



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ARTHUR VICTOR LIMA DA COSTA

**CONTROLE DE QUALIDADE DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS EM OBRAS
CIVIS DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA EXPERIÊNCIA EM OBRA
DE ENGENHARIA CIVIL**

**ARARUNA
2024**

ARTHUR VICTOR LIMA DA COSTA

**CONTROLE DE QUALIDADE DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS EM OBRAS
CIVIS DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA EXPERIÊNCIA EM OBRA
DE ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues.

**ARARUNA
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C837c Costa, Arthur Victor Lima da.

Controle de qualidade dos procedimentos executivos em obras civis de subestação de energia eólica [manuscrito] : uma experiência em obra de engenharia civil / Arthur Victor Lima da Costa. - 2024.

38 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues, Coordenação do Curso de Licenciatura em Física - CCTS."

1. Energia Eólica. 2. Subestações. 3. Procedimentos. 4. Qualidade. I. Título

21. ed. CDD 621.042

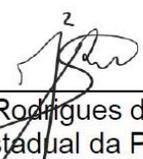
ARTHUR VICTOR LIMA DA COSTA

CONTROLE DE QUALIDADE DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS EM OBRAS
CIVIS DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA EXPERIÊNCIA EM OBRA
DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso
de Engenharia Civil da Universidade Es-
tadual da Paraíba, como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 27/06/2024.

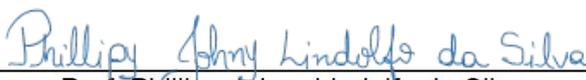
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Alan Barbosa Cavalcanti
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Phillipy Johny Lindolfo da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	A Energia Eólica	6
2.2	Energia Eólica no Brasil.....	7
2.3	Energia Eólica no Nordeste	9
2.4	Parques Eólicos e seus Componentes	11
2.4.1	<i>Aerogeradores – Tipos e Funcionamento.....</i>	<i>11</i>
2.4.2	<i>Redes Coletoras de Média Tensão - RMT.....</i>	<i>13</i>
2.4.3	<i>Linhas de Transmissão.....</i>	<i>14</i>
2.5	Subestações.....	16
2.5.1	<i>Classificação das Subestações.....</i>	<i>16</i>
2.5.2	<i>Tipos de Equipamentos da Subestação</i>	<i>16</i>
3	METODOLOGIA	17
3.1	Localização	17
3.2	Projetos de Infraestrutura	18
3.2.1	<i>Terraplenagem</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Fundação.....</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>Drenagem</i>	<i>20</i>
3.2.4	<i>Pavimentação e Urbanização.....</i>	<i>20</i>
3.3	Sistema de Qualidade.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1	Terraplenagem	21
4.2	Fundação dos Transformadores	22
4.2	Fundação dos Pórticos	26
4.2	Drenagem	29
4.3	Pavimentação e Urbanização.....	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS	33

CONTROLE DE QUALIDADE DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS EM OBRAS CIVIS DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA: UMA EXPERIÊNCIA EM OBRA DE ENGENHARIA CIVIL

Arthur Victor

RESUMO

A energia eólica emerge como uma fonte sustentável e amigável ao meio ambiente. Essa energia é produzida através de aerogeradores interligados através de cabos que comunicam uma subestação e casa de comando até uma rede de eletricidade de transporte. Pelo fato da operação e funcionamento das subestações serem contínuos, é necessário que a sua construção seja realizada de modo a garantir o seu tempo de vida útil. Assim, é importante analisar cada etapa de construção da obra, sob a observação dos procedimentos e projetos necessários, com o intuito de permitir prever desvios e minimizar a ocorrência de erros. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de descrever algumas atividades executivas da obra, analisar métodos de controle e verificação de serviços e propor melhorias nos procedimentos. A metodologia envolveu revisão em literaturas sobre o assunto, análise de normas e estudo detalhado das práticas executivas. Os resultados e discussões oferecem percepções e entendimentos importantes para mostrar como os procedimentos executivos, projetos e documentos de qualidade podem garantir a eficiência da obra. Concluiu-se que o estudo apresentado mostrou, a partir dos projetos da subestação e instrumentos de qualidade, como se deram as atividades de fiscalização, a verificação, a análise das execuções, o registro das atividades e melhorias a partir de outros documentos.

Palavras-Chave: energia eólica; subestações; procedimentos; qualidade.

ABSTRACT

Wind energy emerges as a sustainable and environmentally friendly source. This energy is generated through wind turbines interconnected via cables that link a substation and control house to an electricity transmission network. Given the continuous operation and functioning of substations, it is crucial that their construction ensures their operational lifespan. Thus, it is important to analyze each construction stage, observing the required procedures and projects, to anticipate deviations and minimize errors. This work aims to describe some of the executive activities of the project, analyze control and verification methods, and propose improvements to the procedures. The methodology involved a literature review on the subject, analysis of standards, and a detailed study of executive practices. The results and discussions provide important insights into how executive procedures, designs, and quality documents can ensure project efficiency. It was concluded that the study demonstrated, through the substation designs and quality instruments, how inspection activities, verification, execution analysis, activity recording, and improvements based on other documents were conducted.

Keywords: wind energy; substations; procedures; quality

1 INTRODUÇÃO

A energia eólica, amplamente comentada nos dias atuais dentro do contexto das mudanças climáticas a que o mundo presencia, pode ser entendida como uma forma de energia, dentre várias existentes, que se dá pela formação dos ventos, levando-se em conta o aquecimento irregular da terra, influenciado pela energia proveniente do sol, e a rotação do globo (Sedec, 2022).

É uma modalidade de energia considerada sustentável, limpa, amigável ao meio ambiente, pois possui níveis baixos de poluição, consumo de água e produção de gás carbônico, sem contar que apresenta poucos riscos de insegurança quando se considera o seu fornecimento (Gorayeb e Brannstrom, 2016).

O potencial de energia eólica disponível varia segundo as características naturais de cada região, bem como do próprio nível de produtividade e eficiência de geração de energia produzido nos empreendimentos eólicos que são construídos (Vries et al., 2007).

Esses locais, mais conhecidos como parques eólicos, ou usinas eólicas, são formados por um conjunto de aerogeradores interligados através de cabos que comunicam uma subestação e casa de comando até uma rede de eletricidade de transporte, e cabos de média tensão (Gouveia, 2013), dentre outras infraestruturas como: instalações elétricas e estradas de acesso (Staut, 2011).

Em âmbito nacional, segundo dados do mês de março de 2024 da Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica, em sua edição Nº34 da INFOvento (2024), o Brasil possui cerca de 1043 parques eólicos, totalizando 31,1 GW de capacidade instalada em operação ou teste, espalhados em 12 estados, e correspondendo a 15,4% da matriz energética brasileira, possuindo quase 11.200 aerogeradores.

Grande parte dos parques eólicos em operação comercial, ou em teste, estão sob o acompanhamento do Operador Nacional do Sistema – ONS, responsável por coordenar e controlar as operações das instalações de geração, além da transmissão de energia elétrica, no Sistema Interligado Nacional (SIN) – o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, que contempla o sistema hidrotermo-eólico de grande porte, e constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte (ONS, 2024)

Esse sistema interligado existe para permitir com que haja o fornecimento de energia para as unidades consumidoras de maneira eficiente e adequada, porém, devido ao fato de a geração de energia que sai das usinas ser dada em níveis baixos de tensão, tem-se a necessidade da atuação das subestações (Engie, 2024).

