

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

DANIELA MIDORI TANAKA KAWABATA

**AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE
ENERGIA PARA CENTRAIS EÓLICAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

DANIELA MIDORI TANAKA KAWABATA

**AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE
ENERGIA PARA CENTRAIS EÓLICAS**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Esp. Marcelo Borck Machado

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

DANIELA MIDORI TANAKA KAWABATA

AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ENERGIA PARA CENTRAIS EÓLICAS

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 20 de novembro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A aluna foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Marcelo Borck Machado
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

RESUMO

KAWABATA, Daniela Midori Tanaka. **AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ENERGIA PARA CENTRAIS EÓLICAS.** 2018. 67 f. Monografia - Curso de Especialização em Energias Renováveis, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2018.

Este trabalho realizou a análise de custo envolvida na definição e escolha de uma rede coletora de média tensão (RMT), para implantação do parque eólico denominado Ventania. Contempla ainda as questões técnicas envolvidas no dimensionamento das redes do tipo aérea e subterrânea e as características de cada uma. A partir do dimensionamento da rede, os materiais e serviços foram levantados e cotados, chegando a um valor por km de cada tipo de rede. Toda essa análise se faz necessária devido à expansão da energia eólica no país, no crescimento da concorrência e conseqüentemente na necessidade de otimização das instalações e redução de custos, com o aumento da geração. Apesar da rede coletora representar um baixo custo diante do valor total do empreendimento, o impacto causado pela falha na rede e a impossibilidade de escoar a energia gerada pode ser um bom motivo para se investir mais tempo e dinheiro na RMT. Os resultados evidenciaram que o custo de implantação da rede subterrânea é muito mais elevado que o da rede aérea, e a importância do dimensionamento correto dos condutores.

Palavras-chave: Custo da rede coletora de média tensão. RMT. Rede aérea. Rede Subterrânea.

ABSTRACT

KAWABATA, Daniela Midori Tanaka. **EVALUATION OF COSTS FOR THE IMPLANTATION OF ENERGY COLLECTORS FOR WIND CENTERS.** 2018. 67 f. Renewable Energy Degree Specialization - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2018.

This job analyzed the costs involved in defining and choosing a medium voltage (MV) distribution network for the construction of a new wind farm called Ventania. It also includes the technical issues involved in the design of aerial and underground networks and the characteristics of each one. From the sizing of the network, the materials and services were defined and a price survey was done, reaching a value per km of each type of network. All this analysis is necessary due to the expansion of wind energy in the country, the growth of competition and consequently the need to optimize facilities and reduce costs, with the increase in generation. Despite the network represent a low cost compared to the total value of the project, the impact of network failure and inability to distribute the energy can be a great reason to invest more time and money in MV networks. The results of analysis showed that the cost to construction the underground network is higher than construction the aerial network and the importance of the correct dimensioning of the conductors.

Keywords: Cost of the MV network. Aerial network. Underground network.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PARQUE EÓLICO NA REGIÃO NORDESTE	12
FIGURA 2 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	13
FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA.....	18
FIGURA 4 – AFASTAMENTO ENTRE AEROGERADORES EM UM <i>MICROSITING</i>	19
FIGURA 5 – ESQUEMA TÍPICO DE CONEXÃO DO PARQUE EÓLICO NO SIN	19
FIGURA 6 – REDE COLETORA AÉREA	20
FIGURA 7 – CIRCUITO SIMPLES.....	21
FIGURA 8 – CIRCUITO DUPLO	21
FIGURA 9 – CABO DE ALUMÍNIO CA	21
FIGURA 10 – REDE COLETORA AÉREA	22
FIGURA 11 – REDE COLETORA SUBTERRÂNEA	23
FIGURA 12 – CONDUTOR ISOLADO	23
FIGURA 13 – MONTAGEM DE ESTRUTURA TÍPICA DE TRANSIÇÃO SUBTERRÂNEO/AÉREO.....	24
FIGURA 14 – MÉTODO DE INSTALAÇÃO F	27
FIGURA 15 – MÉTODO DE INSTALAÇÃO H.....	27
FIGURA 16 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA I	32
FIGURA 17 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA II	33
FIGURA 18 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA III	33
FIGURA 19 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA IV	34
FIGURA 20 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA V	34
FIGURA 21 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA I	41
FIGURA 22 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA II	41

FIGURA 23 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA III	42
FIGURA 24 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA IV	42
FIGURA 25 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA V	43

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 – FATOR DE CORREÇÃO DE TEMPERATURA	28
QUADRO 2 – FATOR DE CORREÇÃO DE RESISTIVIDADE	29
QUADRO 3 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE	35
QUADRO 4 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO ..	37
QUADRO 5 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DAS PERDAS ELÉTRICAS	38
QUADRO 6 –REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS AÉREOS – CAPACIDADE DE CORRENTE	39
QUADRO 7 – REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS AÉREOS – PERDAS ELÉTRICAS	40
QUADRO 8 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE	44
QUADRO 9 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO ..	45
QUADRO 10 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DE PERDAS ELÉTRICAS	47
QUADRO 11 – REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS	48
QUADRO 12– REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS– PERDAS ELÉTRICAS.....	49
QUADRO 13 – REDIMENSIONAMENTO REDE AÉREA	49
QUADRO 14 – REDIMENSIONAMENTO REDE SUBTERRÂNEA	50
QUADRO 13 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE AÉREA	51
QUADRO 14 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE SUBTERRÂNEA.....	54
QUADRO 15 – CUSTOS ESTIMADOS.....	56

LISTA DE SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RMT	Rede de Média Tensão
SE	Subestação
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	14
1.1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	JUSTIFICATIVA	15
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	18
2.2	MICROSITING.....	18
2.3	REDE DE MÉDIA TENSÃO	19
2.3.1	Tipos de Rede de Média Tensão.....	20
2.3.2	Outros Sistemas	24
2.4	DIMENSIONAMENTO DA RMT	25
2.4.1	Curto Circuito.....	25
2.4.2	Capacidade de Corrente	26
2.4.3	Queda de Tensão.....	29
2.4.4	Perdas Elétricas	30
3	METODOLOGIA	31
3.1	CRITÉRIOS DE PROJETO	31
3.2	COMPLEXO EÓLICO.....	31
3.3	DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO AÉREA.....	31
3.3.1	Critério de curto circuito.....	35
3.3.2	Critério de capacidade de corrente.....	35
3.3.3	Critério de queda de tensão	37
3.3.4	Critério de perdas elétricas.....	38
3.3.5	Redimensionamento.....	38
3.4	DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO SUBTERRÂNEA	

3.4.1	Critério de curto circuito.....	43
3.4.2	Critério de capacidade de corrente.....	44
3.4.3	Critério de queda de tensão	45
3.4.4	Critério de perdas elétricas.....	47
3.4.5	Redimensionamento.....	48
3.4.6	Impactos do Redimensionamento	49
3.5	LEVANTAMENTO DE MATERIAIS	50
3.6	LEVANTAMENTO DE CUSTOS	56
4	CONCLUSÃO	57
4.1	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS SEM IMPOSTOS COM BASE NO MÊS DE JULHO/2018 – REDE AEREA		59
ANEXO B - LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS SEM IMPOSTOS COM BASE NO MÊS DE JULHO/2018 – REDE SUBTERRANEA		62
REFERÊNCIAS.....		67

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2015 o Brasil participou da 21ª Conferência das Partes (COP21), Nesse encontro anual de líderes mundiais, que tem como objetivo discutir assuntos ambientais, o país se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera em 37% até 2025 e em 43% até 2030, tendo como base o ano de 2005. Para isso, o país se comprometeu dentre outros atos, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2017).

A crescente preocupação com questões ambientais tem causado impacto em todo o mundo, inclusive na matriz energética brasileira. É sabido que por um longo período a matriz brasileira tem sido essencialmente hidráulica, contudo, com a escassez de áreas com grande potencial hidráulico e o alto impacto ambiental e social causado pela construção de barragens, o país tem crescido em outras áreas como a geração eólica e a solar.

FIGURA 1 – PARQUE EÓLICO NA REGIÃO NORDESTE



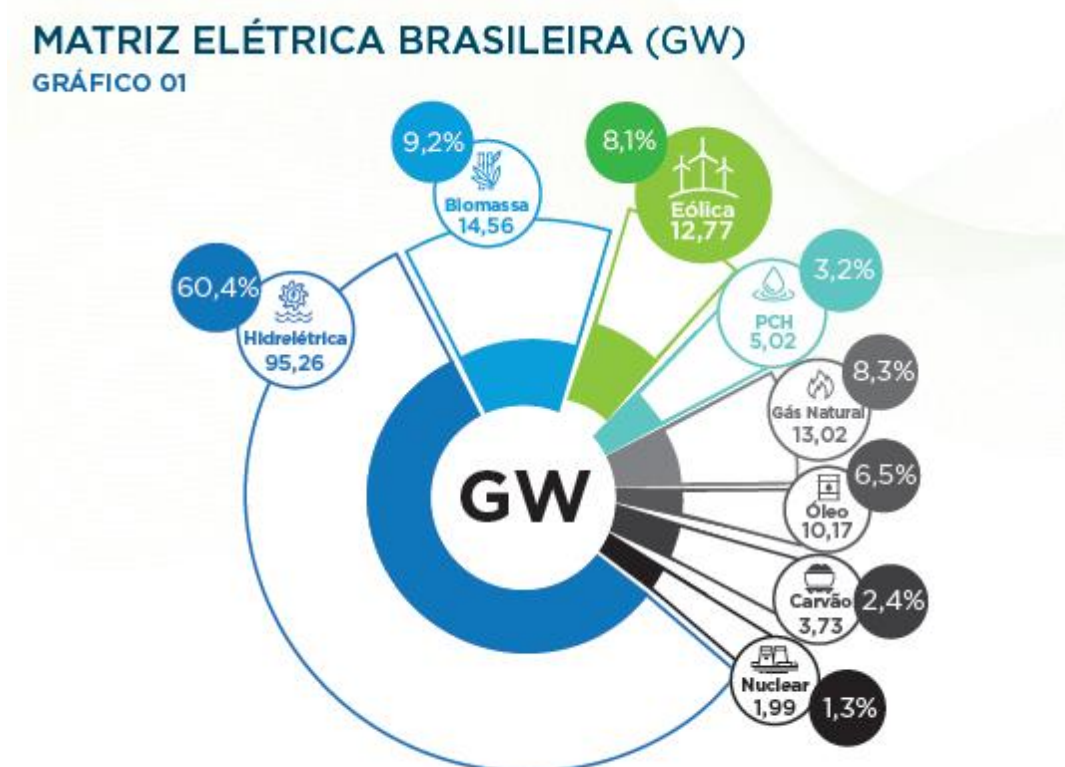
FONTE: O autor (2014)

ABEEÓLICA (2017) menciona que a região Nordeste representou neste ano quase que a totalidade da geração eólica, sendo responsável por 84% da produção de energia por esta fonte, devido a maior quantidade de parques instalados na região. A Figura 1 mostra um desses parques, na região litorânea do estado de Sergipe.

A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 33.489 GWh em 2016, equivalente a um aumento de 54,9% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 21.626 GWh (EPE, 2017).

Ainda segundo a ABEEólica (FIGURA 2), o crescimento da geração eólica no país aumentou a participação desta fonte na matriz energética nacional para 12,77 GW (2017), que representa 8,1% de contribuição na matriz energética.

FIGURA 2 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA



FONTE: ABEEólica – Boletim Anual de Geração 2017

Está evidente que a tendência é manter o crescimento para os próximos anos, com o aumento de investimentos nas fontes renováveis e a otimização dos sistemas, com o intuito de se obter uma maior capacidade de geração.

Essa otimização abrange a escolha e estudo correto do vento, definição de equipamentos, tipo da rede de média tensão, dimensionamento e escolha dos condutores.

1.1 TEMA

Estudo para avaliação dos custos envolvidos na escolha da implantação da rede coletora de média tensão em um complexo eólico.

1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho tem como foco avaliar os custos envolvidos na escolha de redes coletoras de média tensão de um parque eólico, considerando redes do tipo aérea/mista ou subterrâneas. Não serão consideradas neste trabalho as redes aéreas do tipo compactas por apresentarem restrições de aplicação devido à poluição ambiental.

O estudo irá abranger um caso prático comparativo da implantação dos dois tipos de rede em um *micrositing*.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A implantação de parques eólicos e solares demandam grandes investimentos. Essas fontes necessitam estar em paralelo com outra fonte, por serem inteiramente dependentes de fatores naturais e por possuírem uma baixa eficiência.

São consideradas fontes intermitentes, por este motivo, devem ser tratadas como complementares.

Os custos envolvidos na implantação de um Complexo Eólico são altíssimos e demandam tempo para implantação, licenciamento ambiental e altos custos de implantação, manutenção, desligamentos e indisponibilidade.

A falta de planejamento do setor elétrico impacta e limita o crescimento do potencial eólico pela indisponibilidade de linhas de transmissão para escoar e conectar os parques ao SIN. A falta de sincronismo entre a implantação dos novos parques e a ampliação do sistema de transmissão já deixou parques sem gerar energia por quase um ano (BBC, 2013).

Diante de investimentos tão altos e das dificuldades de implantação dos parques existe a necessidade de se obter o maior e melhor aproveitamento das instalações, com o menor custo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar os custos envolvidos na implantação de redes coletoras de média tensão do tipo aérea e subterrânea em um complexo eólico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Descrever as características positivas e negativas da utilização de cada tipo de rede;
- Estudar as perdas nos condutores;
- Levantar os materiais de cada alternativa;
- Levantar os custos envolvidos em cada alternativa;
- Listar os critérios principais a serem considerados na escolha da rede.

1.4 JUSTIFICATIVA

O setor eólico continua demonstrando o seu potencial de crescimento no Brasil. A energia considerada limpa, com baixo impacto ambiental e os custos, que anos atrás eram um entrave para o desenvolvimento desta fonte, hoje é considerada uma das fontes mais baratas, como pode ser visto nos últimos Leilões da ANEEL.

Mesmo com a falta ou atraso da implantação das linhas de transmissão, os leilões continuam acontecendo e os preços ofertados vêm reduzindo a cada nova concorrência. Como aconteceu no Leilão 001/2018 da ANEEL de abril/2018, onde o ICB médio para fontes eólicas foi de R\$67,6/MWh, enquanto que quatro meses antes, no Leilão A-4 de 12/2017 o ICB médio foi de R\$108/MWh, ou seja, uma queda de aproximadamente 40%.

O mesmo vem ocorrendo para a fonte solar, porém, de forma não tão expressiva, com quedas de aproximadamente 20%. No Leilão A-4 de 2018 a média foi de R\$118,03/MWh, enquanto que no Leilão de 12/2017 foi de R\$145,63/MWh.

