia activa fornecida.

Deve ainda ser garantido o não fornecimento, nos períodos de vazio, de energia reactiva à rede.

5.5.10 Cálculos

5.5.10.1 Linha de MT entre o PS e PS1

Para o calculo das quedas de tensão aplicou-se a expressão simplificada:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_s \times l \times (R \times \cos\phi + X \times \sin\phi)$$

sendo:

I_s a corrente de serviço no troço em estudo;

l o comprimento do troço em km;

R a resistência do cabo por unidade de comprimento em Ω/km ;

X a reactância do cabo por unidade de comprimento em Ω/km .

Exemplificando para o troço de MT mais longo que é o que liga o PS1 ao PS, executado a cabo unipolar de alumínio do tipo 3 x LXHIOV120 mm² 18/30 (36) kV e com o comprimento aproximado de 750 m, teríamos:

$$I_s = 48,1 \text{ A}$$

$$l = 0,750 \text{ km}$$

$$R = 36/120 = 0,30 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,12 \text{ } \Omega/\text{km}$$



E considerando a situação muito desfavorável de se operar com o $\cos\phi = 0,8$ obtemos finalmente para valor absoluto da queda de tensão:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 48,1 \times 0,75 \times (0,30 \times 0,8 + 0,12 \times 0,6) = 19,49 \text{ V}$$

o valor relativo da queda de tensão é:

$$\Delta U = (19,49/30000) \times 100 = 0,064 \%$$

❖ Ligação de MT entre PS1 e cada PT

Também aqui se aplicou a expressão simplificada já apresentada anteriormente.

Considerando o troço de MT mais longo, executado a cabo unipolar de cobre do tipo 3 x LXHIOV120 mm² 18/30 (36) kV e com o comprimento aproximado de 375 m, teríamos:

$$I_s = 48,1 \text{ A}$$

$$l = 0,375 \text{ km}$$

$$R = 36/120 = 0,30 \Omega/\text{km}$$

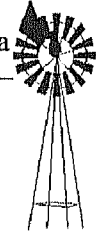
$$X = 0,12 \Omega/\text{km}$$

Considerando mais uma vez a situação desfavorável de se estar a operar com o $\cos\phi = 0,8$ vem para valor absoluto da queda de tensão:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 48,1 \times 0,375 \times (0,30 \times 0,8 + 0,12 \times 0,6) = 9,75 \text{ V}$$

O valor relativo da queda de tensão nos troços de BT é:

$$\Delta U = (9,75/30000) \times 100 = 0,0325 \%$$



❖ Ligação de BT entre Aerogerador e PT

Também aqui se aplicou a expressão simplificada já apresentada. Estas ligações de BT são efectuadas a cabo unipolar de cobre do tipo 3 x 3xH1XV-R240+2 x H1XV-R240 com um comprimento total de 255 m. Ou seja, considerou-se o comprimento desde o gerador no topo da torre até aos terminais do primário do transformador de potência.

Considerando o troço de BT mais longo teríamos:

$$I_s = 1046 \text{ A}$$

$$l = 0,255 \text{ km}$$

$$R = 22,5/(3 \times 240) = 0,03125 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,12 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Considerando mais uma vez a situação mais desfavorável de se estar a operar com $\cos\phi = 0,8$ vem para valor absoluto da queda de tensão:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 1046 \times 0,255 \times (0,03125 \times 0,8 + 0,12 \times 0,6) = 44,8 \text{ V}$$

O valor relativo da queda de tensão no troço de BT é:

$$\Delta U = (44,8/690) \times 100 = 6,49 \%$$



5.6 Memória descritiva e justificativa da subestação 60/15 kV – 15 MVA

5.6.1 Introdução/Objectivos

O presente projecto, refere-se à Instalação de Energia Eléctrica da Subestação de 60/15 kV, que será construída na propriedade da Enervento – Energias Renováveis, SA.. A potência total instalada é de 15 MVA. A subestação destina-se a elevar toda energia produzida no parque eólico, da Serra da Amêndoa, à tensão de 15 kV e transportá-la para a barragem da Pracana.

O Quadro de Média Tensão da Subestação terá 3 saídas em 15 kV. Estas três saídas destinam-se a receber a energia produzida pelos aerogeradores.

Os principais motivos que estão na origem do projecto para a construção da subestação são os seguintes:

- Imposição por parte da empresa de distribuição da sua execução;
- Potências instaladas: $7 \times 2,1 \text{ MVA} = 14,7 \text{ MVA}$

Tendo em consideração o valor acima calculado, e prevendo um valor para o $\cos \phi$ da instalação de 0,93, optou-se por uma potência de transformação de 15 MVA.