Essa infraestrutura primordial permite com que os níveis de tensão sejam elevados ou diminuídos, e que o transporte de energia por longas distâncias não tenha perdas excessivas. Além disso, a instalação de uma subestação é importante para não só melhorar a energia que é entregue aos consumidores (Brametal, 2024), mas também evitar sobrecargas na rede (Engie, 2024).

Conforme cartilha elaborada pela Engie (2024), a não atuação de uma subestação em uma rede de geração e transmissão de energia elétrica pode afetar o consumo racional de energia – por meio do aumento de preços da energia, causando impactos no meio ambiente, na sociedade e na economia; uso de mais recursos para produzir energia – através de equipamentos ineficientes; e a má performance dos equipamentos – através de dimensionamentos de carga errados. Logo, executar obras de subestação é garantir que ela atue justamente adequando o fornecimento

de energia de acordo com as demandas de consumo, usando equipamento modernos e eficientes (Engie, 2024).

Para a construção desses empreendimentos, ainda segundo a cartilha, é necessário que as concessionárias de energia e agências governamentais, como a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, estabeleçam as normas e critérios técnicos de execução, de projeto, de proteção e de aterramento, por exemplo.

Pelo fato da sua operação e funcionamento serem contínuos, é importante que a construção de uma subestação seja feita de modo a garantir o seu tempo de vida útil (Sousa, 2017). Dessa forma, é imprescindível analisar cada etapa de construção da obra, sob a observação dos procedimentos necessários, de forma a permitir prever desvios (Santos, 2016) e minimizar a ocorrência de erros e falhas (Sousa, 2017).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é, a partir da experiência prática obtida e vivenciada em uma obra de subestação de energia eólica, descrever algumas das atividades executadas diariamente a respeito dos procedimentos executivos utilizados; analisar os métodos de controle e verificação de serviços usados, e sua eficácia, bem como de identificar e propor melhorias nos procedimentos executivos.

Este trabalho está organizado em mais 5 (quatro) seções além dessa introdução – seção 1 (um), as quais: seção 2 (dois) é apresentada a fundamentação teórica, abordando conceitos e uma contextualização a respeito de energia eólica, parques eólicos e subestações. Na seção 3 (três) tem-se a metodologia, trazendo informações sobre como se deu o desenvolvimento do trabalho e o projeto civil das subestações. Na 4 (quatro), resultados e discussões, dá-se uma abordagem a respeito da vivência em obra, contemplando informações sobre os serviços que eram analisados e fiscalizados diariamente. Na seção 5 (cinco), apresentam-se as conclusões e considerações finais sobre o trabalho em questão. Por fim, as referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Energia Eólica

Considerada como uma energia renovável, limpa e com disponibilidade em todos os lugares, a energia eólica pode ser entendida como uma forma de energia formada através da circulação do ar atmosférico pelo globo, conseqüente da irregularidade do seu aquecimento (Dantas et al., 2021).

Conforme Gorayeb e Brannstrom (2016), seu aproveitamento se dá através da conversão de energia cinética de translação para energia cinética de rotação, por meio das turbinas eólicas que geram a energia elétrica da qual se conhece.

Essa geração ocorre através do contato do vento com as pás do aerogerador que, ao girarem, acionam o rotor do aerogerador, produzindo, assim, a eletricidade. A energia mecânica resultante da conversão da energia cinética está diretamente relacionada à velocidade dos ventos (Aneel, 2008), à área de cobertura das pás (diâmetro) e à densidade do ar, além da eficiência do equipamento (Shamshirband et al., 2014)

O aproveitamento dessa forma de energia se deu há muito tempo, por meio de embarcações movidas à vela (Gorayeb e Brannstrom, 2016), porém, os seus motores, ou seja, os ventos, só começaram a ser notados com certa importância para a eletricidade no início do século XIX, com o desenvolvimento dos moinhos para gerar eletricidade (Dantas et al., 2021).

Um século à frente, com a crise do Petróleo na década de 1970, houveram incentivos e interesses políticos que alavancaram e viabilizaram o desenvolvimento e a produção de máquinas/equipamentos em escala comercial para geração de energia eólica (Gorayeb e Brannstrom, 2016).

Por mais que atualmente ela esteja sendo usada para geração elétrica (Leung e Yang, 2012), a energia eólica tem outras diversas vantagens e benefícios: não emitem radiação, não emitem, diretamente, CO₂ na atmosfera (Dantas et al., 2021) – importante nas questões e discussões sobre o clima –, o consumo de água é baixo, assim como a reduzida poluição ambiental (Gorayeb e Brannstrom, 2016).

Ainda de acordo com Dantas et al. (2021), a emissão de gases se concentra, em sua maior parte, na fase de fabricação das pás e, depois, na fase de manutenção e transporte. Já no estágio final da vida útil dos aerogeradores, a contribuição não é tão significativa, já que grande parte desses equipamentos são reciclados.

Logo, essas vantagens desempenham um papel importante na questão da geração de energia no mundo (Dantas et al., 2021), não só para atender o setor elétrico, mas, também, para reduzir ou mitigar as alterações do clima, fruto das emissões de gases do efeito estufa.

Dessa forma, pode-se considerar que as energias renováveis, como a eólica, apresentam-se como grandes soluções para os problemas do meio ambiente, sendo, assim, bases para o desenvolvimento da sustentabilidade global (Dincer, 2000).

2.2 Energia Eólica no Brasil

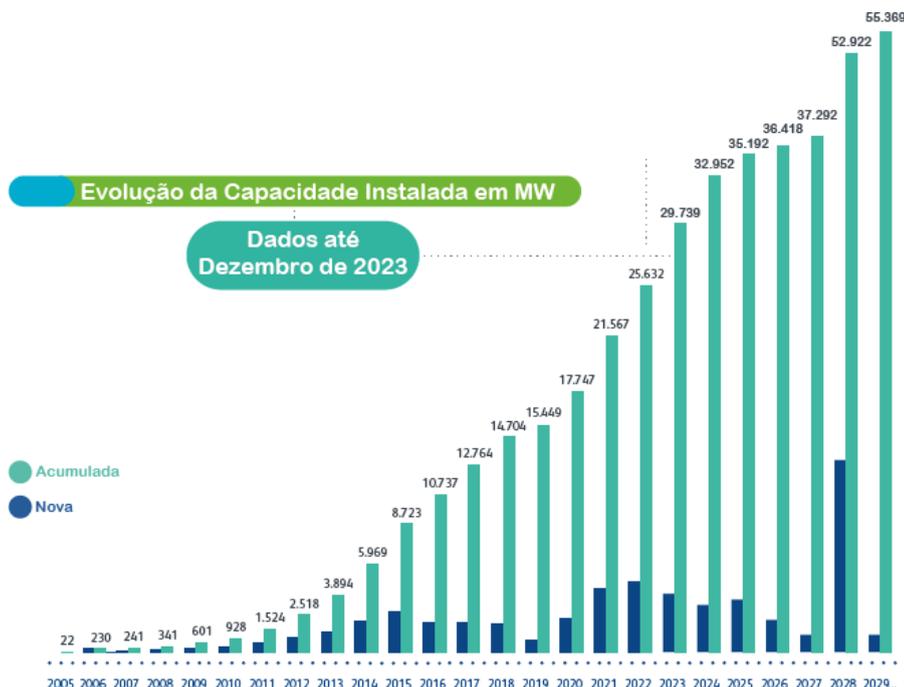
No Brasil, realizaram-se alguns esforços na tentativa de utilizar energia eólica para geração elétrica, porém foi só em 1992 que houve a instalação da primeira turbina eólica em escala comercial, localizada até então em Fernando de Noronha-PE, conforme apresentado no relatório de energia elétrica da Agência Nacional de Energia Elétrica (Rodrigues et al., 2016).