Ainda para este ano de 2018 está previsto outro Leilão no final de Agosto, porém, com expectativas que os preços se elevem devido às alterações na contratação da energia, que até então era por “disponibilidade”, ou seja, as usinas se

comprometiam a gerar uma quantidade de energia por ano e precisavam arcar com o risco de a geração ficar abaixo do esperado em determinado mês, desde que respeitada a geração anual contratada. Agora a contratação passa a ser por “quantidade”, se em um determinado mês os ventos forem mais fracos que o projetado, o empreendedor terá que compensar a diferença, comprando energia no mercado de curto prazo, a preços mais altos. Em resumo, o risco da geração que ficava com os consumidores, passa a ser do gerador, que precisará garantir o volume negociado no Leilão, comprando energia do mercado, caso necessário. Neste leilão, foram inscritos 27 GW de potência, sendo que a expectativa do setor é que a demanda pela fonte seja de 1 GW.

Nesse novo modelo de contratação a rede coletora mantém a sua importância. Apesar de representar um custo baixo, dentro dos investimentos para a implantação de um parque eólico, cerca de 3% dos custos totais, causa um grande impacto financeiro pela indisponibilidade do parque, caso venha a falhar.

Empresas construtoras e EPCistas¹ trazem como referência elevadas alterações de concepção de projetos da rede coletora, entre o momento da inscrição de um projeto na EPE, etapa inicial de um leilão de energia, e a construção do empreendimento. Alguns fatores que justificam estas mudanças são: dificuldades de licenciamento ambiental, desapropriação fundiária e liberação de faixas de servidão nas propriedades onde o parque eólico está instalado, variação do custo de materiais, especialmente cabos isolados que trazem alguns componentes indexados ao dólar.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho inicialmente terá como base pesquisas bibliográficas em livros, artigos científicos, publicações de órgão público do setor energético. O tema é deficiente de material bibliográfico.

Com base nas informações levantadas serão definidos os conceitos principais que deverão ser analisados no estudo da rede.

Será estudada a aplicação dos diferentes tipos de rede em um *micrositing* e levantados todos os pontos específicos de casa alternativa.

¹ Empresa contratada para executar um contrato na modalidade EPC (*Engineering, Procurement and Construction*).

Por fim os critérios relevantes serão listados e justificados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será composto por quatro partes distintas, sendo:

Capítulo 1 – uma breve introdução do trabalho, com a justificativa do tema e os objetivos.

Capítulo 2 – conceitos e as principais diferenças entre as redes de média tensão.

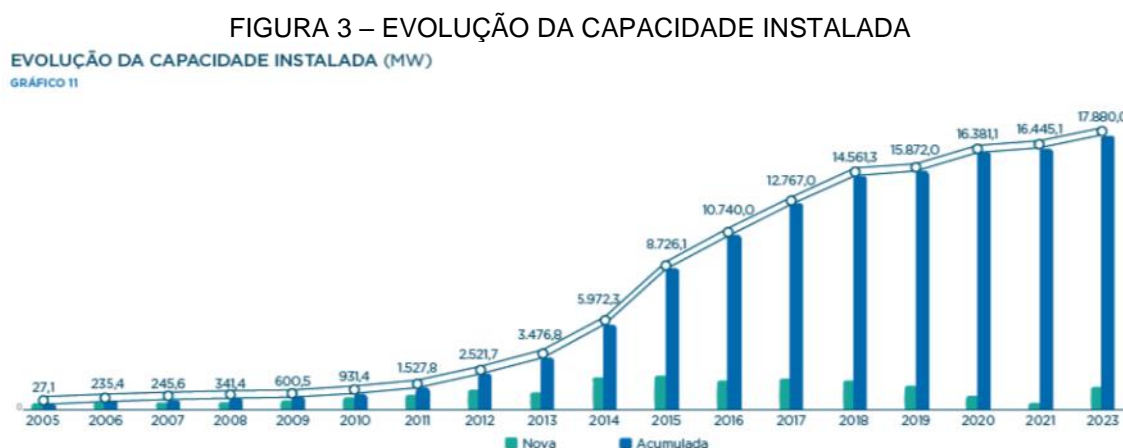
Capítulo 3 – aplicação dos diferentes tipos de rede no *micrositing*, as vantagens e desvantagens, critérios a serem considerados.

Capítulo 4 – conclusão e indicação de critérios relevantes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Segundo Rodrigues (2001) o potencial eólico brasileiro vem sendo estudado desde os anos de 1970 e seu histórico demonstra uma lenta descoberta de um potencial energético natural de relevante magnitude existente no país.



FONTE: ABEEólica – Boletim Anual de Geração 2017

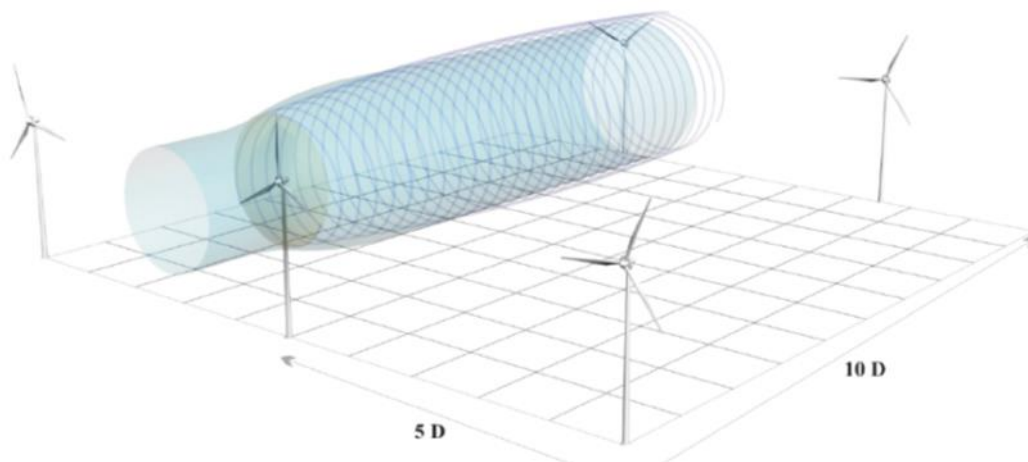
A Figura 3 mostra o crescimento expressivo da capacidade instalada a partir 2008.

2.2 MICROSITING

O processo de definição do *micrositing* consiste no estudo do *layout*, por meio da definição da potência e do gerador eólico, analisados juntamente com o relevo, clima e vento local e tem o objetivo de se obter o maior potencial de geração da região.

A localização das turbinas dentro de um parque eólico deve ser otimizada (*micrositing*), de modo a extrair a maior quantidade possível de energia cinética do vento, considerando uma disposição e afastamento adequado entre turbinas que minimize a interferência aerodinâmica entre rotores de turbinas, conforme as direções do vento (COPEL, 2007).

O vento ao passar pela turbina altera suas características energéticas, dispersando de forma anormal (FIGURA 4). A região afetada por este vento, logo atrás da turbina, recebe o nome de “esteira da turbina eólica” ou região de “sombra”, sendo uma região de baixo desempenho e de reduzido potencial eólico.

FIGURA 4 – AFASTAMENTO ENTRE AEROGERADORES EM UM *MICROSITING*

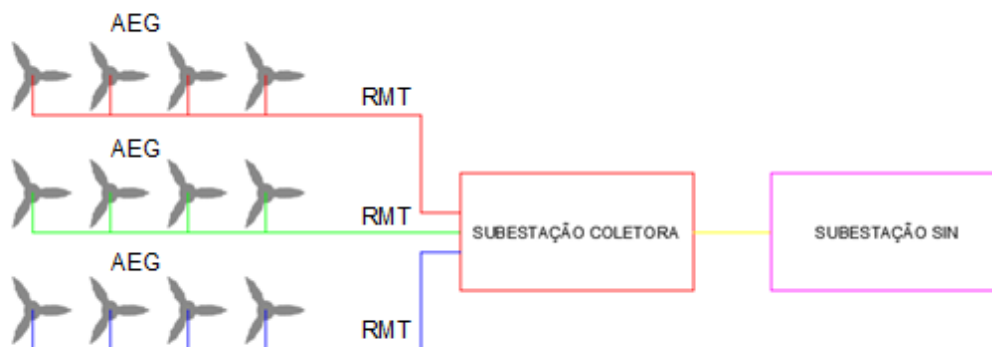
FONTE: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001

No estudo do *micrositing* os aerogeradores são posicionados de modo a evitar as áreas de “sombras” e extrair o melhor aproveitamento da área escolhida. Qualquer mudança de posicionamento dos aerogeradores altera a potência do parque.

2.3 REDE DE MÉDIA TENSÃO

As redes de média tensão ou redes coletoras ou simplesmente RMT são essenciais e estão presentes em todos os parques eólicos (FIGURA 5), na interligação das subestações unitárias dos aerogeradores até as subestações coletoras.

FIGURA 5 – ESQUEMA TÍPICO DE CONEXÃO DO PARQUE EÓLICO NO SIN



FONTE: O autor (2018).

Dois fatores principais que garantem a qualidade da rede são a confiabilidade e a tensão de suprimento.

A tensão de suprimento deve ter o mínimo de variação em relação à tensão nominal do sistema, e essa variação é verificada no dimensionamento dos condutores pelos cálculos de queda de tensão.

Já a confiabilidade do sistema representa o quão contínuo é o serviço, sendo a alta confiabilidade caracterizada pelo baixo índice de desligamento e está diretamente relacionada ao custo de implantação da rede. Quanto mais complexo é o sistema, maior será seu custo e conseqüentemente maior será sua confiabilidade, ou seja, terá um menor número de desligamentos.

2.3.1 Tipos de Rede de Média Tensão

As RMTs podem ser classificadas de acordo com o tipo de instalação dos condutores, sendo aérea ou subterrânea:

I. Rede aérea convencional – Foi criada há aproximadamente 60 anos, por ser a mais antiga e o de menor custo de implantação, é o tipo mais encontrado e utilizado (FIGURA 6).

FIGURA 6 – REDE COLETORA AÉREA



FONTE: Robson Fernando de Lima. Acervo pessoal (2017).

São caracterizadas por possuírem condutores flexíveis nus apoiados ou ancorados em cadeias de isoladores de porcelana, vidro ou poliméricos, instalados em cruzetas no topo de postes, normalmente de concreto.

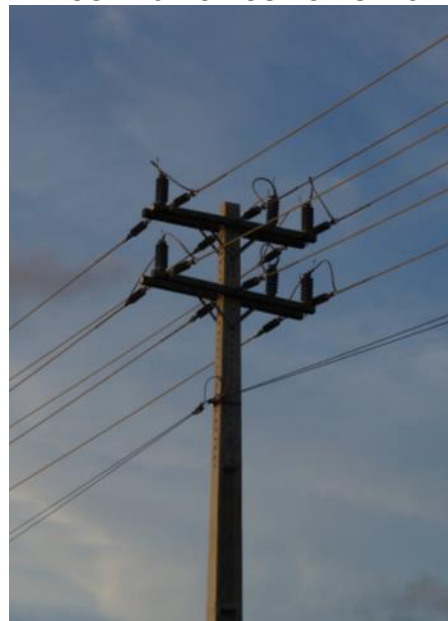
De acordo com a quantidade de circuitos instalados na estrutura, são classificadas ainda como circuito simples ou duplo (FIGURA 7 e FIGURA 8).

FIGURA 7 – CIRCUITO SIMPLES



FONTE: O autor (2014).

FIGURA 8 – CIRCUITO DUPLO



FONTE: O autor (2014).

Os condutores mais utilizados são os de alumínio (FIGURA 9), principalmente pelos locais de instalação serem próximos ao mar, pelo menor custo, quando comparado aos condutores de cobre e pela sua resistência e relação peso/área.

FIGURA 9 – CABO DE ALUMÍNIO CA



FONTE: Nexans (2018)

Fazem parte da rede coletora aérea equipamentos como seccionadores e para-raios, além dos isoladores tipo pilar.

Por possuírem cabos desprotegidos (FIGURA 10), qualquer contato com elementos externos causam desligamentos, tornando-a de baixa confiabilidade do ponto de vista sistêmico e de possibilitar maior facilidade para contatos acidentais de pessoas.

FIGURA 10 – REDE COLETORA AÉREA



FONTE: Robson Fernando de Lima. Acervo pessoal (2017).

No caso dos parques eólicos que grande parte é instalada próxima ao mar, esse tipo de rede pode causar desligamentos devido à salinidade da região, que reduz a distância de isolamento, causando os desligamentos. Para esses casos recomenda-se aumentar a distância entre fases e a distância de escoamento dos isoladores.

Essa rede fica totalmente desprotegida contra as influências do meio ambiente, inclusive dos raios, apresentando altas taxas de falhas e grande tempo dispendido com manutenção. Apesar do alto índice de intervenção, possui um baixo custo, por se tratar de um modelo de rede já saturado tecnologicamente.

II. Rede subterrânea – são redes que utilizam cabos isolados, instalados em valas, diretamente enterrados ou em dutos corrugados (FIGURA 11).

FIGURA 11 – REDE COLETORA SUBTERRÂNEA



Fonte: O Setor Elétrico (2012).

Os cabos de alumínio (FIGURA 12) são os mais utilizados por estarem expostos ao vandalismo e possuírem um menor custo, apesar da necessidade de condutores com seções superiores que condutores de cobre.

FIGURA 12 – CONDUTOR ISOLADO



FONTE: General Cable (2016).

Possuem um alto custo de implantação, que se justifica, no caso dos parques eólicos, nas travessias e tráfego das grandes máquinas, pelas condições ambientais e principalmente pela continuidade de serviço.

As redes podem ser consideradas mistas (FIGURA 13) quando contem parte aérea e parte enterrada. Esse tipo de instalação é comumente utilizado em parques eólicos, com rede predominantemente aérea e cabos subterrâneos nas saídas dos aerogeradores e nas travessias.

FIGURA 13 – MONTAGEM DE ESTRUTURA TÍPICA DE TRANSIÇÃO SUBTERRÂNEO/AÉREO



FONTE: Robson Fernando de Lima. Acervo pessoal (2017).

2.3.2 Outros Sistemas

Junto da estrutura da rede de média tensão ainda pode ser considerado o sistema de proteção contra descarga atmosférica (SPDA), utilizando-se de cabos de aço fixados no topo dos postes, como o próprio nome diz, este será responsável por proteger a rede contra as descargas atmosféricas e evitar possíveis desligamentos.

Já na parte abaixo dos condutores são fixados cabos de fibra óptica, que levarão informações dos parques até o sistema de comunicação localizado nas subestações coletoras.

2.4 DIMENSIONAMENTO DA RMT

Os condutores são dimensionados para atender principalmente aos critérios abaixo:

- Capacidade de corrente;
- Corrente de curto-circuito;
- Queda de tensão
- Perdas elétricas

Os cabos subterrâneos são dimensionados de acordo com os pré-requisitos e critérios mencionados pela NBR 14039 e NBR NM 280 da ABNT.

O método de instalação dos condutores está prescrito na norma da NBR 14039, no caso da rede subterrânea, tipo F, ou seja, cabos unipolares instalados justapostos em trifólio em banco de dutos ou eletrodutos diretamente enterrados no solo, ou tipo H, diretamente enterrados.