Neste projecto teve-se em atenção as seguintes normas e regulamentos:

- Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (DL 14/77 e Port. 37/70)
- Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica (DL 740/74 – R.S.I.U.E.E.)
- Serão respeitadas as regras de arte, por forma que a instalação seja tecnicamente correcta e em condições de perfeita exploração.

Esta memória descritiva engloba o estudo das seguintes instalações:

- Subestação de 60/15 kV com 15 MVA de potência instalada
- Ligação entre o Quadro de Média Tensão (QMT) da subestação e os PT's

5.6.2 Especificações técnicas do projecto

A instalação é concebida para alimentação em linha aérea de 60 kV. A AT é colocada no exterior sendo o Quadro de MT instalado no interior, num edifício próprio. Os cabos de MT para o abastecimento dos PT's existentes são secos, instalados em vala, com tubo nas travessias de caminhos.

5.6.2.1 Andar de AT – exterior

A montagem dos equipamentos será efectuada sobre suportes metálicos galvanizados, fixados a maciços de betão, sendo a tensão nominal de 60 kV e a tensão estipulada, eficaz, de 66 kV. O andar de AT no exterior estará exposto a 100% da humidade relativa do local e a uma temperatura máxima de 40°. Neste local considera-se um nível de poluição ligeiro.

5.6.2.2 Andar de MT – interior

No andar de MT será colocado um Quadro de Média Tensão do tipo “SM 6” da marca Merlin Gerin. A tensão nominal é de 15 kV e a tensão estipulada, eficaz, de 17,5 kV. Assim como o andar exterior, o andar interior de MT está exposto a 100% da humidade relativa do local e a uma temperatura máxima de 40°. Neste local considera-se um nível de poluição ligeiro.



5.6.3 Especificações técnicas dos materiais

5.6.3.1 Material de AT

5.6.3.1.1 Chegada da linha de 60 kV

A linha será amarrada a um poste fim de linha com uma altura útil de 8 m. A transição da linha para o seccionador de chegada é feita com o mesmo condutor da linha: Al – Aço de 160 mm².

5.6.3.1.2 Seccionador de chegada

A linha de chegada será amarrada ao seccionador que tem acoplado um seccionador de terra do lado da linha, com as seguintes características:

- Tensão nominal – 72,5 kV
- Intensidade nominal – 1250 A
- Ik – 31,5 kA
- Up – 325 kV

Este seccionador, apresenta dois tipos de encravamento, um encravamento mecânico com o seccionador de linha e outro encravamento de chave com disjuntor.

5.6.3.1.3 Disjuntor de 60 kV

O disjuntor utilizado na subestação é do fabricante Merlin Gerin – Schneider. Este é dotado de uma chave de encravamento com o seccionador de chegada, como já foi referido anteriormente. Este disjuntor apresenta as seguintes características:

- Tipo – SB 6 – 72
- Tensão nominal – 72,5 kV
- Intensidade nominal – 800 A



- Tensão de choque – 325 kV
- Frequência – 50 Hz
- Corrente de curto-circuito – 1 seg. – 25 kA
- Capacidade máxima – 62,5 kA
- Alimentação – 48 V cc
- Pressão SF 6 – 7 Bares
- Ciclo de funcionamento 0 – 0,3 seg. – CO + 3 min – CO
 - Comando
 - Por molas
 - Tensão de comando – 48V cc
 - Tensão de aquecimento – 220 V

5.6.3.1.4 Transformador de intensidade

Os transformadores de intensidade que serão colocados na subestação são da marca EFACEC, do tipo QDR 72,5. Estes apresentam as seguintes características:

- Primário – 100/200 A
- Secundário – 5/5
- Potência – 30/30 VA
- KV – 72,5/140/325 – I_{th} – 25 kA – 3 seg. - $I_{dinamico}$ – 62,5 kA
- Classe 0,2 – 0,2/FS 5 – FS 5

5.6.3.1.5 Transformadores de tensão

Os transformadores de tensão que serão utilizados na subestação são do fabricante EFACEC, do tipo UES 60 e apresentam as seguintes características:

- Primário – 6000/ V3 V
- Secundário – 100/V3 – 100/3 V
- Potência 30/30 VA
- KV – 72,5/140/325



- Classe – 0,2 – 0,2
- Potência máxima (VA) – 0,5 – 0,5

5.6.3.1.6 Descarregadores de sobretensão

Os descarregadores de sobretensão são do fabricante SOULÉ. A Estrela do transformador de potência será ligada ao descarregador de sobretensão com o valor de 75% da tensão nominal, ou seja 48 kV. Estes descarregadores de sobretensão têm as seguintes características:

- U_r – 72,5 kV
- U_c – 56% U
- I_n – 18 kA
- Classe - 2

5.6.3.1.7 Ligações entre a aparelhagem

A ligação entre a aparelhagem será executada através de um barramento em tubo de cobre de 60/50 mm por meio de ligadores fixos e elásticos.