Dez anos depois, foi só com a divulgação do Proinfa – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – que houveram tentativas de incentivo e subsídio ao uso da energia eólica em território nacional (Dantas et al., 2021). No ano de 2013, segundo Pereira et al. (2013), o Brasil produzia cerca de 22 MW de energia, enquanto que, passados sete anos, chegou a produzir cerca de 602 MW.

Nesse mesmo ano, a capacidade instalada no território nacional, em operação comercial, já é de cerca de 28 GW de energia, representando um crescimento de mais de mil vezes a capacidade do ano de 2003, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias (ABEEólica, 2023).

Esse quantitativo só tende a aumentar ao longo dos anos, numa expectativa de crescimento cada vez maior, como é apresentado na Figura 1, que mostra a evolução da capacidade instalada no Brasil.

Figura 1 – Evolução da Capacidade Instalada em MW.

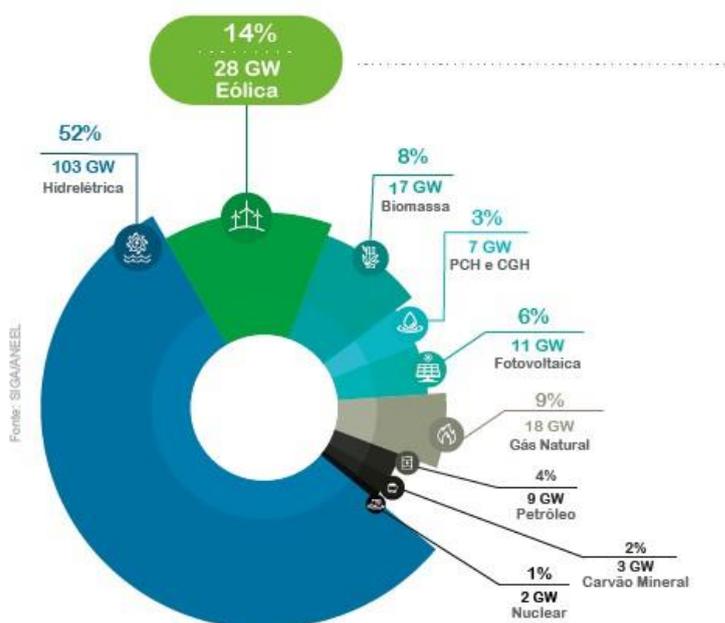


Fonte: ABEEólica - (2023)

Percebe-se pela Figura 1, que as perspectivas para crescimento da capacidade instalada da energia eólica em território nacional serão cada vez maiores até o ano de 2029, demonstrando a presença de incentivos para o uso dessa modalidade de energia.

Esse quantitativo, ainda pela Figura 1, representa cerca de 14% da participação da energia eólica na matriz energética brasileira, atingindo a segunda colocação, como apresentado na Figura 2, apresentando a matriz energética brasileira.

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira em GW.



Fonte: ABEEólica - (2023)

Da Figura 1, percebe-se que, por mais que a energia eólica, em termos percentuais, corresponda apenas a 14% de participação na matriz elétrica brasileira, ela já atingiu a segunda colocação, ficando atrás, apenas, da energia hidrelétrica, com 52% de participação e principal fonte de geração de energia elétrica brasileira.

Com 81,5 TWh de energia gerada, em 2023, já existiam mais de 1000 parques eólicos em 12 estados do território nacional, com mais de 10.940 aerogeradores, segundo publicação da INFOVENTO – Edição #33 da ABEEólica (2023).

Ainda segundo a Associação e a Global Wind Energy Council (GWEC), por meio da ABEEólica, um ano antes, o Brasil foi o terceiro país que mais instalou eólicas em todo o mundo – porém sendo o 6º no ranking mundial de capacidade eólica – de maneira que, em se tratando de energia gerada, o país conseguiu abastecer por mês, em média, cerca de 124 milhões de habitantes, o que equivale pouco mais às populações das regiões Sudeste e Sul juntas (ABEEólica, 2022).

2.3 Energia Eólica no Nordeste

Para retratar a situação no Brasil, é muito importante citar, também, a participação dos estados Nordestinos na geração eólica, com menção especial ao Rio Grande do Norte. Localizado na região nordeste do país, o estado do Rio Grande do Norte é quem possui a maior capacidade instalada de energia eólica no Brasil, ocupando uma posição central na geração de eletricidade nacional advinda do setor eólico, como publicado pelo novo Atlas do Potencial Eólico e Solar do RN (Sedec, 2022). Para isso, muitos fatores foram cruciais para que o estado potiguar atingisse esse nível de destaque no cenário nacional.

Como descrito por Dantas et al. (2021), apenas em 2002, dez anos após a instalação do primeiro aerogerador comercial em Fernando de Noronha, é que houve um incentivo na contratação da energia dos ventos, através do Proinfra – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, favorecendo o crescimento da produção de energia eólica no Brasil.

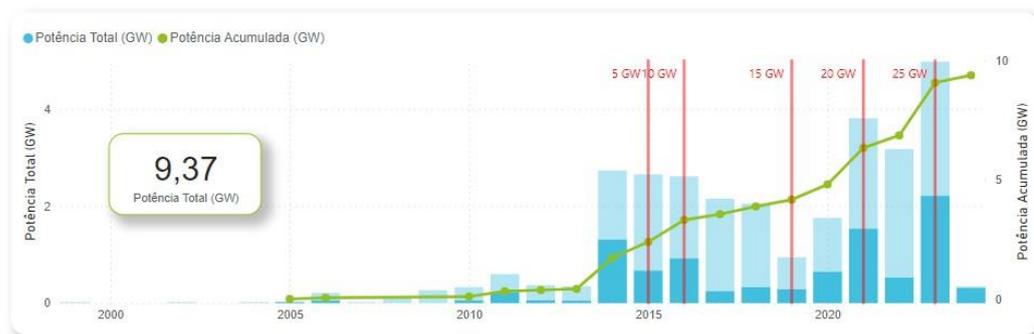
Ademais, com a inclusão de leilões específicos ao setor e a divulgação e investimentos em estudos relacionados ao recurso eólico, como o novo Atlas de Potencial Eólico e Solar de 2022, da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, da Ciência, da Tecnologia e da Inovação (SEDEC), o impulsionamento à energia eólica foi elevado, tornando o cenário para o estado muito importante nacionalmente.

Apenas em 2004 é que houve o início da operação da primeira usina eólica, localizada no Município de Macau-RN, dentro de um parque eólico piloto, implantado pela Petrobras. Com apenas 03 aerogeradores de 600 kW de potência cada, o parque possuía 1,8 MW de capacidade (Sedec, 2022).