2.4.1 Curto Circuito

O dimensionamento pelo critério de curto-circuito tem o objetivo de definir o condutor de acordo com a máxima temperatura que este pode atingir em regime de curto, sem causar danos à isolação e às conexões.

a) Rede Aérea

Os cabos nus de alumínio que compõem a rede aérea são dimensionados conforme fórmula (1).

$$S = \frac{I_{cc_{3\phi}} \cdot \sqrt{t}}{K} \quad (1)$$

Onde:

S Seção mínima do condutor [MCM]

$I_{cc_{3\phi}}$ Corrente de curto-circuito trifásica [kA]

t Tempo de eliminação da corrente de curto-circuito [s]

K Constante referente ao tipo de material do condutor – alumínio - 0,0862

b) Rede Subterrânea

Os cabos isolados de alumínio que compõem a rede subterrânea são dimensionados conforme NBR 14039 (2).

$$S = \frac{I_{cc3\phi} \cdot \sqrt{t}}{X \cdot \sqrt{\log \left[\frac{Y + T_f}{Y + T_i} \right]}} \quad (2)$$

Sendo:

S	Seção mínima do condutor [mm ²]
$I_{cc3\phi}$	Corrente de curto-circuito trifásica [kA]
t	Tempo de eliminação da corrente de curto-circuito [s]
T_i	Temperatura máxima do condutor em regime permanente [°C]
T_f	Temperatura máxima do condutor durante o curto-circuito [°C]
X	Constante referente ao tipo de material do condutor – alumínio - 0,2207
Y	Constante referente ao tipo de material do condutor – alumínio - 228,1

2.4.2 Capacidade de Corrente

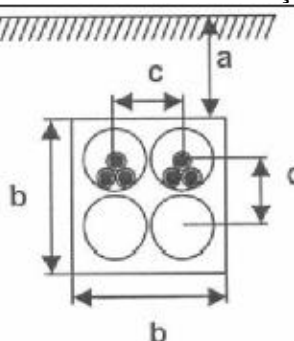
O dimensionamento pelo critério da capacidade de corrente consiste em definir um condutor que atenda a corrente dos circuitos, considerando as condições e particularidades da instalação.

O dimensionamento de condutores nus em regime permanente é em função da análise técnico-econômica, que considera as perdas em joules e as distâncias de segurança, sendo que neste último caso a temperatura de operação não deve ser ultrapassada para evitar flechas que excedam as distâncias de segurança.

A corrente máxima em regime permanente resulta da temperatura máxima admissível do condutor, considerando a temperatura máxima ambiente, a quantidade de calor absorvida devido à radiação solar, a quantidade de calor dissipada por convecção e por radiação.

Já em redes subterrâneas, o cálculo de condução de corrente dos condutores isolados seguem o método de referência F (FIGURA 14) ou H (FIGURA 15) citados na NBR 14039, sendo segundo a norma:

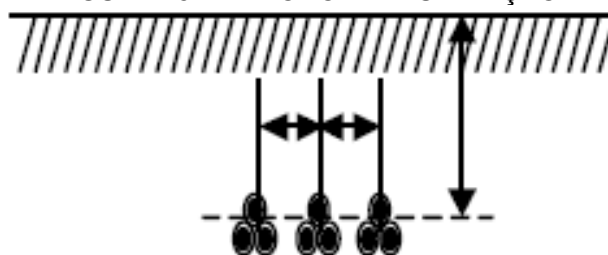
FIGURA 14 – MÉTODO DE INSTALAÇÃO F



FONTE: NBR 14039 (2005).

“No método F, os cabos unipolares são instalados num eletroduto não condutor e os cabos tripolares em eletrodutos não condutores, metálico no solo de resistividade térmica de 2,5 K.m/W, a uma profundidade de 0,9 m. Foi considerado no caso de banco de duto, largura de 0,3 m e altura de 0,3 m, e com resistividade térmica de 1,2 K.m/W.”

FIGURA 15 – MÉTODO DE INSTALAÇÃO H



FONTE: NBR 14039 (2005).

“No método H, o cabo é instalado diretamente no solo de resistividade térmica de 2,5 K.m/W, a uma profundidade de 0,9 m.”

A tabela 30 da NBR 14039 define a capacidade de corrente dos condutores. Sobre a capacidade de corrente são aplicados os fatores de correção de temperatura, agrupamento dos circuitos e resistividade térmica do solo, a fim de representar as condições da capacidade de corrente real (3).

$$I' = I \times f_t \times f_a \times f_r \quad (3)$$

Onde:

- I' Capacidade de condução de corrente corrigida [A]
 I Capacidade de condução de corrente conforme tabela 30 NBR 14039 [A]
 f_t Fator de correção para temperatura ambiente
 f_a Fator de correção para agrupamento dos circuitos
 f_r Fator de correção para resistividade térmica do solo

Os fatores de correção de temperatura são obtidos por meio da Tabela 32 da NBR 14039.

QUADRO 1 – FATOR DE CORREÇÃO DE TEMPERATURA

Temperatura °C	Isolação	
	EPR ou XLPE	EPR 105
Ambiente	1,15	1,13
10	1,12	1,10
15	1,08	1,06
20	1,04	1,03
25	0,96	0,97
35	0,91	0,93
40	0,87	0,89
45	0,82	0,86
50	0,78	0,82
55	0,71	0,77
60	0,65	0,73
65	0,58	0,68
70	0,50	0,63
75	0,41	0,58
80		
Do solo		
10	1,07	1,06
15	1,04	1,03
25	0,96	0,97
30	0,93	0,94
35	0,89	0,91
40	0,85	0,87
45	0,80	0,84
50	0,76	0,80
55	0,71	0,76
60	0,65	0,72
65	0,60	0,68
70	0,53	0,64
75	0,46	0,59
80	0,38	0,54

FONTE: Tabela 32 - NBR 14039

Os fatores de correção de resistividade são obtidos por meio da QUADRO 2 em conformidade com a Tabela 33 da NBR 14039.

QUADRO 2 – FATOR DE CORREÇÃO DE RESISTIVIDADE

Resistividade térmica (K.m/W)	1	1,5	2	3
Fator de correção métodos F e G	1,25	1,15	1,07	0,94
Fator de correção métodos H e I	1,46	1,24	1,10	0,92

FONTE: Tabela 33 - NBR 14039

No cálculo da rede subterrânea é considerado o fator de capacidade, pois o transitório de aquecimento de um cabo isolado é muito maior que o de resfriamento. Ou seja, o cabo tem dificuldade de perder calor e aquece o *back fill* (vala) onde é instalado. Diferente do cabo aéreo, que é instalado ao ar livre, e em maior condução de corrente, considerando geração em plena carga dos aerogeradores do circuito, apenas se dilatará aumentando as flechas dos vãos deste circuito, porém não expondo o circuito a falhas.

2.4.3 Queda de Tensão

A queda de tensão é uns dos itens que garantem a qualidade de suprimento da energia, necessitando ter a menor variação possível entre a tensão de origem e a tensão nominal do sistema. Segundo o item 6.2.7.1 da NBR 14039, a queda de tensão (4) entre a origem de uma instalação e qualquer ponto de utilização deve ser sempre menor ou igual a 5%.

$$\Delta V(\%) = 100 * \frac{\sqrt{3} * I_n * d * (R_{ca} * \cos\varphi + X_l * \text{sen}\varphi)}{U_n} \quad (4)$$

Onde:

ΔV Queda de tensão [%]

I_n Corrente nominal [A]

d Comprimento do circuito [km]

X_l Reatância indutiva [Ω /km]

$\cos \varphi$ Fator de potência

R_{ca} Resistência elétrica CA do condutor para temperatura de operação [Ω /km]

U_n Tensão entre fases [V]

2.4.4 Perdas Elétricas

As perdas elétricas são inevitáveis, causadas por fatores inerentes à transmissão da energia.

Na conversão da energia elétrica em energia térmica quando a corrente passa pelo condutor devido à resistência do material ocorrem as perdas por efeito Joule, que nos casos dos cabos isolados ainda ocorrem na blindagem.

Assim como a queda de tensão, a perda elétrica é um outro fator determinante na escolha de condutores economicamente adequados para a RMT. É justificável o aumento da bitola do condutor com o intuito de reduzir as perdas a fim de se adequar aos limites ideais para o projeto.

As perdas elétricas (5) são oriundas do efeito Joule em regime permanente e nos casos de condutores isolados, das perdas no dielétrico (6).

$$\text{Perdas(kW)} = \frac{10^{-3} * 3 * d * R_{ca} * (F_c * I_n)^2}{N} \quad (5)$$

Onde:

N	Número de cabos por fase
d	Comprimento do circuito [km]
I _n	Corrente nominal [A]
F _c	Fator de carga
R _{ca}	Resistência elétrica CA do condutor para temperatura de operação [Ω/km]

$$\text{Perdas(kW)} = \frac{U_0^2 * \text{tg}\delta * d * 10^{-6}}{X_c} \quad (6)$$

Onde:

U ₀	Número de cabos por fase
tgδ	Fator de perdas no dielétrico – EPR – 0,04
X _c	Reatância capacitiva CA do condutor para temperatura de operação [Ω/km]

No caso de condutores mal dimensionados, a energia perdida pelo efeito Joule, ao longo do tempo, causa enormes perdas financeiras aos investidores e devem ser consideradas nos estudos da implantação do parque.

3 METODOLOGIA

3.1 CRITÉRIOS DE PROJETO

Para o dimensionamento da rede coletora de média tensão foram adotadas algumas premissas e definições.

Complexo Eólico com 41 aerogeradores.

A potência dos aerogeradores será de 3 MW.

A tensão da rede coletora de média tensão será de 34,5 kV.

O fator de potência utilizado será de 0,92.

Fator de capacidade do parque de 0,6.

Perdas máximas de 1%, por circuito para redes aéreas.

Perdas médias dos circuitos de até 1,2%, para redes subterrâneas.

3.2 COMPLEXO EÓLICO

O complexo estudado será chamado de Complexo Eólico Ventania, formado pelos parques:

- Parque Ventania I (VE-I) composto por 7 aerogeradores
- Parque Ventania II (VE-II) composto por 7 aerogeradores
- Parque Ventania III (VE-III) composto por 9 aerogeradores
- Parque Ventania IV (VE-IV) composto por 8 aerogeradores
- Parque Ventania V (VE-V) composto por 10 aerogeradores

3.3 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO AÉREA

Para o dimensionamento da rede aérea serão considerados Cabos de Alumínio Liga (CAL), que possuem resistência mecânica superior aos Cabos de Alumínio (CA) e quando comparados aos Cabos de Alumínio com alma de Aço (CAA), possuem maior resistência à corrosão.

ALLIANCE

- Seção 246,9 MCM
- Seção Nominal 125,09 mm²
- Diâmetro Nominal 14,31 mm

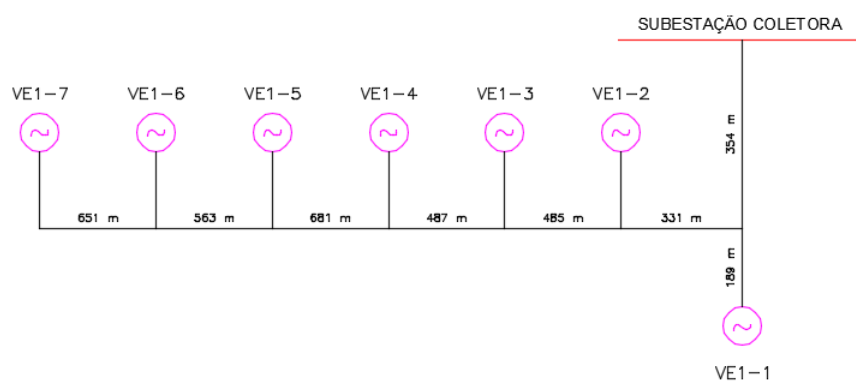
- Resistência Elétrica CA..... 0,2678 Ω /km
- Peso Nominal..... 343,2 kg/km
- Tração de ruptura..... 3.882 kgf
- Ampacidade445 A

CAIRO

- Seção..... 465,4 MCM
- Seção Nominal.....235,79 mm²
- Diâmetro Nominal 19,88 mm
- Resistência Elétrica CA..... 0,1421 Ω /km
- Peso Nominal..... 647,0 kg/km
- Tração de ruptura..... 7.088 kgf
- Ampacidade664 A

A divisão de circuitos dos parques foi realizada conforme figuras 16 a 20:

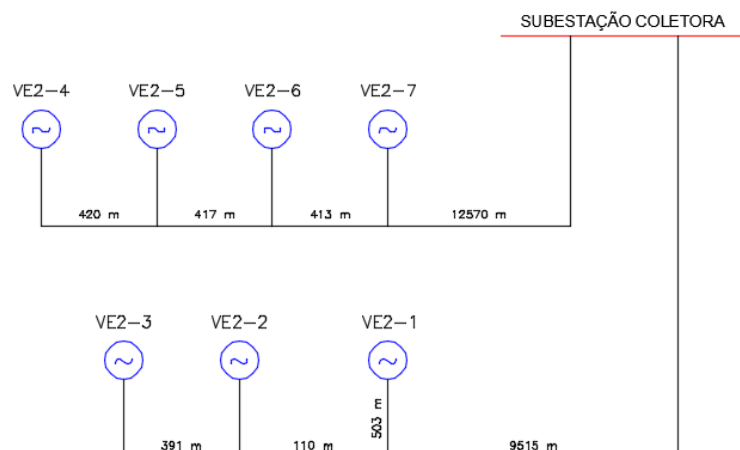
FIGURA 16 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA I



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania I é o mais próximo da Subestação Coletora, sendo o maior trecho de 681 m, entre os aerogeradores VE1-4 e VE1-5.

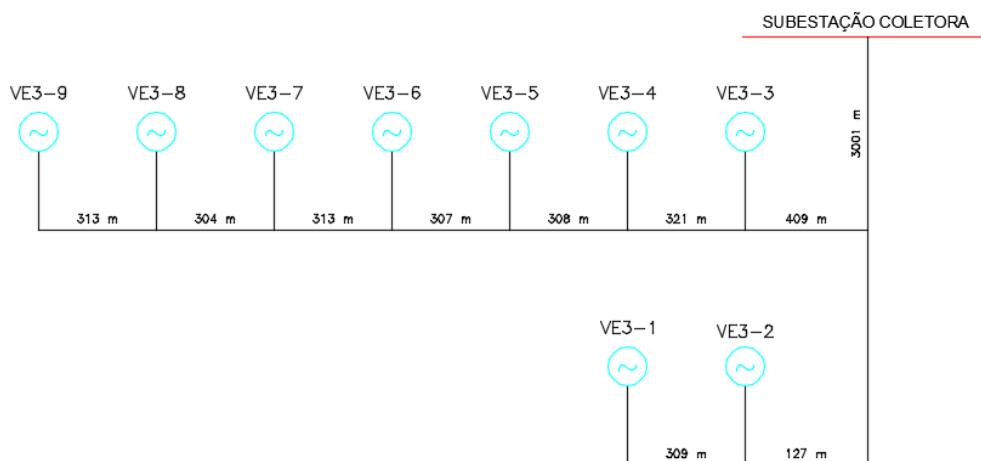
FIGURA 17 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA II



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania II possui seu maior trecho de 12.570 m, entre o aerogeradores VE2-7 e a Subestação Coletora.