Os tubos serão apoiados em isoladores com carga mínima de ruptura de 4000 N.

5.6.3.1.8 Transformador de potência

A potência nominal dos transformadores de potência é de 15 MVA, sendo o grupo de ligação YNd11. Este aparelho reúne as seguintes características:

- Tensão nominal – 60000 + - 10 % / 15000
- Intensidade primária – 144 A
- Intensidade secundária – 577 A
- Tomadas +- 2x2,5 %
- U_{cc} – 10 %
- Tensão de isolamento – 72,5 – 140 – 325 kV



- Nível de isolamento secundário – 17,5 – 38 – 95

5.6.3.2 Material de MT

5.6.3.2.1 Ligação da MT do transformador de potência ao Quadro de MT

A saída dos bornes do transformador de potência será efectuada em tubo de cobre de 60/50 mm para apoio metálico com isoladores.

5.6.3.2.1.1 Descarregadores de sobretensão

Serão utilizados três descarregadores de sobretensão do fabricante SOULÉ, com as seguintes características:

- U_r – 17,5 kV
- U_c – 56 % U
- I_n – 18 kA
- Classe –2

5.6.3.2.1.2 Ligação ao Quadro de MT

A ligação ao Quadro de MT será feita em cabo seco do tipo LXHIOV 2x (3x1x120mm²) de tensão 8,5/15 kV (4444A) com aproximadamente 16 metros.

5.6.3.3 Quadro de MT

O Quadro de MT utilizado é um quadro compacto do tipo SM 6 da Merlin Gerin, instalado no interior e assente em estrutura de cimento de um edifício próprio.

O Quadro de MT é composto pelas seguintes partes:

- Cella de chegada do transformador de potência
- Três celas de saída



- Cella para os três transformadores de tensão, para alimentação das protecções dos disjuntores

Estas celas são constituídas pelas seguintes partes:

5.6.3.3.1 Chegada do transformador de potência

Esta cela será do tipo CMP-A, equipada com disjuntor de SF6 de extracção, com as seguintes características:

- U_n – 17,5 kV
- I_n – 400 A
- U_w – 95 kV
- $I_{máx}$ – 50 hA
- I_{th} – 20 kA
- Sinalização de presença de tensão por condensador divisor de tensão
- Comando manual

5.6.3.3.2 Saídas para os aerogeradores

A cela para a saída dos aerogeradores é do tipo CMP –A, equipada com disjuntor de SF 6 de extracção. Esta é composta pelas seguintes características:

- U_n – 17,5 kV
- I_n – 400 A
- U_w – 95 kA
- $I_{máx}$ – 50 hA
- I_{th} – 20 kA
- Sinalização de presença de tensão através do condensador divisor de tensão
- Comando motorizado a 48 V cc



- Transformadores de intensidade para protecção e contagem com as seguintes características:
 - Fabricante – ARTECHE
 - Tipo – ACF 24
 - KV – 17.5 kV
 - Ith – 20 kA
 - Primário – 200 A
 - Secundário – 5/5
 - Potência – 60/30 VA
 - Classe – 0,5 – 5 P 15
 - Relés de protecção do tipo SEPAM 1000, do fabricante Merlin Gerin, para protecção de Máximo Intensidade de Sobrecarga, Máximo Intensidade de Curto Circuito e Homopolar de Terra

5.6.3.3.3 Cella para os transformador de tensão

A cela do transformador de tensão, para alimentação das protecções dos disjuntores, é do tipo CME. Esta é equipada com um seccionador/fusível e apresenta as seguintes características:

- U_n – 17,5 kV
- I_n – 630 A
- U_w – 95 kV
- $I_{máx}$ – 50 hA
- Fusível – 6,3 A
- Comando manual



Os transformadores de tensão são do tipo UCL 24, do fabricante ARTECHE. Estes apresentam as seguintes características:

- KV – 17,5 kV
- Primário – 15000/V3 V
- Secundário – 110/V3 – 110/3 V
- Potência – 15 VA – Classe 0,5
- Potência – 15 VA – Classe – SP

5.6.3.4 Quadro de comando de AT

No quadro de comando de AT existirá um esquema sinótico com:

- Kvoltímetro para indicação da tensão de 60 kV
- Indicação da posição do seccionador de terra
- Indicação da posição seccionador de chegada
- Comando à distância e indicação da posição do disjuntor

5.6.3.4.1 Regulação de tomadas do transformador de potência

A regulação das tomadas do transformador pode ser:

- Interruptor Manual
- Interruptor de subir/descer em manual

5.6.3.4.2 Sinalizador de alarmes e disparo das protecções

- Temperatura do óleo – Alarme
- Temperatura do óleo – Disparo
- *Buchholz* TP – Alarme
- *Buchholz* TP – Disparo
- *Buchholz* regulador de carga – Defeito
- Nível mínimo do óleo



- Nível máximo do óleo
- Nível do óleo regulador de carga mínimo
- Nível do óleo regulador de carga máximo
- V.Qualitrol – Defeito

Existe um interruptor para cancelar a buzina, alarmes e defeitos, e ainda, ensaios de sequência.

5.6.3.4.3 Protecções instaladas

As protecções instaladas são do tipo indirecto e alimentadas pelos TI's e TT's de 60 kV para a protecção da instalação. A sua actuação dá a abertura ao disjuntor de 60 kV do Painel linha/transformador.

5.6.3.4.3.1 Protecções de máximo de intensidade

As protecções de máximo de intensidade utilizadas são do tipo RMS 7000 da CEE. Este aparelho permite uma regulação para:

- Máximo de intensidade de sobrecarga ($I_{n>}$) com temporização
- Máximo de intensidade de curto-circuito ($I_{cc>>}$) com temporização instantânea
- Intensidade homopolar com temporização

5.6.3.4.3.2 Protecção de tensão

O aparelho de tensão utilizado é do tipo TMS 700 da CEE. Este permite uma regulação para:

- Tensão mínima ($U_{>}$)
- Tensão máxima ($U_{<}$)
- Máximo de tensão homopolar ($U_{o>}$)



5.6.3.5 Quadros de Serviços Auxiliares

5.6.3.5.1 Quadro Geral de Baixa Tensão dos Serviços Auxiliares

A constituição deste quadro é descrita no item 3.1.5.1 da memória descritiva do parque eólico.

5.6.3.5.2 Quadro de Corrente Contínua, QCC

A constituição deste quadro é a descrita no item 3.1.5.3 da memória descritiva do parque eólico.

O rectificador associado às baterias é do tipo fabricante *Oficel*, com as seguintes características:

250 V CA 50 Hz

48 V CC 20 A

Pot. 960 W

As baterias são do fabricantes *Steco*:

Tipo SAPHIR

Capacidade 38 Ah

5.6.3.6 Interligação entre o Quadro de MT e os PS/PT'S

A interligação entre o quadro de média tensão do posto de corte do parque eólico e os diversos postos de seccionamento será efectuada em cabo unipolar, fabricado em alumínio, do tipo LXHIOV 120 mm² - 8,7/15 kV.



5.6.3.7 Encravamentos

Para segurança nas manobras da subestação foram definidos os seguintes encravamentos entre aparelhagem:

5.6.3.7.1 Entre o Seccionador de Terra e o Seccionador de chegada nos 60 kV

Por acoplamento mecânico, o Seccionador de Terra só fecha se o Seccionador de chegada estiver na posição de aberto.

Nota: O seccionador de Terra coloca à Terra a linha de 60 kV de chegada.

5.6.3.7.2 Entre o Seccionador de chegada e o Disjuntor de 60 kV

O seccionador de chegada só fecha com o disjuntor aberto e com a introdução da chave retirada do disjuntor. Por sua vez, o disjuntor só fecha com a chave introduzida e com o seccionador na posição de fechado.

5.6.3.7.3 Actuação das Protecções próprias do Transformador de Potência

A actuação das protecções próprias do transformador de potência como disparo por óleo, temperatura, *buchholz*, darão abertura ao Disjuntor de 60 kV que só poderá ser ligado após pesquisa e cancelamento local do motivo de actuação.

5.6.3.7.4 Celas de MT

Só é possível a ligação do Seccionador de Terra, assim que se der a abertura do Seccionador de Barramento da saída do QMT.



5.6.3.8 Contagem de Energia

A subestação deverá ser dotada de um sistema de contagem para medir a energia de entrada e saída do lado dos 60 kV de forma a poder ser aplicado o tarifário vigente.

O cliente deverá dispor de espaço para a sua instalação e disponibilizar a linha telefónica para permitir a sua telecontagem.