No entanto, conforme discutido por Azevedo et al. (2015), só em 2009 é que a produção eólica no estado do Rio Grande do Norte teve expressividade notável, em que, através da concessão de leilões, 32 novos parques eólicos foram contratados para implantação.

Segundo a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, da Ciência, da Tecnologia e da Inovação (2022), passados 5 anos, o setor eólico potiguar atingiu maior notabilidade, quando foram inaugurados 48 novos parques no território, o que possibilitou ao estado atingir a liderança na produção de energia eólica do Brasil, mantendo-se, até hoje.

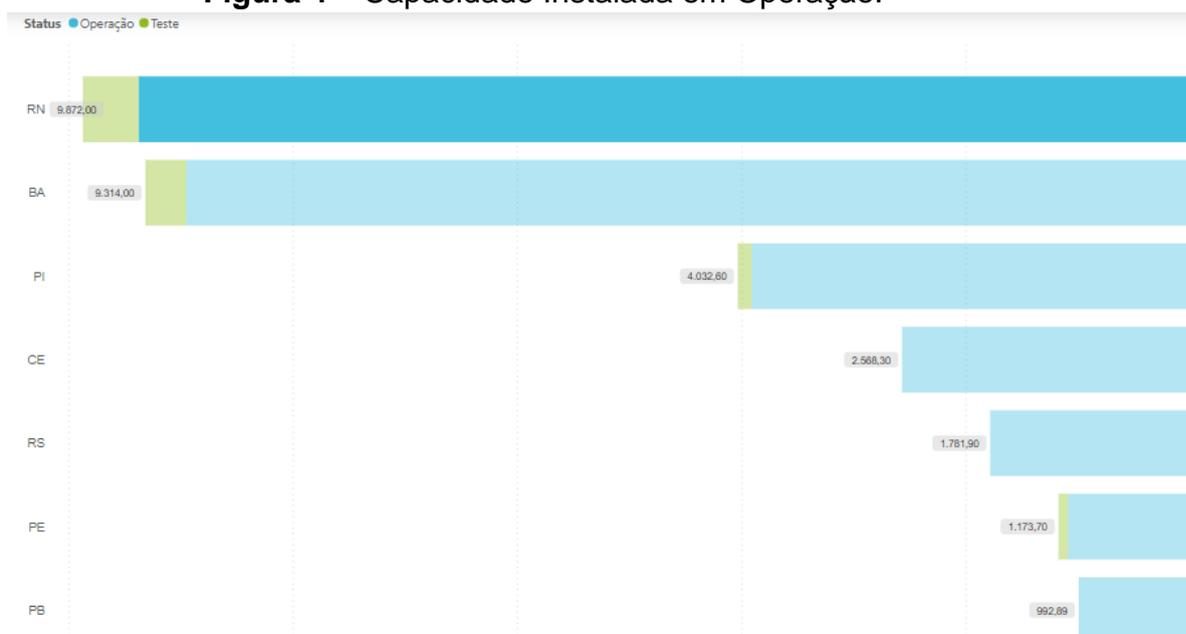
A Figura 3 apresenta a evolução ocorrida no estado do Rio Grande do Norte ao longo dos anos em relação à sua capacidade instalada, desde o ano de 2000 até os dias atuais.

Figura 3 – Evolução da Capacidade Instalada em Operação.

Fonte: ABEEólica - (2024)

Percebe-se pela Figura 3 que houve um crescimento elevado entre 2013-2014, em relação aos anos anteriores, na capacidade instalada, fruto dos investimentos em novos parques eólicos no território do estado, atingindo uma potência total atual de 9,37 GW.

Na Figura 4, já é possível traçar um paralelo importante entre a capacidade dos demais estados, não só nordestinos, com o Rio Grande do Norte.

Figura 4 – Capacidade Instalada em Operação.

Fonte: ABEEólica - (2024)

Pela Figura 4, os 4 (quatro) primeiros estados em capacidade instalada pertencem à região Nordeste, seguidos pelo estado do Rio Grande do Sul, e mostra como o Rio Grande do Norte está à frente de todos eles não só em termos de operação, mas também em testes de novas capacidades – indicado na barra verde do gráfico.

Isso demonstra não só a força do estado – que cresceu significativamente ao longo dos anos – no cenário nacional, mas também a importância dos incentivos dados à área, através da construção de parques eólicos e pesquisas ligados ao setor eólico.

2.4 Parques Eólicos e seus Componentes

Como o principal objetivo do uso dessa forma de energia é a geração de eletricidade fica evidente a importância do seu aproveitamento dentro dos chamados parques eólicos, compostos, basicamente por: aerogeradores, infraestrutura de suporte, subestações, instalações elétricas e estradas de acesso (Staut, 2011).

2.4.1 Aerogeradores – Tipos e Funcionamento

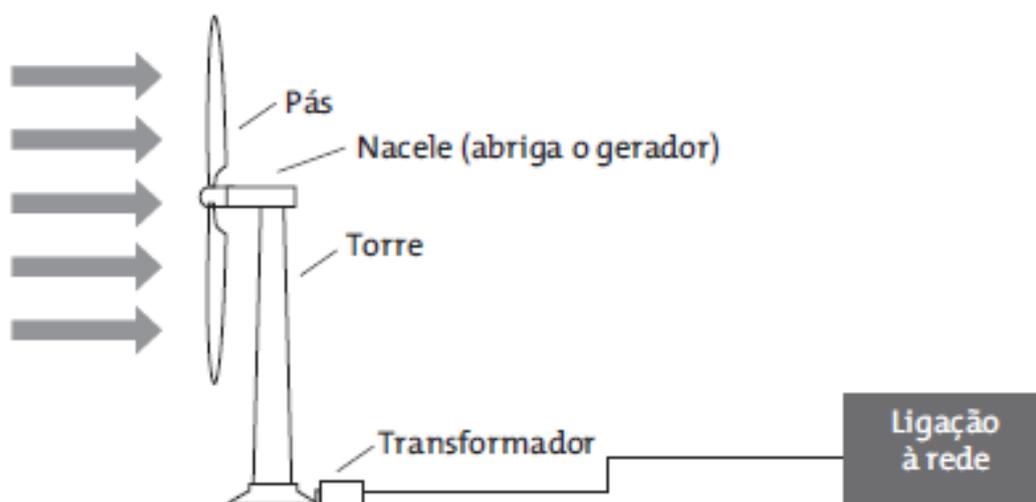
De acordo com Leung e Yang (2012), parques eólicos são um conjunto de aerogeradores eólicos usados para a geração elétrica por meio da captação dos ventos, de forma que os parques podem conter diversas turbinas e cobrir áreas de extensos quilômetros quadrados. Além disso, segundo Gorayeb e Brannstrom (2016), são dispostas de maneira ordenada em um mesmo local, levando em consideração, para a geração, a velocidade dos ventos, condições operacionais, rugosidade do terreno e o nível de estabilidade da temperatura da atmosfera.

Quando dispostas ordenadamente, garantem vantagens na diminuição dos custos de implantação, pois permitem o arrendamento de uma mesma área para sua instalação, além de facilitar no aluguel e uso de máquinas para a construção das estruturas, sem contar que facilitam o gerenciamento da manutenção das turbinas (Gorayeb e Brannstrom, 2016).