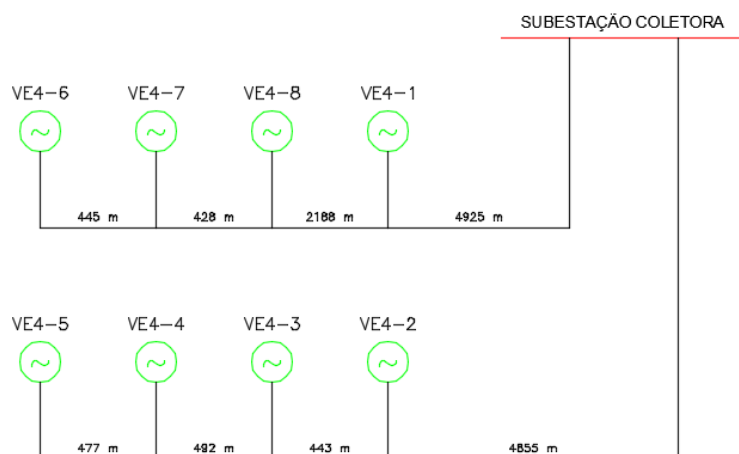
FIGURA 18 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA III



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania III possui seu maior trecho de 3.001 m, entre o ponto que os circuitos simples se unem, tornando circuito duplo até a Subestação Coletora.

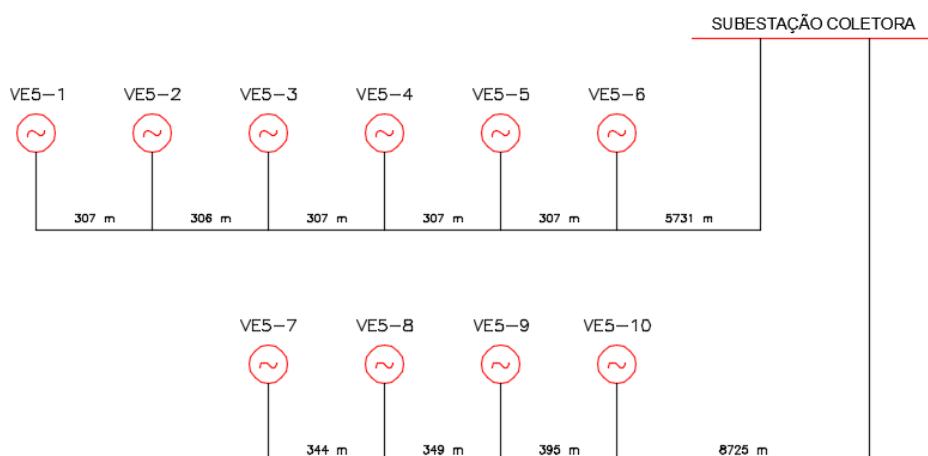
FIGURA 19 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA IV



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania IV possui seu maior trecho de 4.925 m, entre o aerogeradores VE4-1 e a Subestação Coletora.

FIGURA 20 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT AÉREA DO PARQUE VENTANIA V



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania V possui seu maior trecho de 8.725 m, entre o aerogeradores VE5-10 e a Subestação Coletora.

Pelas figuras das divisões dos circuitos observar-se que o parque é extenso e possui seus maiores trechos nas conexões até a Subestação Coletora, onde concentra-se a maior potência, podendo trazer alguma dificuldade no dimensionamento.

3.3.1 Critério de curto circuito

Para o dimensionamento do condutor pelo critério de corrente de curto circuito, foi adotado como corrente de curto trifásica na barra 34,5 kV da Subestação Coletora $I_{cc} = 18$ kA.

Aplicando-se a corrente de 18 kA na Equação 1, a seção mínima encontrada é de $S=132$ MCM.

3.3.2 Critério de capacidade de corrente

Para o início do dimensionamento pela capacidade de corrente foi adotado somente o cabo Alliance, que possui menor bitola.

QUADRO 3 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

Circuito	De	Para	qtd AEG	Lance [km]	Seção [MCM]	Potência [MW]	Inominal [A]	Amp. Cabo [A]	Carregam [%]
VE1-1	VE1-7	VE1-6	1	0,65	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE1-6	VE1-5	2	0,56	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE1-5	VE1-4	3	0,68	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE1-4	VE1-3	4	0,49	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	VE1-3	VE1-2	5	0,49	ALLIANCE	15	272,85	445,00	61,31%
	VE1-2	CZ1-2	6	0,33	ALLIANCE	18	327,42	445,00	73,58%
	VE1-1	CZ1-2	1	0,19	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	CZ1-2	SE	7	0,35	ALLIANCE	21	381,99	445,00	85,84%
VE2-1	VE2-1	CZ2-1	1	0,50	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE2-3	VE2-2	1	0,39	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE2-2	CZ2-1	2	0,11	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	CZ2-1	SE	3	9,51	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
VE2-2	VE2-4	VE2-5	1	0,42	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE2-5	VE2-6	2	0,42	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE2-6	VE2-7	3	0,41	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE2-7	CZ2-2	4	2,58	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	CZ2-2	SE	4	9,99	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%

(continua)

QUADRO 3 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

Circuito	De	Para	qtd AEG	Lance [km]	Seção [MCM]	Potência [MW]	Inominal [A]	Amp. Cabo [A]	Carregam [%]
VE3-1	VE3-9	VE3-8	1	0,33	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE3-8	VE3-7	2	0,32	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE3-7	VE3-6	3	0,33	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE3-6	VE3-5	4	0,32	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	VE3-5	VE3-4	5	0,32	ALLIANCE	15	272,85	445,00	61,31%
	VE3-4	VE3-3	6	0,34	ALLIANCE	18	327,42	445,00	73,58%
	VE3-3	CZ3-1	7	0,43	ALLIANCE	21	381,99	445,00	85,84%
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE3-1	VE3-2	1	0,33	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	CZ3-1	SE	9	3,00	ALLIANCE	27	491,13	445,00	110,37%
VE4-1	VE4-6	VE4-7	1	0,44	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE4-7	VE4-8	2	0,43	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE4-8	CD4-1	3	2,19	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	CD4-1	CZ4-1	3	0,19	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE4-1	CZ4-1	1	0,18	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	CZ4-1	SE	4	4,55	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
VE4-2	VE4-5	VE4-4	1	0,48	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE4-4	VE4-3	2	0,49	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE4-3	VE4-2	3	0,44	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE4-2	CD4-2	4	0,14	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	CD4-2	SE	4	4,72	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
VE5-1	VE5-1	VE5-2	1	0,41	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE5-2	VE5-3	2	0,40	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE5-3	VE5-4	3	0,41	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE5-4	VE5-5	4	0,41	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	VE5-5	VE5-6	5	0,41	ALLIANCE	15	272,85	445,00	61,31%
	VE5-6	CZ5-1	6	0,98	ALLIANCE	18	327,42	445,00	73,58%
	CZ5-1	SE	6	4,57	ALLIANCE	18	327,42	445,00	73,58%
VE5-2	VE5-7	VE5-8	1	0,45	ALLIANCE	3	54,57	445,00	12,26%
	VE5-8	VE5-9	2	0,46	ALLIANCE	6	109,14	445,00	24,53%
	VE5-9	VE5-10	3	0,52	ALLIANCE	9	163,71	445,00	36,79%
	VE5-10	CZ5-2	4	3,42	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%
	CZ5-2	SE	4	4,57	ALLIANCE	12	218,28	445,00	49,05%

Pelo critério da capacidade de corrente somente um trecho do circuito VE3-1 não é atendido.

3.3.3 Critério de queda de tensão

Segundo as normas vigentes a queda de tensão não deve ser superior a **5%**.

QUADRO 4 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO

CIRCUITO	De	Para	qtd aerogera	Lance [km]	Seção [MCM]	Tensão [kV]	Potência [MW]	Inominal [A]	Rca [Ω/km]	X _L [Ω/km]	Queda de	Queda de tensão (%)
VE1-1	VE1-7	VE1-6	1	0,65	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	27,66	0,08
	VE1-6	VE1-5	2	0,56	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	47,82	0,14
	VE1-5	VE1-4	3	0,68	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	86,79	0,25
	VE1-4	VE1-3	4	0,49	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	82,74	0,24
	VE1-3	VE1-2	5	0,49	ALLIANCE	34,5	15	272,85	0,3194	0,3967	103,06	0,30
	VE1-2	CZ1-2	6	0,33	ALLIANCE	34,5	18	327,42	0,3194	0,3967	84,33	0,24
	VE1-1	CZ1-2	1	0,19	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	8,02	0,02
	CZ1-2	7	0,35	ALLIANCE	34,5	21	381,99	0,3194	0,3967	105,11	0,30	
VE2-1	VE2-1	CZ2-1	1	0,50	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	21,35	0,06
	VE2-3	VE2-2	1	0,39	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	16,60	0,05
	VE2-2	CZ2-1	2	0,11	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	9,37	0,03
	CZ2-1	SE	3	9,51	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	1212,26	3,51
VE2-2	VE2-4	VE2-5	1	0,42	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	17,82	0,05
	VE2-5	VE2-6	2	0,42	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	35,44	0,10
	VE2-6	VE2-7	3	0,41	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	52,67	0,15
	VE2-7	CZ2-2	4	2,58	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	438,56	1,27
	CZ2-2	SE	4	9,99	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	1696,68	4,92
VE3-1	VE3-9	VE3-8	1	0,33	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	13,96	0,04
	VE3-8	VE3-7	2	0,32	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	27,13	0,08
	VE3-7	VE3-6	3	0,33	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	41,88	0,12
	VE3-6	VE3-5	4	0,32	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	54,71	0,16
	VE3-5	VE3-4	5	0,32	ALLIANCE	34,5	15	272,85	0,3194	0,3967	68,70	0,20
	VE3-4	VE3-3	6	0,34	ALLIANCE	34,5	18	327,42	0,3194	0,3967	85,82	0,25
	VE3-3	CZ3-1	7	0,43	ALLIANCE	34,5	21	381,99	0,3194	0,3967	127,61	0,37
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	5,40	0,02
	VE3-1	VE3-2	1	0,33	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	13,80	0,04
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	5,40	0,02
	CZ3-1	9	3,00	ALLIANCE	34,5	27	491,13	0,3194	0,3967	1146,88	3,32	
VE4-1	VE4-6	VE4-7	1	0,44	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	18,89	0,05
	VE4-7	VE4-8	2	0,43	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	36,33	0,11
	VE4-8	CD4-1	3	2,19	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	278,72	0,81
	CD4-1	CZ4-1	3	0,19	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	24,51	0,07
	VE4-1	CZ4-1	1	0,18	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	7,72	0,02
	CZ4-1	SE	4	4,55	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	773,13	2,24
VE4-2	VE4-5	VE4-4	1	0,48	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	20,27	0,06
	VE4-4	VE4-3	2	0,49	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	41,81	0,12
	VE4-3	VE4-2	3	0,44	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	56,49	0,16
	VE4-2	CD4-2	4	0,14	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	23,23	0,07
	CD4-2	SE	4	4,72	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	801,59	2,32
VE5-1	VE5-1	VE5-2	1	0,41	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	17,20	0,05
	VE5-2	VE5-3	2	0,40	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	34,38	0,10
	VE5-3	VE5-4	3	0,41	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	51,68	0,15
	VE5-4	VE5-5	4	0,41	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	68,94	0,20
	VE5-5	VE5-6	5	0,41	ALLIANCE	34,5	15	272,85	0,3194	0,3967	86,17	0,25
	VE5-6	CZ5-1	6	0,98	ALLIANCE	34,5	18	327,42	0,3194	0,3967	249,67	0,72
	CZ5-1	SE	6	4,57	ALLIANCE	34,5	18	327,42	0,3194	0,3967	1163,59	3,37
VE5-2	VE5-7	VE5-8	1	0,45	ALLIANCE	34,5	3	54,57	0,3194	0,3967	19,27	0,06
	VE5-8	VE5-9	2	0,46	ALLIANCE	34,5	6	109,14	0,3194	0,3967	39,19	0,11
	VE5-9	VE5-10	3	0,52	ALLIANCE	34,5	9	163,71	0,3194	0,3967	66,54	0,19
	VE5-10	CZ5-2	4	3,42	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	581,03	1,68
	CZ5-2	SE	4	4,57	ALLIANCE	34,5	12	218,28	0,3194	0,3967	775,72	2,25

Todos os circuitos encontram-se dentro do limite da norma.

3.3.4 Critério de perdas elétricas

Segundo definido nos critérios de projeto, as perdas elétricas por circuito não devem ultrapassar **1%**.

QUADRO 5 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DAS PERDAS ELÉTRICAS

Circuito	Potência Instalada	Perdas [kW]		Perdas [%]	
		Operação Nominal (Plena Carga)	Operação Real (FC=0,6)	Operação Nominal (Plena Carga)	Operação Real (FC=0,6)
VE-I-C1	21	167,17	60,18	0,80%	0,29%
VE-II-C1	9	248,43	89,44	2,76%	0,99%
VE-II-C2	12	590,80	212,69	4,92%	1,77%
VE-III-C1	27	840,86	302,71	3,11%	1,12%
VE-IV-C1	12	276,50	99,54	2,30%	0,83%
VE-IV-C2	12	240,41	86,55	2,00%	0,72%
VE-V-C1	18	633,95	228,22	3,52%	1,27%
VE-V-C2	12	384,98	138,59	3,21%	1,15%

Calculando-se as perdas elétricas, é possível observar que os circuitos em destaque no QUADRO 5 possuem perdas acima das perdas admitidas no critério de projeto e devem ser redimensionados.

3.3.5 Redimensionamento

Para o redimensionamento, os trechos com maior extensão terão os condutores Alliance substituídos por condutores Cairo que possuem menor resistência, com o intuito de reduzir as perdas e atender ao critério de 1%.

Os circuitos serão redimensionados para atender aos critérios da capacidade de corrente e perdas elétricas, pois como já atendiam ao curto-circuito e queda de tensão, com o aumento da bitola a tendência é melhorar o desempenho e continuar atendendo a esses critérios.