O armário de contagem será totalmente electrificado constituído por um invólucro metálico devidamente tratado e contendo o material necessário para a contagem de energia.

5.6.3.9 Sistemas de Terras da Subestação

Será do tipo terra única para toda a subestação exterior e interior, em cujo valor máximo deverá ser inferior ou igual a 1 Ohm.

Deverá ainda ser ligada a esta terra todas as estruturas, ferragens, chassis, bastidores, armários, peças metálicas, cuba do transformador, bainhas metálicas de cabos, descarregadores de sobretensão, secundários de TT's e TI's, etc.

O recinto exterior deve levar uma camada de gravilha com 10 cm de altura para aumentar a resistividade do terreno e proteger da tensão de passo.

A malha de terra do parque exterior deverá ser constituída por: condutor de cobre nu de 70 mm² em quadrícula de 3 x 3 metros, instalada a uma profundidade de 1 metro com *piquets* de aço cobreado de 2 metros de comprimentos e 20 mm de diâmetro. Enterrados a 0,80 metros e instalados pelo menos nos extremos das malhas e nas baixadas dos descarregadores de sobretensão de modo a garantir o valor de 1 Ohm. Deverão também ser instalados pontos de ligação acessíveis de modo a se poder medir o valor da terra ao longo do tempo.

A ligação entre malhas será feita por ligadores apropriados ou soldadura aluminotérmica.

Todos os condutores que emergem do terreno levarão neste troço protecção mecânica.



5.6.3.10 Vedação exterior

Poderá ser considerado a protecção do recinto exterior por uma rede metálica plastificada de 2 metros de altura e assente num muro de betão com uma altura de 15 cm acima da gravinha.

Esta vedação terá um portão de 2 folhas com 2,70 m de cada folha para entrada e saída de aparelhagem.

5.6.3.11 Material de Segurança

A instalação deverá ser dotada do seguinte material de segurança:

- Plataforma equipotencial junto do seccionador de chegada a 60 kV
- Tapetes isolantes no interior
- Luvas para 72,5 kV e 17,5 kV
- Capacete para manobra exterior
- Chapas de aviso de “PERIGO DE MORTE” na vedação exterior
- Extintores
- Mapa de Registo com o valor da TERRA da Subestação
- Instruções de primeiros socorros
- Chaveiro com indicação das chaves para manobras
- Lanterna de socorro



5.6.4 Dimensionamento

5.6.4.1 Subestação Eléctrica

5.6.4.1.1 Critérios Gerais

Em seguida procederemos ao cálculo das potências de curto-circuito e esforços electrodinâmicos para determinar o poder de corte dos disjuntores, e nas características do barramento e aparelhagem a instalar em Alta e Média Tensão.

Também se justificam o tipo e secção dos condutores tendo em conta o triplo critério de:

- Intensidade permanente máxima admissível
- Queda de tensão
- Intensidade de curto-circuito máximo admissível

O valor da potência de curto-circuito para 60 kV, tomada como valor base dos cálculos, de 800 MVA.

5.6.4.1.2 Potência de Transformação

A potência de transformação a considerar será obtida a partir de apenas uma unidade transformadora com as seguintes características:

- Potência Nominal – 10 MVA
- Corrente no primário – 96 A
- Corrente no secundário – 385 A
- Tensão de curto-circuito – 9,53 %
- Perdas – 8,9 %



5.6.4.1.3 Cálculo da Intensidade de Curto-circuito a 60 kV

Dado que, no ponto de entrega, a potência de curto-circuito para um defeito trifásico simétrico é de 800 MVA e a tensão nominal é 60 kV, temos:

❖ Intensidade de curto-circuito a 60 kV

$$I_{cc60} = \frac{S_{cc60}}{\sqrt{3} \times U_c} = \frac{800 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 60 \times 10^3} = 7,7 \text{ kA}$$

5.6.4.1.4 Cálculo dos valores máximos de choque a 60 kV

Potência de crista

$$S_{ch60} = 1,8 \times \sqrt{2} \times S_{cc60} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 800 \times 10^6 = 2036 \text{ MVA}$$

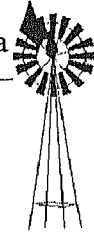
Intensidade de crista

$$I_{ch60} = 1,8 \times \sqrt{2} \times I_{cc60} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 7,7 \times 10^3 = 20 \text{ kA}$$

5.6.4.1.5 Características da aparelhagem de 60 kV

Características mínimas:

- Potência de curto-circuito ≥ 800 MVA
- Intensidade de curto-circuito $\geq 7,7$ kA
- Potência de crista ≥ 2036 MVA
- Intensidade de crista ≥ 20 kA