Para a viabilidade técnica, é importante a análise do fator vento. De acordo com Silva (2006) e Sousa (2010), ventos até 3 m/s não são aproveitáveis para que se gere eletricidade, assim como acima 12 m/s, pois, por meio da própria automação do aerogerador, o sistema de limitação de potência é ativado, reduzindo, assim, a geração. Também, para velocidades superiores a 25 m/s, o sistema automático das turbinas é ativado, desligando-as, assim.

Dentre os aerogeradores existentes atualmente, podem-se citar os de eixo horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine), que são montados paralelamente ao solo – Figura 5, e vertical – Figura 6 – (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine), a qual são dispostas de maneira perpendicular ao solo (Macedo et al, 2017), como mostram as figuras 5 e 6.

Figura 5 – Esquema de uma Turbina de Eixo Horizontal.

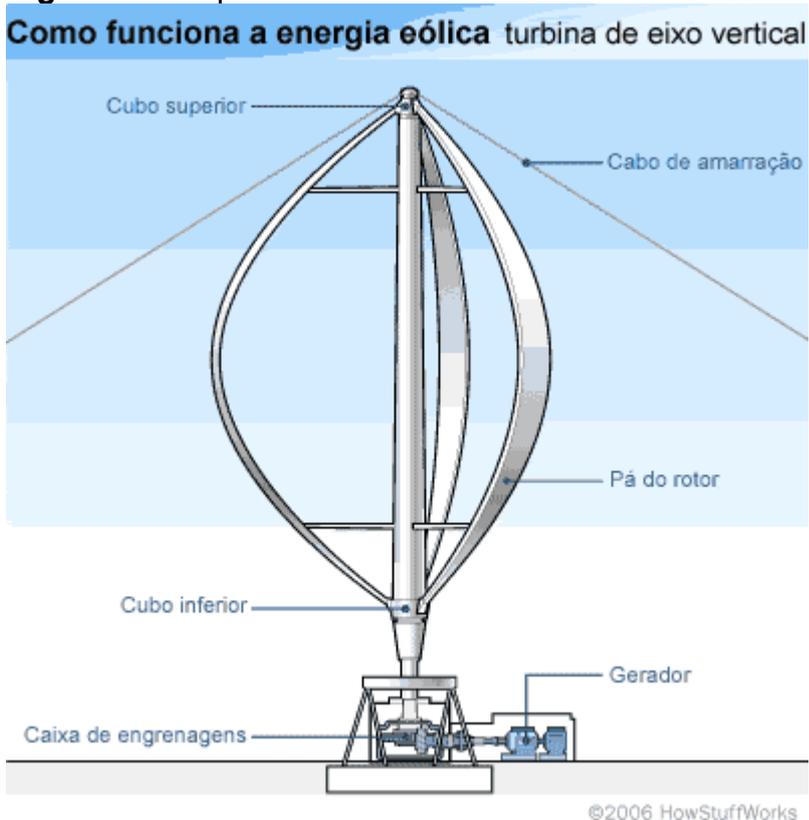


Fonte: BNDES - (2013)

A figura 5 mostra como basicamente é constituída um aerogerador, dividido em 3 partes importantes: Torre, Pás e a Nacele. De forma geral, são construídas em metal e abrigam, na sua parte interna, escadas, acesso à nacele, iluminação, cabeamento de segurança e outros acessórios (Staut, 2011).

Na figura 6, apresenta-se o esquema de uma turbina de eixo vertical e seus componentes.

Figura 6 – Esquema de uma Turbina de Eixo Vertical.



Fonte: Staut - (2011)

Na figura 6, os aerogeradores de eixo vertical funcionam de maneira diferente, pois possuem as pás curvadas em formato de "C", além de que elas funcionam operando independente da direção do vento, sem contar que possuem algumas peças, como caixa de engrenagens, gerador e rotor ao nível do terreno.

De acordo com Roca (2015) e Staut (2011), dentre as turbinas instaladas atualmente nos parques, as de eixo horizontal são as que prevalecem e mais comumente utilizadas, e são mais eficientes na geração de eletricidade, porque as suas pás ficam suspensas a uma distância considerável do solo, permitindo com que ventos de maior velocidade possam ser melhor explorados (Macedo et al., 2017). Além disso, elas podem ser posicionadas tanto no continente, nos parques eólicos *On-shore*, como também nos mares, dentro dos parques *Off-shore* (Gorayeb e Brannstrom, 2016).

2.4.2 Redes Coletoras de Média Tensão - RMT

Por definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 14039, tensões que estejam compreendidas entre 1 kV e 36,2 kV são consideradas como média tensão.

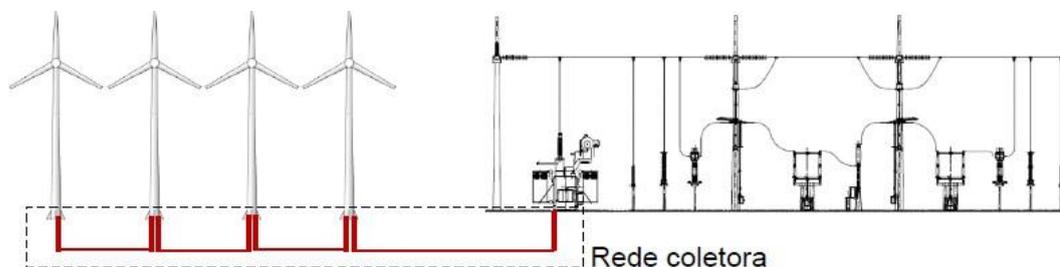
Para estabelecer a ligação dos aerogeradores, utiliza-se de uma rede elétrica de média tensão, a qual também é denominada por rede de distribuição interna ou rede coletora (Resende, 2012). Essa rede é a responsável por conectar diretamente a energia produzida pelas turbinas até as subestações dos parques eólicos (Staut, 2011) e compostas por um conjunto de equipamentos condutores e estruturas responsáveis por essa conexão, podendo possuir dezenas de quilômetros de extensão (de Oliveira, 2022).

Conforme Kawabata (2018), essas redes, basicamente, podem ser construídas em dois tipos diferente, de acordo com o tipo de instalação dos condutores: rede subterrânea e rede aérea.

a) Rede Coletora Subterrânea

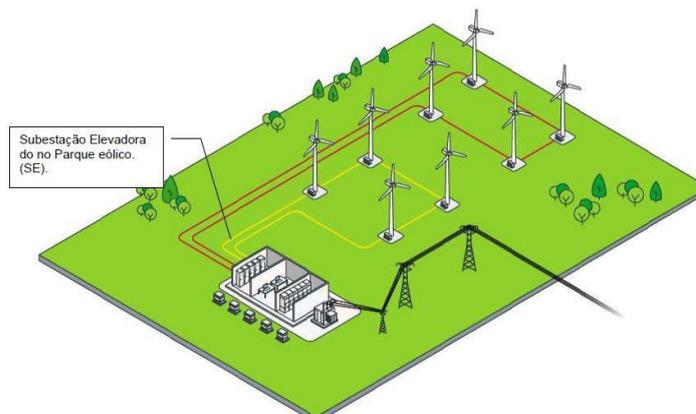
Nesse tipo de rede (ver figuras 7 e 8), os diversos equipamentos e cabos – confeccionados com isolamentos especiais –, como cabos de comunicação, de aterramento e de rede são instalados de forma subterrânea, enterrados em valas escavadas, e vão dentro de dutos (Resende, 2012).