QUADRO 6 –REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS AÉREOS – CAPACIDADE DE CORRENTE

CIRCUITO	De	Para	qtd aerogera	Lance [km]	Seção [MCM]	Tensão [kV]	Potência [MW]	Inominal [A]	Carregamento [%]	Queda de	Queda de tensão (%)
VE1-1	VE1-7	VE1-6	1	0,65	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	27,66	0,08
	VE1-6	VE1-5	2	0,56	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	47,82	0,14
	VE1-5	VE1-4	3	0,68	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	86,79	0,25
	VE1-4	VE1-3	4	0,49	ALLIANCE	34,5	12	218,28	49,05%	82,74	0,24
	VE1-3	VE1-2	5	0,49	CAIRO	34,5	15	272,85	41,09%	63,13	0,18
	VE1-2	CZ1-2	6	0,33	CAIRO	34,5	18	327,42	49,31%	51,66	0,15
	VE1-1	CZ1-2	1	0,19	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	8,02	0,02
	CZ1-2	SE	7	0,35	CAIRO	34,5	21	381,99	57,53%	64,38	0,19
VE2-1	VE2-1	CZ2-1	1	0,50	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	21,35	0,06
	VE2-3	VE2-2	1	0,39	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	16,60	0,05
	VE2-2	CZ2-1	2	0,11	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	9,37	0,03
	CZ2-1	SE	3	9,51	CAIRO	34,5	9	163,71	24,66%	742,57	2,15
VE2-2	VE2-4	VE2-5	1	0,42	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	17,82	0,05
	VE2-5	VE2-6	2	0,42	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	35,44	0,10
	VE2-6	VE2-7	3	0,41	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	52,67	0,15
	VE2-7	CZ2-2	4	2,58	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	268,64	0,78
	CZ2-2	SE	4	9,99	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	1039,30	3,01
VE3-1	VE3-9	VE3-8	1	0,33	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	13,96	0,04
	VE3-8	VE3-7	2	0,32	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	27,13	0,08
	VE3-7	VE3-6	3	0,33	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	41,88	0,12
	VE3-6	VE3-5	4	0,32	ALLIANCE	34,5	12	218,28	49,05%	54,71	0,16
	VE3-5	VE3-4	5	0,32	ALLIANCE	34,5	15	272,85	61,31%	68,70	0,20
	VE3-4	VE3-3	6	0,34	ALLIANCE	34,5	18	327,42	73,58%	85,82	0,25
	VE3-3	CZ3-1	7	0,43	ALLIANCE	34,5	21	381,99	85,84%	127,61	0,37
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	5,40	0,02
	VE3-1	VE3-2	1	0,33	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	13,80	0,04
	VE3-2	CZ3-1	1	0,13	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	5,40	0,02
CZ3-1	SE	9	3,00	CAIRO	34,5	27	491,13	73,97%	702,52	2,04	
VE4-1	VE4-6	VE4-7	1	0,44	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	18,89	0,05
	VE4-7	VE4-8	2	0,43	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	36,33	0,11
	VE4-8	CD4-1	3	2,19	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	278,72	0,81
	CD4-1	CZ4-1	3	0,19	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	24,51	0,07
	VE4-1	CZ4-1	1	0,18	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	7,72	0,02
	CZ4-1	SE	4	4,55	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	473,58	1,37
VE4-2	VE4-5	VE4-4	1	0,48	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	20,27	0,06
	VE4-4	VE4-3	2	0,49	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	41,81	0,12
	VE4-3	VE4-2	3	0,44	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	56,49	0,16
	VE4-2	CD4-2	4	0,14	ALLIANCE	34,5	12	218,28	49,05%	23,23	0,07
	CD4-2	SE	4	4,72	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	491,02	1,42
VE5-1	VE5-1	VE5-2	1	0,31	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	13,02	0,04
	VE5-2	VE5-3	2	0,31	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	26,03	0,08
	VE5-3	VE5-4	3	0,31	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	39,13	0,11
	VE5-4	VE5-5	4	0,31	ALLIANCE	34,5	12	218,28	49,05%	52,20	0,15
	VE5-5	VE5-6	5	0,31	ALLIANCE	34,5	15	272,85	61,31%	65,25	0,19
	VE5-6	CZ5-1	6	0,74	ALLIANCE	34,5	18	327,42	73,58%	189,04	0,55
	CZ5-1	SE	6	4,99	CAIRO	34,5	18	327,42	49,31%	778,68	2,26
VE5-2	VE5-7	VE5-8	1	0,34	ALLIANCE	34,5	3	54,57	12,26%	14,59	0,04
	VE5-8	VE5-9	2	0,35	ALLIANCE	34,5	6	109,14	24,53%	29,67	0,09
	VE5-9	VE5-10	3	0,40	ALLIANCE	34,5	9	163,71	36,79%	50,38	0,15
	VE5-10	CZ5-2	4	3,74	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	388,83	1,13
	CZ5-2	SE	4	4,99	CAIRO	34,5	12	218,28	32,87%	519,12	1,50

QUADRO 7 – REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS AÉREOS – PERDAS ELÉTRICAS

Circuito	Potência Instalada	Perdas [kW]		Perdas [%]	
		Operação Nominal (Plena Carga)	Operação Real (FC=0,6)	Operação Nominal (Plena Carga)	Operação Real (FC=0,6)
VE-I-C1	21	101,63	36,59	0,48%	0,17%
VE-II-C1	9	112,80	40,61	1,25%	0,45%
VE-II-C2	12	272,25	98,01	2,27%	0,82%
VE-III-C1	27	455,89	164,12	1,69%	0,61%
VE-IV-C1	12	161,16	58,02	1,34%	0,48%
VE-IV-C2	12	120,83	43,50	1,01%	0,36%
VE-V-C1	18	352,97	127,07	1,96%	0,71%
VE-V-C2	12	192,72	69,38	1,61%	0,58%

Com o redimensionamento, todos os circuitos passaram a atender aos critérios e premissas definidos no projeto.

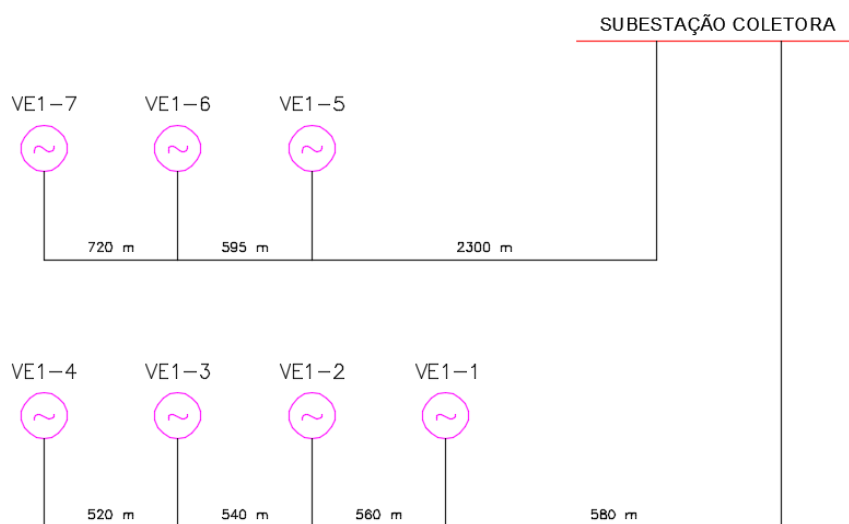
3.4 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO SUBTERRÂNEA

Para o dimensionamento da rede subterrânea serão considerados cabos condutores com as características abaixo:

- Cabo Unipolar 20/35 kV
- Seções 95 a 500 mm²
- Condutor Alumínio
- Tensão mínima a ruptura 105 Mpa
- Encordoamento do condutor classe 2
- Isolação..... EPR

A divisão de circuitos dos parques foi realizada buscando máquinas próximas e um número máximo de 5 (cinco) aerogeradores visando condutores com bitolas de até 500 mm².

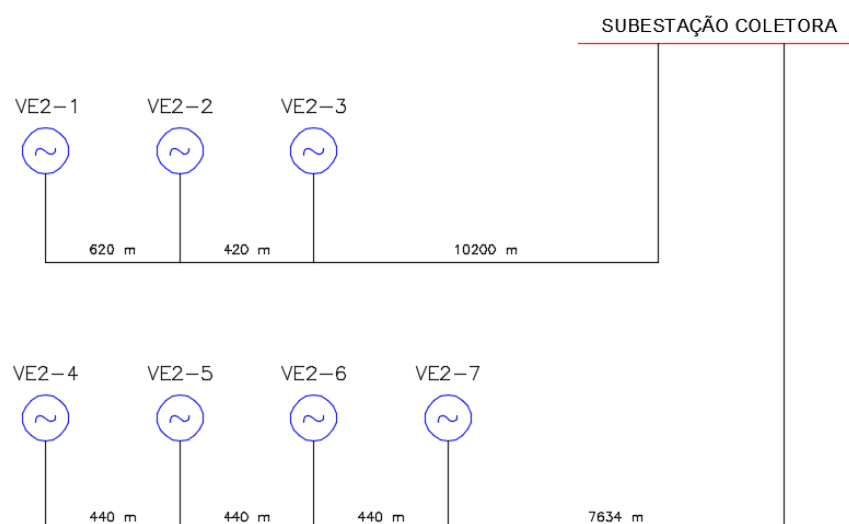
FIGURA 21 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA I



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania I possui seu maior trecho de 2.300 m, entre o aerogeradores VE1-5 e a Subestação Coletora.

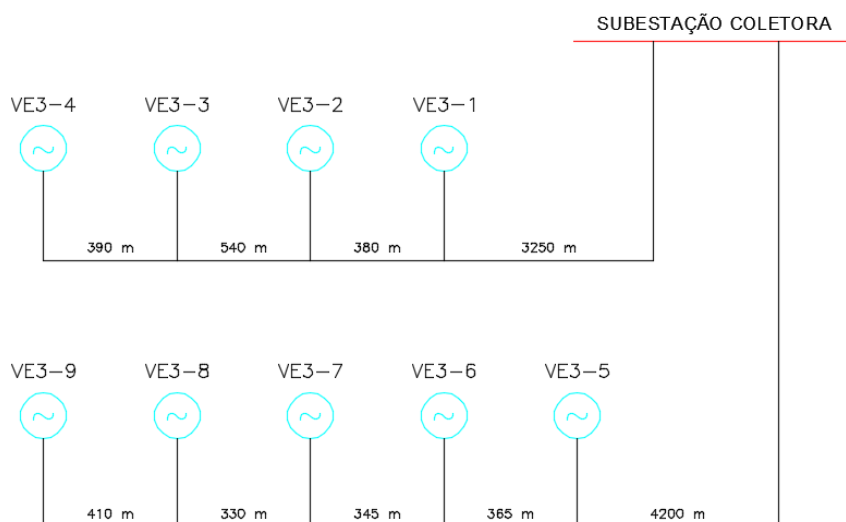
FIGURA 22 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA II



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania II possui seu maior trecho de 10.200 m, entre o aerogeradores VE2-3 e a Subestação Coletora.

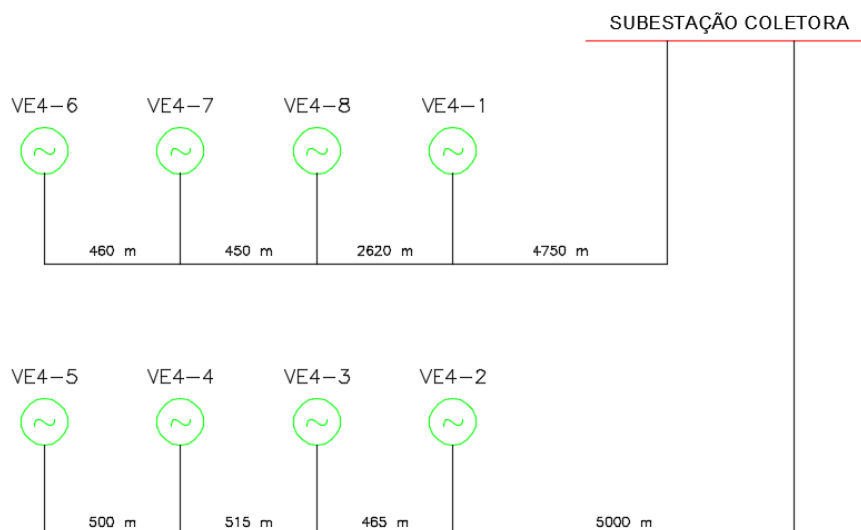
FIGURA 23 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA III



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania III possui seu maior trecho de 4.200 m, entre o aerogeradores VE3-5 e a Subestação Coletora.

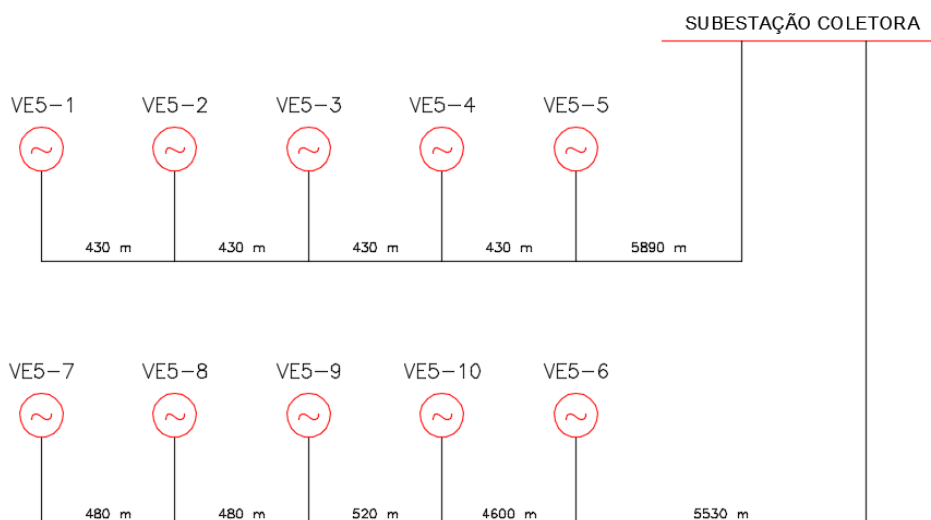
FIGURA 24 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA IV



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania IV possui seu maior trecho de 5.000 m, entre o aerogeradores VE4-2 e a Subestação Coletora.

FIGURA 25 – DIVISÃO DE CIRCUITO DA RMT SUBTERRÂNEA DO PARQUE VENTANIA V



FONTE: O autor (2018).

O parque Ventania V possui seu maior trecho de 5.890 m, entre o aerogeradores VE5-5 e a Subestação Coletora.

Pelas figuras das divisões dos circuitos observar-se que o parque é extenso e considerando que os cabos isolados da rede subterrânea são afetados pelo fator de capacidade, as perdas podem ser consideráveis.

3.4.1 Critério de curto circuito

A corrente trifásica adotada na barra 34,5 kV da Subestação Coletora $I_{cc} = 18$ kA será a corrente considerada até o primeiro aerogerador.

Aplicando-se a Equação 2, a seção mínima normatizada encontrada é de $S = 150 \text{ mm}^2$.

Considerando a impedância do cabo de 150 mm^2 , a corrente de curto é reduzida a aproximadamente 11,7 kA e aplicando-se novamente a Equação 2, agora com a nova corrente, a seção mínima normatizada é reduzida à $S = 95 \text{ mm}^2$.

Dessa forma, a seção mínima para a conexão da SE Coletora até os primeiros aerogeradores será de $S = 150 \text{ mm}^2$, enquanto que para os demais será de $S = 95 \text{ mm}^2$.

3.4.2 Critério de capacidade de corrente

Para o dimensionamento pelo critério de capacidade de corrente, foram consideradas as seguintes premissas:

- Temperatura do solo de 25°C
- Resistividade térmica do solo 2.5°C.m/W
- Instalação do cabo subterrâneo será do tipo diretamente enterrado, conforme **FIGURA 15**.