Características dos seccionadores:

- Intensidade térmica: 31,5 kA (> 7,7 kA)
- Intensidade dinâmica: 80 kA (> 20 kA)

Características dos disjuntores:

- Poder de corte: 25 kA (> 7,7 kA)
- Intensidade térmica: 25 kA (> 7,7 kA)
- Intensidade dinâmica: 62,5 kA (> 20 kA)

5.6.4.1.6 Cálculo dos barramentos de 60 kV

Pressupostos

- ❖ Potência de curto-circuito no ponto de entrega: 800 MVA
- ❖ Intensidade de curto-circuito no ponto de entrega: 7,7 kA
- ❖ Intensidade de crista: 20 kA
- ❖ Barramento: tubo de cobre 60/50
- ❖ Distância entre eixos de barras: 130 cm
- ❖ Vão entre dois isoladores de apoio: 580 cm

Força exercida sobre os barramentos devido à corrente de curto-circuito

$$F_c = 0,2 \times I_{din}^2 \times \frac{L}{D}$$

Onde:

I_{din} = I_{ch} – Intensidade máxima que circula no barramento, em caso de curto-circuito, em kA

L – Distância entre isoladores de apoio, em cm

D – Distância entre eixos das barras, em cm



$$F_c = 0,2 \times I_{din}^2 \times \frac{L}{D} = 0,2 \times 20^2 \times \frac{580}{130} = 257N$$

Força vertical devida ao peso

- ❖ Comprimento: 5,80 m
- ❖ Peso específico do cobre: $88 \times 10^3 \text{ N/m}^3$
- ❖ Volume:

$$V = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times h$$

Onde:

D – Diâmetro exterior do barramento, em m

d – Diâmetro interior do barramento, em m

h – Comprimentos do barramento, em m

$$V = \frac{\pi \times (0,06^2 - 0,05^2)}{4} \times 5,8 = 5,01 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Força vertical exercida

$$F_p = V \times v_{Cu}$$

Onde:

V – Volume do barramento, em m^3

v_{Cu} – Peso específico do cobre, em N/m^3

$$F_p = 5,01 \times 10^{-3} \times 88 \times 10^3 = 441N$$



Força resultante

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2} = \sqrt{357^2 + 441^2} = 567 \text{ N}$$

Fadiga máxima electrodinâmica

$$\theta = \frac{F \times L}{6 \times W_y}$$

Onde:

F – Força resultante exercida sobre o barramento no vão em curto-circuito

L – Distância entre isoladores de apoio, em cm

W_y – módulo resistente à flexão, em cm^3

$$W_y = \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \times \frac{6^4 - 5^4}{6} = 11 \text{ cm}^3$$

$$\theta = \frac{F \times L}{6 \times W_y} = \frac{567 \times 580}{6 \times 11} = 4983 \text{ N/cm}^2$$

Coefficiente de segurança dos isoladores de apoio

Utilizando isoladores de apoio cuja carga mínima de ruptura é 4000 N, temos:

$$C = \frac{\text{carga mínima de ruptura}}{\text{força resultante}} = \frac{4000}{567} = 7,1$$



Conclusão:

O barramento escolhido, suporta os esforços electrodinâmicos produzidos por um curto-circuito, já que, se verificam as seguintes condições:

$$\theta < 1,5 \times \theta_{0,2} \quad 4983 N/cm^2 < 49500 N/cm^2$$

$$\theta < \theta'_{0,2} \quad 4983 N/cm^2 < 40000 N/cm^2$$

Onde:

$\theta_{0,2}$ - valor mínimo da resistência até ao ponto limite da elasticidade do cobre

$\theta'_{0,2}$ - valor máximo da resistência até ao ponto limite da elasticidade do cobre

5.6.4.1.7 Cálculo da Potência e Intensidade de Curto-circuito a 15 kV

Potência de curto-circuito no ponto de entrega

$$s_{cc} = 800 \text{ MVA}$$

Impedância da rede a montante

$$X_r = \frac{U_c^2}{S_{cc}} = \frac{15000^2}{800 \times 10^6} = 0,28 \quad \Omega$$

$$Z_r = 0,28 \quad \Omega$$

Impedância do transformador

$$X_t = \frac{U_c^2}{S_t} \times \frac{u_{cc}}{100} = \frac{15000^2}{10 \times 10^6} \times \frac{9,53}{100} = 2,14 \quad \Omega$$



$$Z_t = 2,14 \ \Omega$$

Onde:

U_{cc} - é a tensão de curto circuito do transformador = 9,53 %

Impedância de defeito

$$Z_d = Z_r + Z_t + Z_c = 0,28 + 2,14 = 2,42 \Omega$$

Corrente de curto-circuito

$$I_{cc15} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \times Z_d} = \frac{15000}{\sqrt{3} \times 2,42} = 3,58 \text{ kA}$$

Potência de curto-circuito

$$S_{cc15} = \sqrt{3} \times U_c \times I_{cc} = \sqrt{3} \times 15000 \times 3,58 \times 10^3 = 93 \text{ MVA}$$

5.6.4.1.8 Cálculo dos valores máximos de choque a 15 kV

Potência de crista

$$S_{ch15} = 1,8 \times \sqrt{2} \times S_{cc15} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 93 \times 10^6 = 237 \text{ MVA}$$

Intensidade de crista

$$I_{ch15} = 1,8 \times \sqrt{2} \times I_{cc15} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 3,58 \times 10^3 = 9,1 \text{ kA}$$



5.6.4.1.9 Cálculo dos barramentos de 15 kV

Dos bornes secundários a 15 kV, partirão os barramentos principais em tubo de cobre de dimensões 60/50.

Pressupostos

- ❖ Potência de curto-circuito: 93 MVA
- ❖ Intensidade de curto-circuito: 0,358 kA
- ❖ Intensidade de crista: 9,1 kA
- ❖ Barramento: tubo de cobre: 60/50
- ❖ Distância entre eixos de barras: 80 cm
- ❖ Vão entre dois isoladores de apoio: 200 cm

Força exercida sobre os barramentos devido à corrente de curto-circuito

$$F_c = 0,2 \times I_{din}^2 \times \frac{L}{D}$$

Onde:

$I_{din} = I_{ch}$ - Intensidade máxima que circula no barramento, em caso de curto-circuito, em kA

L – Distância entre isoladores de apoio, em cm

D – Distância entre eixos das barras, em cm

$$F_c = 0,2 \times I_{din}^2 \times \frac{L}{D} = 0,2 \times 9,1 \times \frac{200}{80} = 41 \text{ N}$$



Força vertical devida ao peso

- ❖ Comprimento: 200 m
- ❖ Peso específico do cobre: $88 \times 10^3 \text{ N/m}^3$
- ❖ Volume

$$V = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times h$$

Onde:

D – Diâmetro exterior do barramento, em m

d – Diâmetro interior do barramento, em m

h – Comprimento do barramento, em m

$$V = \frac{\pi \times (0,06^2 - 0,05^2)}{4} \times 2,0 = 1,73 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Força vertical exercida

$$F_p = V \times v_{Cu}$$

Onde:

V – Volume do barramento, em m^3

v_{Cu} - peso específico do cobre, em N/m^3

$$F_p = 1,73 \times 10^{-3} \times 88 \times 10^3 = 152 \text{ N}$$



Força resultante

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2} = \sqrt{41^2 + 152^2} = 157 \text{ N}$$

Fadiga máxima electrodinâmica

$$\theta = \frac{F \times L}{6 \times W_y}$$

Onde:

F – Força resultante exercida sobre o barramento no vão em curto-circuito

L – Distância entre isoladores de apoio, em cm

W_y - Módulo resistente à flexão, em cm^3

$$W_y = \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \times \frac{6^4 - 5^4}{6} = 11 \text{ cm}^3$$

$$\theta = \frac{F \times L}{6 \times W_y} = \frac{157 \times 200}{6 \times 11} = 478 \text{ N/cm}^2$$

Coefficiente de segurança dos isoladores de apoio utilizando isoladores de apoio cuja carga mínima de ruptura é 4000 N, temos que:

$$C = \frac{\text{carga mínima de ruptura}}{\text{força resultante}} = \frac{4000}{157} = 25$$



Conclusão:

O barramento escolhido, suporta os esforços electrodinâmicos produzidos por um curto-circuito, já que, se verificam as condições:

$$\theta < 1,5 \times \theta_{0,2} \quad 478N/cm^2 < 49500N/cm^2$$

$$\theta < \theta'_{0,2} \quad 478N/cm^2 < 4000N/cm^2$$

Onde:

$\theta_{0,2}$ - Valor mínimo da resistência até ao ponto limite da elasticidade do cobre

$\theta'_{0,2}$ - Valor máximo da resistência até ao ponto limite da elasticidade do cobre

5.6.4.1.10 Cálculo da Canalização de Média Tensão a 15 kV

O troço de canalização a 15 kV, de interligação entre os barramentos de 15 kV e as celas da Cabina de Distribuição, são executados com cabos 3 LXHIOV 1x240mm².