Figura 7 – Esquema de uma Rede Interna do tipo Subterrânea.



Fonte: Secco - (2015)

Figura 8 – RMT do tipo Subterrânea.



Fonte: Resende - (2012)

As Figuras 7 e 8 representam a rede subterrânea que liga os aerogeradores à subestação coletora. Elas possuem maior proteção contra os agentes externos, sejam eles os ventos ou areia, apresentando, assim, menores índices de falhas, em comparação com a rede aérea (Secco, 2015).

Segundo Kawabata (2018), nesse tipo de rede, os custos de implantação são mais elevados, justificados pela necessidade do tráfego de máquinas e equipamentos na construção da infraestrutura básica – travessias, estradas e valas.

b) Rede Coletora Aérea

Já na rede aérea, os cabos são constituídos por alumínio, porém, também podem ser semi-isolados. A instalação se dá por meio do uso de isoladores fixados em estruturas de concreto, nas cruzetas de postes, assim como é feito na construção das redes de distribuição.

Na figura 9, é possível visualizar como se dá a conexão dos aerogeradores para a subestação coletora por meio de uma RMT do tipo aérea.

Figura 9 – Rede Coletora Aérea.



Fonte: Kawabata - (2018)

Quando comparadas às redes subterrâneas, conforme Secco (2015), as aéreas apresentam maiores problemas causados por eventos externos, seja por causa dos ventos, chuvas, descargas atmosféricas e, até mesmo, contato com animais e vandalismos. Conforme discutido por Kawabata (2018), é por causa desse tipo de exposição que essa rede necessita de maiores tempos de manutenção, porém, é a mais econômica em termos de custo de implantação.

2.4.3 Linhas de Transmissão

Segundo o Centro de Tecnologias do Gás e Energia Renováveis (2012), as linhas de transmissão correspondem a um sistema usado para transmitir energia eletromagnética, guiada a partir de uma fonte geradora para uma carga consumidora, e, na maioria dos casos, essa transmissão é realizada por cabos trançados de alumínio (Carleto, 2017) em postes e torres metálicas (Gracia e Silva, 2020).

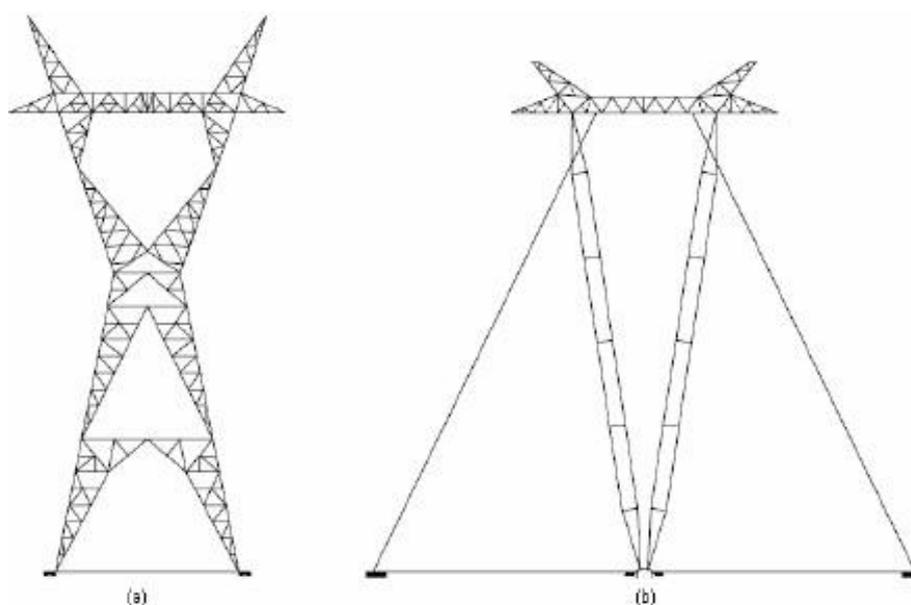
Segundo a Brametal, em sua cartilha sobre Infraestrutura de Transmissões Elétricas, argumenta que as torres em metal são o principal elemento estrutural usado na transmissão de energia elétrica no Brasil, e funcionam com o objetivo de sus-

tentar os cabos condutores e para-raios (Brametal, 2022), além de garantirem uma distância segura entre os cabos energizados, ou entre os condutores e o solo (Carlos, 2015).

Elas são dimensionadas e projetadas com a finalidade de resistir aos esforços mecânicos, suportar altas tensões e intempéries (Brametal, 2022), e garantir a amarração das LTs ao terreno, por meio das fundações (Carlos, 2015).

De acordo com as discussões de Zaú e Oliveira (1998), as estruturas metálicas podem ser de dois tipos: autoportantes e estaiadas – ver Figura 10.

Figura 10 – Alguns Tipos de Torres Metálicas das LTs.



Fonte: Gracia; Silva – (2020)

Na primeira, Figura 10(a), os esforços são transmitidos por meio das barras metálicas que compõem a estrutura, e a estabilidade é dada pelos pontos de apoio da base. Já na Figura 10(b), a estabilidade se dá pelos cabos de aço sujeitos à tração, que descarregam os esforços por meio das fundações. Além disso, as autoportantes necessitam de uma maior área, por causa justamente da necessidade dos cabos de aço (Gracia e Silva (2020).

Além de garantirem a sustentação dos condutores e amarrarem-nas ao terreno, são as linhas de transmissão que conectam as usinas geradoras de energia até as subestações, que integram o Sistema Interligado Nacional – um complexo sistema de subestações, usinas e a própria linha de transmissão – abastecendo todo o território nacional brasileiro (Carleto, 2017).

Conforme a Cartilha sobre Linha de Transmissão de Energia da Iaco (2024), é através desse componente do SIN que a energia produzida nas usinas geradoras é levada até as cidades e centros consumidores, para que possam abastecer setores da indústria, hospitais, escolas e casas.

Entretanto, como discutido por Campos e Estevam (2020), é importante que a energia advinda das centrais geradoras passe por transformações, fazendo-se necessário a presença das subestações – responsáveis pelas alterações na energia elétrica e outro importante segmento do sistema elétrico como um todo.

2.5 Subestações

No entendimento de Carleto (2017), subestação pode ser entendida como uma composição de equipamentos diversos, interligados com função de alterar níveis de tensão e de corrente, bem como controlar fluxos de energia. Além do mais, propiciam o fornecimento de proteção e comando ao Sistema Elétrico de Potência.

Para o professor do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Paulo Dauilibe (1999), pode-se citar, ainda, que as subestações possibilitam, por meio de seus equipamentos de manobra e de transformação, a detecção de possíveis falhas no sistema, permitindo o isolamento dos trechos onde tais erros ocorram.

2.5.1 Classificação das Subestações

Por serem uma parte crucial no SEP, as subestações funcionam como núcleos que convergem os pontos de distribuição e as linhas de transmissão. Dessa forma, de acordo com Carleto (2017), pode-se dizer que as funções principais de uma subestação são: transformação, regulação e chaveamento.