QUADRO 8 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

Circuito	De	Para	Potência [MW]	Inominal [A]	Circuitos Agrupados	F temp	F solo	F agrup	Amp. Corrigida [A]	Seção [mm ²]	I cabo [A]
VE-I-C1	VE1-7	VE1-6	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE1-6	VE1-5	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE1-5	SE	9	164	6	0,97	1	0,67	252	185	262
VE-I-C2	VE1-4	VE1-3	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
	VE1-3	VE1-2	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE1-2	VE1-1	9	164	6	0,97	1	0,67	252	185	262
	VE1-1	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	300	342
VE-II-C1	VE2-1	VE2-2	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE2-2	VE2-3	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE2-3	SE	9	164	2	0,97	1	0,83	204	120	208
VE-II-C2	VE2-4	VE2-5	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE2-5	VE2-6	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE2-6	VE2-7	9	164	1	0,97	1	1	169	95	183
	VE2-7	SE	12	219	1	0,97	1	1	226	150	232
VE-III-C1	VE3-4	VE3-3	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
	VE3-3	VE3-2	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE3-2	VE3-1	9	164	2	0,97	1	0,83	204	185	262
	VE3-1	SE	12	219	2	0,97	1	0,83	272	240	304
VE-III-C2	VE3-9	VE3-8	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE3-8	VE3-7	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE3-7	VE3-6	9	164	1	0,97	1	1	169	95	183
	VE3-6	VE3-5	12	219	1	0,97	1	1	226	150	232
	VE3-5	SE	15	273	2	0,97	1	0,83	339	300	342

(continua)

QUADRO 8 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

Circuito	De	Para	Potência [MW]	Inominal [A]	Circuitos Agrupados	F temp	F solo	F agrup	Amp. Corrigida [A]	Seção [mm ²]	I cabo [A]
VE-IV-C1	VE4-6	VE4-7	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
	VE4-7	VE4-8	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE4-8	VE4-1	9	164	4	0,97	1	0,67	252	185	262
	VE4-1	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	300	342
VE-IV-C2	VE4-5	VE4-4	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE4-4	VE4-3	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE4-3	VE4-2	9	164	1	0,97	1	1	169	95	183
	VE4-2	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	300	342
VE-V-C1	VE5-1	VE5-2	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE5-2	VE5-3	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE5-3	VE5-4	9	164	1	0,97	1	1	169	95	183
	VE5-4	VE5-5	12	219	1	0,97	1	1	226	150	232
	VE5-5	SE	15	273	6	0,97	1	0,67	420	500	444
VE-V-C2	VE5-7	VE5-8	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE5-8	VE5-9	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE5-9	VE5-10	9	164	1	0,97	1	1	169	95	183
	VE5-10	VE5-6	12	219	4	0,97	1	0,67	337	300	342
	VE5-6	SE	15	273	6	0,97	1	0,67	420	500	444

Para o dimensionamento foram considerados os conceitos da NBR 14039 e a Equação 3, adotando condutores de 95, 120, 150, 185, 240, 300 e 500 mm².

3.4.3 Critério de queda de tensão

Segundo as normas vigentes a queda de tensão não deve ser superior a 5%.

QUADRO 9 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO

Circuito	De	Para	Potência [MW]	Inominal [A]	Circuitos Agrupados	Dist.	Margem Conexão	Folga 5%	Rca [Ω/km]	X _L [Ω/km]	Queda de tensão (%)
VE-I-C1	VE1-7	VE1-6	3	55	1	0,72	0,015	0,77	0,4017	0,1499	0,09
	VE1-6	VE1-5	6	110	1	0,59	0,015	0,64	0,4017	0,1499	0,14
	VE1-5	SE	9	164	6	2,30	0,015	2,43	0,2072	0,1273	0,46
VE-I-C2	VE1-4	VE1-3	3	55	2	0,52	0,015	0,56	0,4017	0,1499	0,06
	VE1-3	VE1-2	6	110	2	0,54	0,015	0,58	0,4017	0,1499	0,13
	VE1-2	VE1-1	9	164	6	0,56	0,015	0,60	0,2072	0,1273	0,11
	VE1-1	SE	12	219	6	0,58	0,015	0,62	0,1264	0,1173	0,11

(continua)

QUADRO 9 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DE QUEDA DE TENSÃO

Circuito	De	Para	Potência [MW]	Inominal [A]	Circuitos Agrupados	Dist.	Margem Conexão	Folga 5%	Rca [Ω /km]	X_L [Ω /km]	Queda de tensão (%)
VE-II-C1	VE2-1	VE2-2	3	55	1	0,62	0,015	0,67	0,4017	0,1499	0,08
	VE2-2	VE2-3	6	110	1	0,42	0,015	0,46	0,4017	0,1499	0,10
	VE2-3	SE	9	164	2	10,20	0,015	10,73	0,3184	0,1431	2,94
VE-II-C2	VE2-4	VE2-5	3	55	1	0,44	0,015	0,48	0,4017	0,1499	0,05
	VE2-5	VE2-6	6	110	1	0,44	0,015	0,48	0,4017	0,1499	0,11
	VE2-6	VE2-7	9	164	1	0,44	0,015	0,48	0,4017	0,1499	0,16
	VE2-7	SE	12	219	1	7,63	0,015	8,03	0,2596	0,1390	2,47
VE-III-C1	VE3-4	VE3-3	3	55	2	0,39	0,015	0,43	0,4017	0,1499	0,05
	VE3-3	VE3-2	6	110	2	0,54	0,015	0,58	0,4017	0,1499	0,13
	VE3-2	VE3-1	9	164	2	0,38	0,015	0,41	0,2072	0,1273	0,08
	VE3-1	SE	12	219	2	3,25	0,015	3,43	0,1574	0,1200	0,69
VE-III-C2	VE3-9	VE3-8	3	55	1	0,41	0,015	0,45	0,4017	0,1499	0,05
	VE3-8	VE3-7	6	110	1	0,33	0,015	0,36	0,4017	0,1499	0,08
	VE3-7	VE3-6	9	164	1	0,35	0,015	0,38	0,4017	0,1499	0,13
	VE3-6	VE3-5	12	219	1	0,37	0,015	0,40	0,2596	0,1390	0,12
	VE3-5	SE	15	273	2	4,20	0,015	4,43	0,1264	0,1173	0,94
VE-IV-C1	VE4-6	VE4-7	3	55	2	0,46	0,015	0,50	0,4017	0,1499	0,06
	VE4-7	VE4-8	6	110	2	0,45	0,015	0,49	0,4017	0,1499	0,11
	VE4-8	VE4-1	9	164	4	2,62	0,015	2,77	0,2072	0,1273	0,52
	VE4-1	SE	12	219	6	4,75	0,015	5,00	0,1264	0,1173	0,85
VE-IV-C2	VE4-5	VE4-4	3	55	1	0,50	0,015	0,54	0,4017	0,1499	0,06
	VE4-4	VE4-3	6	110	1	0,52	0,015	0,56	0,4017	0,1499	0,13
	VE4-3	VE4-2	9	164	1	0,47	0,015	0,50	0,4017	0,1499	0,17
	VE4-2	SE	12	219	6	5,00	0,015	5,27	0,1264	0,1173	0,89
VE-V-C1	VE5-1	VE5-2	3	55	1	0,43	0,015	0,47	0,4017	0,1499	0,05
	VE5-2	VE5-3	6	110	1	0,43	0,015	0,47	0,4017	0,1499	0,11
	VE5-3	VE5-4	9	164	1	0,43	0,015	0,47	0,4017	0,1499	0,16
	VE5-4	VE5-5	12	219	1	0,43	0,015	0,47	0,2596	0,1390	0,14
	VE5-5	SE	15	273	6	5,89	0,015	6,20	0,0796	0,1078	0,93
VE-V-C2	VE5-7	VE5-8	3	55	1	0,48	0,015	0,52	0,4017	0,1499	0,06
	VE5-8	VE5-9	6	110	1	0,48	0,015	0,52	0,4017	0,1499	0,12
	VE5-9	VE5-10	9	164	1	0,52	0,015	0,56	0,4017	0,1499	0,19
	VE5-10	VE5-6	12	219	4	4,60	0,015	4,85	0,1264	0,1173	0,82
	VE5-6	SE	15	273	6	5,53	0,015	5,82	0,0796	0,1078	0,88

Aplicando a Equação 4, todos os trechos encontram-se dentro do limite da norma.

3.4.4 Critério de perdas elétricas

Segundo definido nos critérios de projeto, as perdas elétricas medias dos circuitos não deveriam ultrapassar 1,2%.

QUADRO 10 – DIMENSIONAMENTO PELO CRITÉRIO DE PERDAS ELÉTRICAS

	Perdas Joule [kW]	Perdas no dielétrico [kW]	Perdas Totais [kW]	Perdas Totais [%]
VE-I - C1	52,72	18,06	70,78	0,79%
VE-I - C2	32,00	11,41	43,41	0,36%
VE-II - C1	284,65	47,63	332,28	3,69%
VE-II - C2	324,18	40,11	364,29	3,04%
VE-III - C1	94,62	26,11	120,73	1,01%
VE-III - C2	159,14	34,09	193,23	1,29%
VE-IV - C1	146,19	49,81	195,99	1,63%
VE-IV - C2	122,19	39,22	161,41	1,35%
VE-V - C1	151,54	54,87	206,41	1,38%
VE-V - C2	219,46	81,25	300,71	2,00%
			Media	1,65%

Calculando-se as perdas elétricas (Equações 5 e 6), é possível observar que a maioria dos circuitos possuem perdas acima das admitidas no critério de projeto e devem ser redimensionados.

3.4.5 Redimensionamento

Para o redimensionamento, além dos circuitos que ultrapassaram o limite, foram redimensionados os demais circuitos com o intuito de atender ao critério de perdas.

QUADRO 11 – REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS
CAPACIDADE DE CORRENTE

Circuito	De	Para	Potência [MW]	Inominal [A]	Circuitos Agrupados	F temp	F solo	F agrup	Amp. Corrigida [A]	Seção [mm ²]	I cabo [A]
VE-I-C1	VE1-7	VE1-6	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE1-6	VE1-5	6	110	1	0,97	1	1	113	185	262
	VE1-5	SE	9	164	6	0,97	1	0,67	252	185	262
VE-I-C2	VE1-4	VE1-3	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
	VE1-3	VE1-2	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE1-2	VE1-1	9	164	6	0,97	1	0,67	252	185	262
VE-II-C1	VE1-1	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	300	342
	VE2-1	VE2-2	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE2-2	VE2-3	6	110	1	0,97	1	1	113	300	342
VE-II-C2	VE2-3	SE	9	164	2	0,97	1	0,83	204	500	444
	VE2-4	VE2-5	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE2-5	VE2-6	6	110	1	0,97	1	1	113	185	262
VE-III-C1	VE2-6	VE2-7	9	164	1	0,97	1	1	169	300	342
	VE2-7	SE	12	219	1	0,97	1	1	226	400	391
	VE3-4	VE3-3	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
VE-III-C2	VE3-3	VE3-2	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE3-2	VE3-1	9	164	2	0,97	1	0,83	204	185	262
	VE3-1	SE	12	219	2	0,97	1	0,83	272	500	444
VE-IV-C1	VE3-9	VE3-8	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE3-8	VE3-7	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE3-7	VE3-6	9	164	1	0,97	1	1	169	185	262
	VE3-6	VE3-5	12	219	1	0,97	1	1	226	185	262
VE-IV-C2	VE3-5	SE	15	273	2	0,97	1	0,83	339	500	444
	VE4-6	VE4-7	3	55	2	0,97	1	0,83	68	95	183
	VE4-7	VE4-8	6	110	2	0,97	1	0,83	137	95	183
	VE4-8	VE4-1	9	164	4	0,97	1	0,67	252	500	444
VE-V-C1	VE4-1	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	500	444
	VE4-5	VE4-4	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE4-4	VE4-3	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE4-3	VE4-2	9	164	1	0,97	1	1	169	185	262
VE-V-C2	VE4-2	SE	12	219	6	0,97	1	0,67	337	500	444
	VE5-1	VE5-2	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE5-2	VE5-3	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
	VE5-3	VE5-4	9	164	1	0,97	1	1	169	185	262
VE-V-C3	VE5-4	VE5-5	12	219	1	0,97	1	1	226	240	304
	VE5-5	SE	15	273	6	0,97	1	0,67	420	500	444
	VE5-7	VE5-8	3	55	1	0,97	1	1	57	95	183
	VE5-8	VE5-9	6	110	1	0,97	1	1	113	95	183
VE-V-C4	VE5-9	VE5-10	9	164	1	0,97	1	1	169	185	262
	VE5-10	VE5-6	12	219	4	0,97	1	0,67	337	500	444
	VE5-6	SE	15	273	6	0,97	1	0,67	420	500	444

QUADRO 12– REDIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS SUBTERRÂNEOS–PERDAS ELÉTRICAS

	Perdas Joule [kW]	Perdas no dielétrico [kW]	Perdas Totais [kW]	Perdas Totais [%]
VE-I - C1	48,23	19,02	67,25	0,01
VE-I - C2	32,00	11,41	43,41	0,00
VE-II - C1	73,42	87,67	161,08	0,02
VE-II - C2	125,07	63,01	188,08	0,02
VE-III - C1	56,25	32,26	88,51	0,01
VE-III - C2	103,89	41,07	144,96	0,01
VE-IV - C1	84,01	63,31	147,32	0,01
VE-IV - C2	78,82	47,17	125,99	0,01
VE-V - C1	137,32	56,30	193,61	0,01
VE-V - C2	178,01	88,71	266,72	0,02
			Media	1,15%

O melhor resultado encontrado no dimensionamento considera cabos das seguintes bitolas: 95, 185, 240, 300, 400 e 500 mm², seguindo as perdas medias dos circuitos definidas no critério de projeto de ate 1,2%.

3.4.6 Impactos do Redimensionamento

a) Rede Aérea

No redimensionamento da rede aérea (QUADRO 13) os trechos de maior comprimento e de maior potência com cabo Alliance foram substituídos por cabo Cairo, com maior bitola, menor resistência e menores perdas elétricas.

QUADRO 13 – REDIMENSIONAMENTO REDE AÉREA

Condutor	R\$ Condutores	PERDAS
Cabo ALLIANCE	R\$ 3.417.277,60	8,14%
Cabo ALLIANCE + CAIRO - redimensionamento	R\$ 4.550.392,80	4,15%
	R\$ 1.133.115,20	-3,99%

Com um investimento superior de aproximadamente 33% na troca de condutores, as perdas são reduzidas em aproximadamente 50%.

b) Rede Subterrânea

No redimensionamento da rede subterrânea (QUADRO 14) os cabos de forma geral foram substituídos por condutores de maior bitola, mantendo o limite de 500mm².