❖ Intensidade permanente máxima admissível

A intensidade máxima admissível para os cabos escolhidos é de 520 A.

De acordo com os dados do fornecedor a corrente de serviço no secundário do transformador é de 389 A.

Então verifica-se a condição $I_s \leq I_z$.

❖ Queda de tensão

A queda de tensão entre as fases, num circuito trifásico equilibrado é dada pela seguinte expressão:



$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_s \times L \times (R \times \cos \phi + X \times \sin \phi)$$

Onde:

I_s - corrente de serviço da canalização, em A

L - Comprimento da canalização, em m

R - Resistência linear da canalização, em Ω/m

$\cos \phi$ - Factor de potência do circuito

X - Reactância linear da canalização, em Ω / m

Assim:

$$I_s = 389 \text{ A}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

$$R = 20,2 \times 10^{-2} \text{ } \Omega / km = 202 \times 10^{-6} \text{ } \Omega / m$$

$$\cos \phi = 0,9 \Rightarrow \sin \phi = 0,44$$

$$X = 12 \times 10^{-2} \text{ } \Omega / km = 120 \times 10^{-6} \text{ } \Omega / m$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 389 \times 16 \times (200 \times 10^{-6} \times 0,9 + 120 \times 10^{-6} \times 0,44)$$

$$\Delta U = 2,53V$$



A queda de tensão percentual será

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_c} \times 100 = \frac{2,53}{15000} \times 100 = 0,017 \%$$

o que é um valor perfeitamente desprezável.

❖ Intensidade de curto-circuito máximo admissível

O cabo é protegido por um disjuntor cujo tempo de corte é inferior a 0,2 s.

Como vimos anteriormente, para 15 kV, a intensidade máxima de curto-circuito é 3,58 kA.

Assim, a secção mínima do condutor ao curto-circuito é:

$$S_{\min} = \sqrt{\frac{I_f^2 \times t}{74 \times \partial}} = \sqrt{\frac{3580^2 \times 0,2}{74 \times 150}} = 15,2 \text{ mm}^2$$

Onde:

I_f - Intensidade de curto-circuito

t - tempo de duração do curto-circuito

C - Constante de aquecimento, 74 para o alumínio

∂ - Aumento de temperatura em t segundos ($150^\circ C$)

Uma vez que $15,2 \text{ mm}^2 < 240 \text{ mm}^2$, o cabo escolhido suporta perfeitamente os curtos-circuitos que eventualmente se venham a verificar.



5.6.4.1.11 Distâncias e Zonas de Protecção

❖ Distâncias entre condutores

Estão previstas as seguintes distâncias, bastante superiores aos mínimos regulamentares:

- a 60 kV
 - distância entre condutores activos: 100 cm
 - distância entre condutor e a terra: 85 cm
- a 15 kV
 - distância entre condutores activos: 80 cm
 - distância entre condutor e a terra: 30 cm

❖ Passagens de serviço

De acordo com a regulamentação em vigor, as larguras mínimas são:

- de passagem de inspecção: 0,8 m
- de manobra de um só lado: 1 m
- de manobra de dois lados: 1,2 m

❖ Barramentos

As distâncias dos barramentos ao solo são:

- a 60 kV : 310 cm
- a 15 kV : 300 cm



❖ Zonas de Segurança

- A distância de protecção à vedação exterior é de 150 cm
- A altura da vedação prevista é de 220 cm
- A entrada e saída de cabos aéreos realizar-se-á a 4 m de altura
- As zonas reais de protecção contra contactos acidentais, no interior e no exterior do recinto, superam as exigidas pela regulamentação.

5.6.4.1.12 Níveis de Isolamentos

❖ Aparelhagem a 60 kV

As distâncias dos barramentos ao solo são:

Os níveis de isolamento nominais associados aos valores normalizados da tensão mais elevada para a aparelhagem, 72,5 kV, são:

- tensão nominal suportada a impulsos tipo onda de choque: 325 kV crista
- tensão nominal de curta duração suportada à frequência industrial: 140 kV

Dado que em 60 kV a rede está efectivamente à terra considera-se, segundo as normas de guias de aplicação de pára-raios de resistência variável, um coeficiente de ligação à terra de 80 %.

Desta forma, a máxima sobretensão fase-terra, sem considerar sobretensões anormais, será:

$$72,5 \times 0,80 = 58 \text{ kV}$$

Foram previstos pára-raios de 18 kA de corrente de descarga e 72,5 kV de tensão nominal.