As subestações de transformação são aquelas que alteram os níveis de tensão para poder adequá-la aos sistemas de transmissão, distribuição e utilização. As de regulação já se caracterizam por realizar ajustes nos níveis de tensão, de forma a atender aos limites admissíveis de transmissão e uso. Enquanto que as de chaveamento, ou seccionamento, é aquela que serve para ligar ou desligar os dispositivos de forma a permitir a manutenção na subestação.

A literatura demonstra que existem diversas outras classificações para as subestações, envolvendo: nível de tensão, relação entre os níveis de tensão, tipo de instalação e quanto à modalidade de comando, os quais serão definidos a seguir.

2.5.2 Tipos de Equipamentos da Subestação

Para um adequado funcionamento de uma subestação, diversos equipamentos são necessários para que ela atenda às exigências operacionais (Carleto, 2017). Com base nas considerações descritas por Longarreti et al. (2023), os principais equipamentos são: transformador de potencial, transformador de corrente, disjuntor, transformador de potência, para-raios. No entanto, pode-se citar ainda as chaves seccionadoras, barramentos e isoladores (Carleto, 2017), conforme será definido sucintamente a seguir.

a) Para-raios: são de cunho de proteção das instalações e equipamentos dos sistemas de potência contra sobretensões atmosféricas Longarreti et al. (2023), bem como contracorrentes, localizados tanto em entradas de linha, como em saídas de linha (Carleto, 2017).

b) Transformador de Potencial: conforme Dauilibe (1999), tem a finalidade de reduzir os níveis de tensão a níveis equiparáveis aos equipamentos do circuito, de forma que possam operar com segurança, sem que a rede a qual estão conectados seja isolada (Longarreti et al., 2023).

c) Transformador de Corrente: tem a finalidade de reduzir os níveis de corrente a níveis equivalentes aos equipamentos, de medição, controle e proteção, do circuito (Dauilibe, 1999).

d) Transformador de Força: sem esse equipamento dentro de uma subestação seria quase impossível estabelecer um adequado rendimento e aproveitamento da energia elétrica, pois é só a partir dos Transformadores de Força, conhecidos

como Trafos, que a energia pode ser transportada em níveis elevados de tensão, de forma a garantir economia no processo de transmissão (Duailibe, 1999).

e) Disjuntores: dentro da subestação, são tidos como os mais importantes equipamentos de proteção (Carleto, 2017), com capacidade de diminuir, interromper e estabelecer correntes normais e anormais dentro do sistema (Muzy, 2012). São os responsáveis por fazer o controle dos circuitos, ligando ou desligando quando necessário.

f) Chave Seccionadora: equipamentos de manobras, seccionamento, bem como isolamento entre os circuitos (Carleto, 2017). Através das manobras realizadas na chave, é possível isolar demais equipamentos da subestação para possíveis manutenções, por exemplo (Longarreti et al., 2023)

g) Isoladores: são muito importantes dentro da subestação, pois fornecem isolamento às diversas porções do sistema elétrico, tanto na ligação entre cabos como em barramentos (Carleto, 2017).

h) Barramentos: como mostrado por Carleto (2017), os barramentos funcionam como interligação entre os circuitos da subestação e os equipamentos presentes na mesma.

3 METODOLOGIA

Nesta seção será abordado o estudo de caso desenvolvido no trabalho. Nele, apresentar-se-á as características da subestação objeto de estudo, das etapas de construção civil; mostrar-se-á a importância da qualidade dos serviços na obra e das ferramentas de qualidade que foram utilizadas no estágio dentro da subestação.

O estudo de caso em questão pode ser caracterizado como descritivo, realizado dentro do território do Rio Grande do Norte, no município de Serra de São Bento, dentro do Parque Eólico UMARI, mais restrito à Subestação Elétrica Umari.

Para cumprir com os objetivos definidos por este trabalho, a metodologia da pesquisa foi fundamentada em uma série de leituras, análises de documentos e bibliografias a respeito de Parques Eólicos e Subestações, além de análises de artigos, relatórios de estudo e atlas sobre energia eólica não só no território potiguar, como também no Brasil.

Sob o ponto de vista da Engenharia Civil, foi analisado como se dá o processo de execução e construção dos parques eólicos e subestações, especialmente no caso estudado em Serra de São Bento-RN.

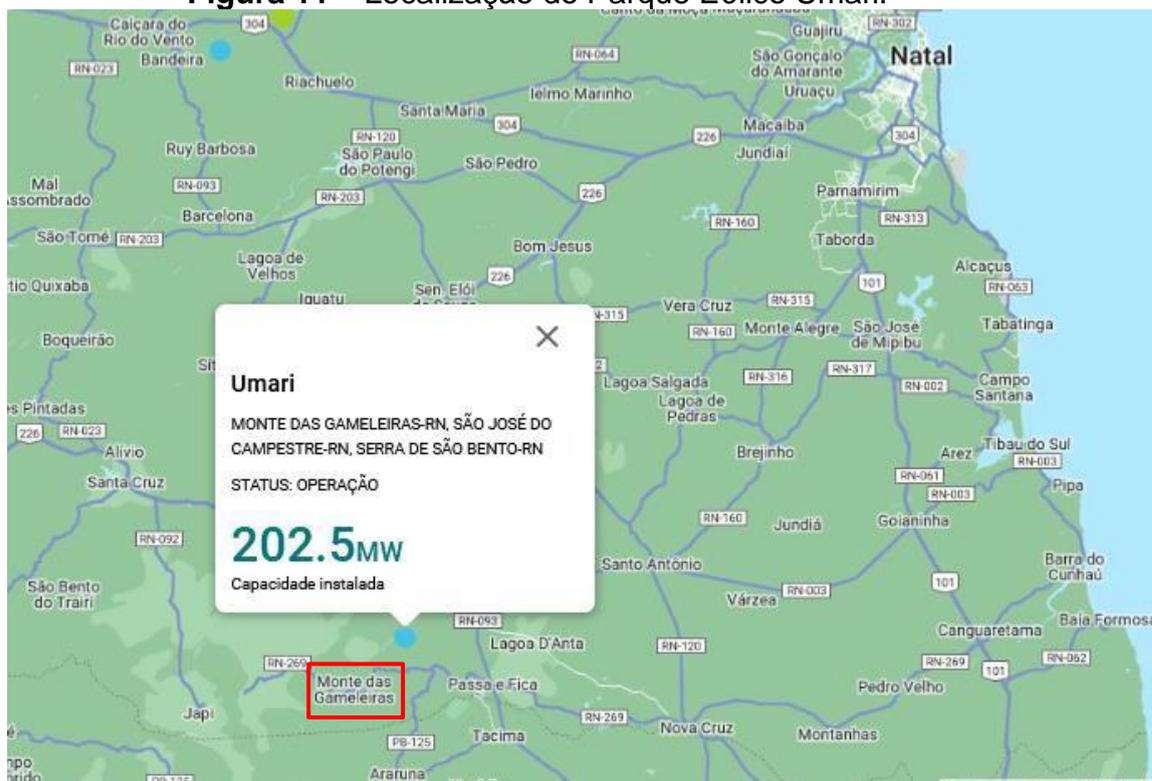
Somado a isso, foram destacadas normas aplicadas nos processos construtivos da área civil identificados e acompanhados durante parte da obra do Parque Eólico Umari, voltado para a subestação elétrica.