QUADRO 14 – REDIMENSIONAMENTO REDE SUBTERRÂNEA

Condutor	R\$ Condutores	PERDAS
Cabos AL 95, 120, 150, 185, 240, 300 e 500 mm ²	R\$ 11.681.964,55	16,54%
Cabos AL 95, 185, 240, 300, 400 e 500 mm ² - resimensionamento	R\$ 15.238.099,37	11,52%
	R\$ 3.556.134,82	-5,02%

Com um investimento superior de aproximadamente 30% na troca de condutores, as perdas são reduzidas em aproximadamente 30%.

3.5 LEVANTAMENTO DE MATERIAIS

Para o levantamento dos equipamentos, materiais e serviços foi considerado a rede de distribuição em média tensão 34,5 kV, dimensionada para 41 aerogeradores de 3MW (total de 123MW).

O limite de escopo da RMT parte do fornecimento e conexão dos terminais nos cubículos de média tensão localizados na base dos aerogeradores até a conexão dos terminais na Subestação Coletora.

a) Rede Aérea

A rede de distribuição mista será predominantemente aérea, sendo considerados trechos subterrâneos somente o trecho entre a base do aerogerador e o poste da rede aérea para os aerogeradores e para as travessias sob as vias de acesso e rodovias.

A rede aérea percorre o lado oposto da via de acesso onde se encontram os aerogeradores, desta forma para o acesso aos painéis dos aerogeradores, localizado na base dos mesmos, é previsto um trecho subterrâneo de 40m, sendo que destes 10m em banco de dutos envelopados para as travessias, e 30m em valas com cabos diretamente enterrados.

Para as travessias sob as vias de acesso onde os dutos são envelopados, os cabos de força são lançados em trifólios, sendo cada trifólio em um duto corrugado. Um cabo de cobre nu para interligação da malha de aterramento e um cabo de fibra óptica (24 fibras) são instalados em outros dutos corrugados. As valas são preenchidas com concreto a 30cm para recobrimento dos dutos corrugados e demais com material proveniente da escavação. A 40cm da superfície é lançada ao longo da vala uma fita de sinalização.

As travessias são sob as vias internas para entrada de cabos na base dos aerogeradores e travessias subterrâneas sob rodovias.

Após o lançamento dos cabos e a montagem das terminações, os cabos de média tensão são comissionados através da aplicação de tensão aplicada em VLF (*Very Low Frequency*), e são realizados os testes de continuidade e medições da resistência Ôhmica.

A rede aérea é formada por condutores de alumínio liga - CAL. Nas estruturas de transição aérea-subterrânea são instalados para-raios e chaves seccionadoras unipolares, bem como as muflas uso externo, caixas de emenda de cabo de fibra óptica e demais acessórios. Em todo o traçado da RMT, para este caso, existe um cabo de aço com a função de interligação da malha de terra dos aerogeradores e da SE Coletora, sendo previsto uma haste de terra em cada poste. Também irá percorrer a RMT um cabo óptico autossustentável.

QUADRO 15 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE AÉREA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS			
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.
CABOS CONDUORES E FO			
1	Cabo Conductor CAL (6201) 246,9 MCM ALLIANCE	m	50.400
2	Cabo Conductor CAL (6201) 465,4 MCM CAIRO	m	155.200
3	Cabo Óptico ADSS 24 FO	m	52.014

(continua)

QUADRO 13 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE AÉREA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS			
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.
SECCIONADORA, PARA-RAIOS E ISOLADORES			
4	Chave Seccionadora Monopolar 400 A	un	123
5	Chave Seccionadora Monopolar 630 A	un	60
6	Pára-Raios	un	183
7	Isolador Polimérico Pilar	un	2.742
8	Isolador Polimérico Bastão	un	1.272
ACESSÓRIOS			
9	Conjunto Olhal para Parafuso M16 + Gancho Olhal + Manilha sapatilha + Alça preformada	cj	1.272
10	Haste de aterramento 3/4" x 3m	un	183
11	Cabo de aterramento de cobre 70mm ² (aterramento dos postes)	m	3.355
POSTES			
12	Postes de 600 kgf - Altura de 12 m	un	266
13	Postes de 800 kgf - Altura de 14 m	un	218
14	Postes de 1000 kgf - Alturas de 12 a 14 m	un	50
15	Postes de 1500 kgf - Alturas de 12 a 14 m	un	28
16	Postes de 2000 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	28
17	Postes de 2500 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	28
18	Postes de 3000 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	22
19	Cruzetas de concreto tipo "T", 2400 mm	un	1.249
MATERIAIS PARA FO			
20	DIO rack padrão 19" para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	un	1
21	DIO parede para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	un	46
22	Cordão óptico duplex ST/ST 2,5m	cj	92

(continua)

QUADRO 13 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE AÉREA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS			
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.
TRAVESSIA			
23	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 185 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	7.380
24	Cabo de cobre nu seção nominal 70 mm ² , formado por fios de cobre eletrolítico, têmpera meio dura classe 2, diâmetro nominal externo	m	2.460
25	Eletroduto FG 6"	m	800
26	Eletroduto FG 2"	m	800
27	Caixa de emenda cabo dielétrico	un	71
28	Mufas Externa para cabo 185 mm ²	un	123

b) Rede Subterrânea

Para a rede coletora subterrânea os cabos de média tensão são lançados, acomodados no fundo de valas em trifólios, diretamente enterrados, ligeiramente ao lado dos acessos.

Ao longo das valas a 40cm da superfície é lançada uma fita zebreada de sinalização. Após reaterro das valas são colocados marcos de concreto a cada 50m para a sinalização. Na extensão das valas é lançado um cabo de cobre nu #70mm².

Também foram consideradas os serviços de fusões de fibra óptica nos DIO's, localizados na base dos aerogeradores e na Subestação Coletora.

O comissionamento inclui a inspeção de emendas, conexões e desconectáveis, medição da resistência ôhmica da isolação, ensaio de tensão aplicando utilizando equipamentos de testes do tipo VLF, ensaio de atenuação de sinais nas fibras e energização da RMT.

QUADRO 16 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE SUBTERRÂNEA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS			
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.
CABOS - EPR-105			
1	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 95 mm ² ; condutor principal em alumínio nu, encordoamento classe 2, compacto, blindagem do condutor e da isolamento em composto termofixo semiconductor, isolamento em composto de etileno propileno (EPR 105°C), espessura coordenada, classe de tensão 20/35kV, blindagem metálica de fios de cobre nu, têmpera mole, aplicados helicoidalmente, seção nominal # 12 mm ² , cobertura em composto	m	26.813
2	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 185 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	20.620
3	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 240 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	1.404
4	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 300 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	4.678
5	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 400 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	24.094
6	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 500 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	145.460
7	Condutor isolado tripolar de cobre 0,6/1kV 90°C, têmpera mole, seção nominal 6 mm ² , encordoamento extraflexível (classe 5), isolamento em composto termofixo em dupla camada de borracha HEPR (EPR/B - Alto Módulo), enchimento em composto termoplástico de PVC flexível sem chumbo, Cobertura em composto termoplástico de PVC	m	1.250
8	Cabo de cobre nu seção nominal 70 mm ² , formado por fios de cobre eletrolítico, têmpera meio dura classe 2, diâmetro nominal externo	m	74.400
9	Cabos de fibra ótica com proteção anti-roedor e proteção mecânica para instalação diretamente enterrada 24 FO Monomodo – 9/125µm	m	38.984
Desconectáveis			
10	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 95 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	102
11	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 185 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	60
12	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 240 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	6
13	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 300 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	18
14	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 400 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	6
15	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 500 mm ² em alumínio. Ccom conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	54

(continua)

QUADRO 14 – LISTA DE MATERIAIS ESTIMADA DA REDE SUBTERRÂNEA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS			
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.
Emendas			
16	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 95mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	26
17	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 185mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	14
18	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 240mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	2
19	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 300mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	4
20	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 400mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	21
21	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 500mm ² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais	cj	139
Para-raios			
22	Para-raios desconectáveis tipo cotovelo para instalação abrigada em cubículo blindado, classe de tensão 36 kV e corrente de descarga 10 kA, completo com terminal blindado classe 36 kV e corpo em T	cj	69
Materiais para FO			
23	DIO rack padrão 19" para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	pç	1
24	DIO parede para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	pç	46
25	Cordão óptico duplex ST/ST 2,5m	cj	92

3.6 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

O estudo considerou o Complexo Eólico Ventania de 123 MW (41 aerogeradores de 3 MW), interligado por uma rede de média tensão 34,5 kV de aproximadamente 70 km.

Utilizando de cotações atuais de banco de dados, foram levantados os custos das redes aérea e subterrânea que estão detalhados nos Anexos A e B:

QUADRO 17 – CUSTOS ESTIMADOS

CUSTOS ESTIMADOS			
	MATERIAIS	SERVIÇOS	R\$ TOTAL
REDE AÉREA	R\$ 8.352.912,81	R\$ 4.612.391,19	R\$ 12.965.304,00
REDE SUBTERRÂNEA	R\$ 18.558.411,83	R\$ 5.064.561,44	R\$ 23.622.973,27

Pelo comparativo é possível observar que os custos envolvidos na implantação de uma rede subterrânea são representativos quando comparados à rede aérea, porém, outros custos devem ser analisados e contabilizados na tomada de decisão sobre qual tipo de rede adotar.

- Impacto da indisponibilidade do sistema devido a descargas atmosféricas e manutenções;
- Custos das manutenções;
- Análise financeira das perdas elétricas.

4 CONCLUSÃO

Apesar do crescimento da geração eólica e a grande quantidade de parques que surgem a cada ano, o país ainda não está consolidado tecnicamente. Existem ainda dúvidas, por parte de investidores, quanto ao tipo de rede de média utilizar e dos estudos a serem realizados para a correta tomada de decisão.

Pelo estudo é possível observar a importância do dimensionamento de forma correta, as diferenças do dimensionamento nos dois tipos de rede e principalmente as perdas elétricas que irão impactar financeiramente o empreendimento. Além desses pontos não foi quantificado o impacto das falhas devido ao subdimensionamento dos cabos isolados ou da queda de raios nas redes aéreas.

A partir da concepção do projeto até a construção do empreendimento podem ser observadas diversas alterações decorrentes principalmente por dificuldades de licenciamento ambiental, desapropriação fundiária e liberação de faixas de servidão nas propriedades e variação do custo de materiais, especialmente cabos isolados que trazem alguns componentes indexados ao dólar e como pode ser visto nos Anexos A e B e o grande responsável pela diferença de custo entre as redes.

De acordo com o estudo, para este caso, a rede do tipo subterrânea possui um custo de aproximadamente 82% acima do apresentado pela rede aérea. E esse é o principal motivo que leva muitos investidores a adotar a rede aérea no Brasil: o custo inferior quando comparado à rede subterrânea. Esses custos elevados estão principalmente atrelados as enormes dimensões envolvidas, chegando no pior caso, em mais de 10 km de comprimento!

No caso analisado dificilmente o investidor optaria pela alternativa subterrânea, pois além da grande diferença para a implantação, as perdas são mais elevadas.

Para redução dessas perdas, mantendo-se as demais características do projeto, seria necessário aumentar a bitola dos condutores, ou seja, com o intuito de se alcançar perdas reduzidas seriam necessários condutores com altas bitolas, elevando ainda mais o custo da rede subterrânea quando comparado à rede aérea.

De modo geral, deve ser realizada uma análise técnico-econômica projetando os custos envolvidos durante o período integral da concessão, englobando questões como:

- Prejuízo financeiro causado pelos constantes desligamentos das redes aéreas, seja para manutenções programadas ou emergenciais;
- Custo das possíveis manutenções na rede subterrânea;
- Análise financeira das perdas elétricas em cada tipo de rede;
- Custo de implantação das redes.

Dessa forma, em alguns casos, através de uma análise técnico-financeira comparativa entre os dois tipos de rede pode resultar, em ganhos a longo prazo, com a escolha de uma rede com um custo inicial mais elevado, porém, com maior confiabilidade e que irá exigir menos intervenções ao longo de sua vida útil ou período de concessão.

4.1 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros pode-se apontar os estudos de outros custos relevantes na definição da RMT de uma Central Eólica.

- Análise financeira comparativa das perdas elétricas em redes de média tensão aéreas e subterrâneas durante o período de concessão do parque.
- Análise comparativa dos custos atrelados às manutenções das redes de média tensão aéreas e subterrâneas durante o período de concessão do parque.
- Estudo comparativo dos impactos causados pela indisponibilidade do sistema eólico com redes de média tensão aéreas e subterrâneas durante o período de concessão do parque.

**ANEXO A – LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS SEM IMPOSTOS COM BASE NO
MÊS DE JULHO/2018 – REDE AEREA**

– QUADRO A1 – CUSTOS DOS MATERIAIS DA REDE AÉREA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS					
Íte m	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
CABOS CONDUORES E FO					
1	Cabo Condutor CAL (6201) 246,9 MCM ALLIANCE	m	50.400	16,62	837.698,40
2	Cabo Condutor CAL (6201) 465,4 MCM CAIRO	m	155.200	23,92	3.712.694,40
3	Cabo Óptico ADSS 24 FO	m	52.014	4,84	251.961,55
SECCIONADORA, PARA-RAIOS E ISOLADORES					
4	Chave Seccionadora Monopolar 400 A	un	123	1.138,73	140.063,79
5	Chave Seccionadora Monopolar 630 A	un	60	1.138,73	68.323,80
6	Pára-Raios	un	183	1.004,00	183.732,00
7	Isolador Polimérico Pilar	un	2.742	106,81	292.873,02
8	Isolador Polimérico Bastão	un	1.272	33,77	42.955,44
ACESSÓRIOS					
9	Conjunto Olhal para Parafuso M16 + Gancho Olhal + Manilha sapatilha + Alça preformada	cj	1.272	250,00	318.000,00
10	Haste de aterramento 3/4" x 3m	un	183	93,04	17.026,32
11	Cabo de aterramento de cobre 70mm ² (aterramento dos postes)	m	3.355	23,49	78.812,64

(continua)

- QUADRO A1 - CUSTOS DOS MATERIAIS DA REDE AÉREA

Íte m	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
POSTES					
12	Postes de 600 kgf - Altura de 12 m	un	266	1.352,16	359.674,56
13	Postes de 800 kgf - Altura de 14 m	un	218	2.002,95	436.643,10
14	Postes de 1000 kgf - Alturas de 12 a 14 m	un	50	2.564,40	128.220,00
15	Postes de 1500 kgf - Alturas de 12 a 14 m	un	28	3.460,42	96.891,76
16	Postes de 2000 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	28	4.677,84	130.979,52
17	Postes de 2500 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	28	5.309,82	148.674,96
18	Postes de 3000 kgf - Alturas de 12 a 15 m	un	22	6.419,01	141.218,22
19	Cruzetas de concreto tipo "T", 2400 mm	un	1.249	162,37	202.800,13
MATERIAIS PARA FO					
20	DIO rack padrão 19" para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	un	1	714,68	714,68
21	DIO parede para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	un	46	658,23	30.278,58
22	Cordão óptico duplex ST/ST 2,5m	cj	92	52,49	4.829,08
TRAVESSIA					
23	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 185 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	7.380	41,19	303.950,47
24	Cabo de cobre nu seção nominal 70 mm ² , formado por fios de cobre eletrolítico, têmpera meio dura classe 2, diâmetro nominal externo 10,35 mm, formação 7 fios x 3,45 mm	m	2.460	23,49	57.788,11
25	Eletroduto FG 6"	m	800	111,09	88.872,00
26	Eletroduto FG 2"	m	800	34,67	27.733,33
27	Caixa de emenda cabo dielétrico	un	71	3.107,01	220.597,96
28	Muflas Externa para cabo 185 mm ²	un	123	235,00	28.905,00
					8.352.912,81

- QUADRO A2 – CUSTOS DOS SERVIÇOS DA REDE AÉREA

SERVIÇOS ESTIMADOS					
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
MONTAGEM DE ESTRUTURAS					
1	Montagem de postes de concreto DT	poste	640	600,00	384.000,00
2	Montagem de cruzetas de concreto	pç	1.249	200,00	249.800,00
CABOS E ACESSÓRIOS					
3	Lançamento de cabo condutor XLPE 185mm²	m	7.380	9,30	68.634,00
4	Lançamento de cabo ótico autosustentado 24 fibras	km	52	5.000,00	260.000,00
5	Lançamento de cabo de Condutor CAA 477 MCM HAWK	km	51	5.600,00	285.600,00
6	Lançamento de cabo de Condutor CAA 795 MCM TERN	km	156	6.500,00	1.014.000,00
7	Montagem de Isolador Polimérico Pilar	unid.	2.742	30,00	82.260,00
8	Montagem de Isolador Polimérico Bastão	unid.	1.272	30,00	38.160,00
9	Montagem de Conjunto Olhal para Parafuso M16 + Gancho Olhal + Manilha sapatilha + Alça preformada	unid.	1.272	30,00	38.160,00
10	Montagem de Mufla terminal uso externo	cj	123	500,00	61.500,00
11	Montagem de Eletroduto FG 6"	m	800	50,00	40.000,00
12	Montagem de Eletroduto FG 1.1/2"	m	800	30,00	24.000,00
13	Montagem de Caixa de emenda cabo dielétrico	ptos	41	500,00	20.500,00
14	Fusões em caixa de emenda cabo dielétrico	ptos	984	50,00	49.200,00
EQUIPAMENTOS					
15	Montagem de chave seccionadora unipolar e suporte	cj	183	200,00	36.600,00
16	Montagem de pára-raio e suporte	cj	183	100,00	18.300,00
COMISSIONAMENTO					
17	Comissionamento	vb	1	297.877,19	297.877,19
SERVIÇOS DE FIBRA ÓPTICA					
18	Serviço de fusão em fibra óptica SM, dio's e caixa de emenda, incluso todas as despesas com viagem, locação de veículo, hospedagem, alimentação	vb	1	120.000,00	120.000,00
					4.612.391,19

**ANEXO B - LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS SEM IMPOSTOS COM BASE NO
MÊS DE JULHO/2018 – REDE SUBTERRANEA**

– QUADRO B1 – CUSTOS DOS MATERIAIS DA REDE SUBTERRÂNEA

LISTA DE MATERIAIS ESTIMADOS					
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
CABOS - EPR-105					
1	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 95 mm ² ; encordoamento classe 2, compacto, blindagem do condutor e da isolação em composto termofixo semicondutor, isolação em composto de etileno propileno (EPR 105°C), espessura coordenada, classe de tensão 20/35kV, blindagem metálica de fios de cobre nu, têmpera mole, aplicados helicoidalmente, seção #12mm ² , cobertura em composto termoplástico de PVC SEM CHUMBO, bloqueio longitudinal contra penetração de água na blindagem metálica.	m	26.813	41,19	1.104.312,17
2	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 185 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	20.620	41,19	849.249,13
3	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 240 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	1.404	50,14	70.396,56
4	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 300 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	4.678	59,08	276.365,36
5	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 400 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	24.094	67,36	1.623.068,22
6	Cabo unipolar de alumínio, classe 20/35 kV, seção nominal 500 mm ² ; demais características de acordo com item 1	m	145.460	77,79	11.314.707,92
7	Condutor isolado tripolar de cobre 0,6/1kV 90°C, têmpera mole, seção nominal 6 mm ² , encordoamento classe 5, isolação em composto termofixo em dupla camada de borracha HEPR (EPR/B - Alto Módulo), enchimento em composto termoplástico de PVC flexível s/ chumbo,	m	1.250	2,32	2.904,75
8	Cabo de cobre nu seção nominal 70 mm ² , formado por fios de cobre eletrolítico, têmpera meio dura classe 2, diâmetro nominal 10,35 mm, formação 7 fios x 3,45 mm	m	74.400	23,49	1.747.737,84
9	Cabos de fibra ótica com proteção anti-roedor e mecânica p/ instalação enterrada 24 FO Monomodo – 9/125µm	m	38.984	12,52	488.079,68
DESCONECTÁVEIS					
10	Kit de terminação desconectável para uma fase - conexão simples, para cabos EPR 105, classe 20/35 kV, seção nominal de 95 mm ² em alumínio. Com conector torquimétrico, corrente nominal 630 A.	cj	102	1.150,00	117.300,00
11	Kit de terminação desconectável, seção nominal de 185 mm ² , demais características conforme item 18.	cj	60	1.150,00	69.000,00
12	Kit de terminação desconectável, seção nominal de 240 mm ² , demais características conforme item 18.	cj	6	1.150,00	6.900,00
13	Kit de terminação desconectável, seção nominal de 300 mm ² , demais características conforme item 18.	cj	18	1.150,00	20.700,00
14	Kit de terminação desconectável, seção nominal de 400 mm ² , demais características conforme item 18.	cj	6	2.350,00	14.100,00
15	Kit de terminação desconectável, seção nominal de 500 mm ² , demais características conforme item 18.	cj	54	2.350,00	126.900,00

(continua)

– QUADRO B1 – CUSTOS DOS MATERIAIS DA REDE SUBTERRÂNEA

Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
EMENDAS					
16	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 95mm² classe 20/35 kV, cabo com isolamento em EPR 105, com luva de emenda; conjunto completo composto com a luva, camadas de material isolante e semicondutor, emenda da blindagem do cabo (12 mm ²), cobertura externa, instrução de montagem e demais componentes necessários para a perfeita aplicação da emenda; norma ABNT aplicável NBR 9314.	cj	26	1.536,50	39.949,00
17	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 185mm² , demais características de acordo com item 16.	cj	14	1.536,50	21.511,00
18	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 240mm² , demais características de acordo com item 16.	cj	2	1.763,90	3.527,80
19	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 300mm² , demais características de acordo com item 16.	cj	4	1.763,90	7.055,60
20	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 400mm² , demais características de acordo com item 16.	cj	21	1.763,90	37.041,90
21	Emenda pré-moldada para montagem a frio, para cabo alumínio 500mm² , demais características de acordo com item 16.	cj	139	2.000,50	278.069,50
PARA-RAIOS					
28	Para-raios desconectáveis tipo cotovelo para instalação abrigada em cubículo blindado, classe de tensão 36 kV e corrente de descarga 10 kA, completo com terminal blindado classe 36 kV e corpo em T	cj	69	4.400,00	303.600,00
MATERIAIS PARA FO					
29	DIO rack padrão 19" para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	pç	1	714,68	714,68
30	DIO parede para 24 fibras ST, incluso adaptadores e pig-tails	pç	46	658,23	30.278,58
31	Cordão óptico duplex ST/ST 2,5m	cj	92	52,49	4.829,08
					18.558.411,83

- QUADRO B2 – CUSTOS DOS SERVIÇOS DA REDE SUBTERRÂNEA

SERVIÇOS ESTIMADOS					
Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
PROJETO					
1	Ensaio de resistividade do solo	vb	1	50.000,00	50.000,00
2	Projeto das RMT's 34,5 kV subterrâneas do Parque Eólico	vb	1	200.488,00	200.488,00
CANTEIRO DE OBRAS					
3	Mobilização e desmobilização	vb	1	80.000,00	80.000,00
4	Construção do canteiro	vb	1	40.000,00	40.000,00
5	Administração local e manutenção de canteiro	vb	1	210.000,00	210.000,00
LANÇAMENTO DE CABOS					
6	Lançamento de Cabo até 95mm ²	m	26.813	7,50	201.097,50
7	Lançamento de Cabo até 185mm ²	m	20.620	8,10	167.022,00
8	Lançamento de Cabo até 240mm ²	m	1.404	8,90	12.495,60
9	Lançamento de Cabo até 300mm ²	m	4.678	9,30	43.503,54
10	Lançamento de Cabo até 400mm ²	m	24.094	10,20	245.758,80
11	Lançamento de Cabo até 500mm ²	m	145.460	11,60	1.687.336,00
12	Lançamento de Cabo de cobre trifásico até 6mm ² (Alimentação das torres anemométricas)	m	1.250	5,00	6.250,00
13	Lançamento de Cabo de Cobre	m	74.400	3,00	223.200,00
14	Lançamento de Fibra Óptica	m	38.984	5,00	194.920,00
15	Lançamento de Eletroduto 2" (alimentação das torres anemométricas)	m	1.250	4,00	5.000,00
EMENDAS E TERMINAÇÕES					
16	Montagem de terminal desconectável	Unid.	246	510,00	125.460,00
17	Montagem de emenda de cabos isolados	Unid.	195	400,00	78.000,00
18	Montagem de terminal tipo mufas no cubículo da Subestação	Unid.	30	400,00	12.000,00

(continua)

- QUADRO B2 – CUSTOS DOS SERVIÇOS DA REDE SUBTERRÂNEA

Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
VALAS PARA ENCAMINHAMENTO DE CABOS					
19	Vala para 01 circuito, dimensões de 0,6m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, aplicação de 0,30m de areia local, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e placa de PVC, reaterro compactado e instalação de marcos de concreto para sinalização a cada 50m.	m	13.635	21,00	286.335,00
20	Vala para 02 circuitos, dimensões de 0,9m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, aplicação de 0,30m de areia, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e placa de PVC, reaterro compactado e instalação de marcos de concreto para sinalização a cada 50m.	m	15.985	23,00	367.655,00
21	Vala para 03 circuitos, dimensões de 1,2m x 1,0m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, aplicação de 0,30m de areia, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e placa de PVC, reaterro compactado e instalação de marcos de concreto para sinalização a cada 50m.	m	1.040	27,00	28.080,00
22	Vala para 04 circuitos, dimensões de 1,5m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, aplicação de 0,30m de areia, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e placa de PVC, reaterro compactado e instalação de marcos de concreto para sinalização a cada 50m.	m	4.100	31,00	127.100,00
23	Vala para 06 circuitos, dimensões de 2,4m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, aplicação de 0,30m de areia, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e placa de PVC, reaterro compactado e instalação de marcos de concreto para sinalização a cada 50m.	m	680	35,00	23.800,00
TRAVESSIAS PARA ACESSOS INTERNO					
24	Travessia para 01 circuito, dimensões de 0,6m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, lançamento de 01 eletroduto 5" para cabo de força e 01 eletroduto 2" para fo, aplicação de 0,30m de concreto como proteção mecânica, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e reaterro compactado.	m	15	500,00	7.500,00
25	Travessia para 02 circuito, dimensões de 0,6m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, lançamento de 02 eletroduto 5" para cabo de força e 02 eletroduto 2" para fo, aplicação de 0,30m de concreto como proteção mecânica, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e reaterro compactado.	m	15	550,00	8.250,00
26	Travessia para 03 circuito, dimensões de 0,8m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, lançamento de 03 eletroduto 5" para cabo de força e 03 eletroduto 2" para fo, aplicação de 0,30m de concreto como proteção mecânica, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e reaterro compactado.	m	15	700,00	10.500,00
27	Travessia para 04 circuito, dimensões de 1,0m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, lançamento de 04 eletroduto 5" para cabo de força e 04 eletroduto 2" para fo, aplicação de 0,30m de concreto como proteção mecânica, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e reaterro compactado.	m	15	800,00	12.000,00

(continua)

- QUADRO B2 - CUSTOS DOS SERVIÇOS DA REDE SUBTERRÂNEA

Ítem	Descrição	Unid.	Qtde.	R\$ unitário	R\$
TRAVESSIAS PARA ACESSOS INTERNO					
27	Travessia para 06 circuito, dimensões de 1,4m x 1,2m (largura x altura) - inclui os serviços de escavação, regularização de fundo de vala, lançamento de 06 eletroduto 5" para cabo de força e 06 eletroduto 2" para fibra óptica, aplicação de 0,30m de concreto como proteção mecânica, fornecimento e lançamento de fita de sinalização e reaterro compactado.	m	15	1.000,00	15.000,00
TRAVESSIAS POR RODOVIAS					
28	Travessia para 01 circuito	m	20	2.500,00	50.000,00
29	Travessia para 02 circuito	m	20	3.500,00	70.000,00
TOPOGRAFIA					
30	Topografia	vb	1	42.000,00	42.000,00
COMISSIONAMENTO					
31	Ensaio de Tensão Aplicada em VLF e Medição da Resistência Ôhmica da Isolação	vb	1	151.360,00	151.360,00
32	Medições de Tangente Delta	vb	1	162.450,00	162.450,00
SERVIÇOS DE FIBRA ÓPTICA					
33	Serviço de fusão em fibra óptica SM, dios e caixa de emenda, incluso todas as despesas com viagem, locação de veículo, hospedagem, alimentação	vb	1	120.000,00	120.000,00
					5.064.561,44

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA. **Boletim Anual de Energia Eólica 2017**. Publicações. 2017. Disponível em: < <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2018.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2017**. Publicações. jun. 2017. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Publicações. 2017. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- BBC BRASIL. British Broadcasting Corporation. **Série de entraves limita uso da energia eólica no Brasil**. Publicações. 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/06/130604_energia_eolica_mdb>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Brasil é o país com melhor fator de aproveitamento da energia eólica**. Publicações. 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/brasil-e-o-pais-com-melhor-fator-de-aproveitamento-da-energia-eolica;jsessionid=567E4A7FC36C2CD5BA7A0B59EA658671.srv155>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- NEXANS. **Catálogo Cabos de Alumínio Nu - CA (Série AWG)**. Disponível em: <<http://www.nexans.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2018.
- GENERAL CABLE. **Catálogo Cabos de Média Tensão**. Disponível em: <<http://www.generalcable.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2018.
- O SETOR ELÉTRICO. **Por Baixo da Terra**. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/por-baixo-da-terra/>>. Acesso em: 23 jul. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro, 2005.
- PINTO, Milton. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- RODRIGUES, Paulo Roberto. **Energias Renováveis – Energia Eólica**. JELARE, 2011.
- CUSTODIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para a Produção de Energia Elétrica**. Porto Alegre: editora UFRGS, 2007.
- CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001**. Publicações. 2001. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>> Acesso em: 29 jul. 2018.

COPEL. Manual de Avaliação Técnico-Econômica de Empreendimentos Eólico-Elétricos. Curitiba, 2007.