A partir disso, pôde-se chegar a uma exposição de como se deu a construção dessa importante infraestrutura de um parque de energia, mostrando etapas construtivas, materiais e estruturas imprescindíveis para o funcionamento adequado do mesmo.

3.1 Localização

Possuindo uma capacidade total de 202,5 MW, formado por 45 aerogeradores de 4,5 MW cada, o parque eólico Umari é composto pelos parques Ventos de Santa Luzia 11, Ventos de Santa Luzia 13 e Ventos de Santo Antônio 1, localizado dentro do território do Rio Grande do Norte, nos municípios de Monte das Gameleiras, São José do Campestre e Serra de São Bento (BNDES, 2023), como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Localização do Parque Eólico Umari.



Fonte: Casa dos Ventos – (2024).

3.2 Projetos de Infraestrutura

Em uma Subestação, além dos projetos elétricos e eletromecânicos necessários para a execução da obra, necessitam-se, também, dos projetos de infraestrutura.

Segundo a ANEEL (2021), em seu ANEXO III da Resolução Normativa Nº 956 de 7 de dezembro de 2021, para que um projeto de uma subestação a partir de 69 kV ocorra, deve ser apresentado, no mínimo:

- Arranjo Geral (plantas, cortes, detalhes e lista de materiais)
- Bases, fundações e canaletas (planta, formas e armações, lista de materiais)
- Terraplenagem (planta, perfis e mapa de cubação)
- Estradas de serviço e drenagem (plantas, cortes, detalhes e lista de materiais)
- Casa de Comando (arquitetura, estrutura e instalações)

A execução desses serviços é de suma importância para o adequado funcionamento da subestação, minimizando riscos, e mostrando-se como base para o pleno funcionamento desta (Sousa, 2017).

Nesse estudo a que se trata o trabalho, o grupo NEOENERGIA, em seu normativo DIS-NOR-067 de 09 de fevereiro de 2024, discorre que as especificações técnicas dos projetos executivos acima citados, dentre outros, só são disponibilizados mediante firmação de contrato com o grupo. Dessa forma, as etapas relacionadas aos projetos de infraestrutura apresentadas ao longo do trabalho são baseadas

em artigos, normas e outras referências sobre subestações e alguns de seus projetos executivos.

3.2.1 Terraplenagem

Segundo Sousa (2017), a terraplenagem consiste na execução de cortes e aterros em um terreno, com o objetivo de conformá-lo, torná-lo plano, levando-se em conta critérios de projeto.

Previamente à execução dos serviços preliminares e da própria execução dos aterros, deve-se analisar os projetos e documentos técnicos referentes aos levantamentos planialtimétricos da área de estudo, com o objetivo de estabelecer seções transversais, segmentos de cortes e aterros e, só a partir daí, com as inspeções de campo, colocar em prática as soluções propostas (DNIT-104, 2009).

Conforme normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a terraplenagem envolve diversas etapas de execução, as quais seguem o que é preconizado nos normativos:

- DNIT 104/2009-ES – Terraplenagem – Serviços Preliminares
- DNIT 105/2009-ES – Terraplenagem – Caminhos de Serviço
- DNIT 106/2009-ES – Terraplenagem – Cortes
- DNIT 107/2009-ES – Terraplenagem – Empréstimos
- DNIT 108/2009-ES – Terraplenagem – Aterros

Para a execução do serviço de terraplenagem, segundo as normas DNIT 104 de 2009 e DNIT 108 de 2009 é necessário que todos os serviços preliminares, ou seja, aqueles que compreendem todas as operações de remoção de vegetais, desmatamento, deslocamento e limpeza devem ser realizadas previamente à implantação dos aterros.

Esses, de forma geral, devem ser executados com lançamento do material em camadas sucessivas, em extensões que permitam atingir a umidade ótima e a devida compactação de acordo com os projetos de terraplenagem, não ultrapassando 0,30 m de espessura, enquanto que, nas camadas finais, não ultrapasse 0,20 m (DNIT-108, 2009).

3.2.2 Fundação

Segundo a NBR 6122 (1996), que dispõe as condições básicas observáveis nos projetos e execuções de fundações das estruturas, existem dois tipos de fundações: superficiais e profundas.

As primeiras são caracterizadas por serem elementos estruturais em que as cargas são transmitidas ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base das fundações, em que são assentadas em relação ao terreno acima de uma profundidade inferior ao dobro da menor dimensão do elemento (NBR 6122, 2019).

Já as segundas são elementos estruturais que transmitem os carregamentos ao solo pela base, pela superfície lateral ou pelas duas, e assentadas numa profundidade maior do que o dobro de sua menor dimensão, ou no mínimo 3 metros de profundidade (NBR 6122, 2019).

No estudo, observou-se que as fundações executadas na obra foram superficiais do tipo sapatas e radiers, como no caso do Transformador de Força, e profundas, do tipo estacas, relativas aos pórticos dos equipamentos.

Uma observação importante a ser feita sobre esse último tipo de fundação, a profunda, é que, segundo Sulzberger (1945, *apud* Martins, 2024), elas são consideradas como tubulões curtos, um tipo de fundação muito utilizada em obras de subestações, por causa da execução facilitada que possui (Martins, 2024).

3.2.3 Drenagem

Um sistema de drenagem tem a função de permitir um escoamento adequado das águas superficiais, além do lençol freático, evitando alterações na capacidade de suporte do terreno, níveis altos de saturação do solo e alagamentos da superfície (Sousa, 2017).

Segundo a Eletrobrás (2000), em seu manual de construção de subestações, devem ser executadas as construções de caixas de areia, contenções ou barreiras. Outros dispositivos necessários para um sistema de drenagem são: drenos, caixas de passagem, bocas de lobo e poços de visita, além de dissipadores (da Silva, 2022).

Não existe uma norma específica de drenagem no Brasil, porém o DNIT possui uma série de documentos técnicos que podem ser utilizados para a execução e dimensionamento dessas estruturas para uma rede de drenagem, que são:

- DNIT 093/2016-EM – Tubo Dreno Corrugado de PEAD
- DNIT 022/2006-ES – Dissipadores de Energia
- DNIT 016/2006-ES – Drenos Sub-Superficiais
- DNIT 026/2004-ES – Caixas Coletoras
- DNIT 030/2004-ES – Dispositivos de Drenagem Pluvial Urbana

3.2.4 Pavimentação e Urbanização

A pavimentação refere-se ao processo de tratamento que é dado às vias tanto internas, quanto externas de uma rodovia (Dalrosso, 2011).

Segundo o Manual de Pavimentação da DNIT IPR 719 (2006), na construção de todas as camadas constituintes de um pavimento, necessita-se da operação da compactação dos solos, com o objetivo de se obter uma maior estabilidade e diminuição de deformações devido às movimentações existentes do tráfego.

Em Subestações podem ser utilizados pavimentos com o uso de peças de concreto, a exemplo de pavers ou blocos intertravados, cujo execução é regida pela NBR 9781 de 2013 e pela NBR 15953, respectivamente, que trata da execução de pavimento intertravado.

Para essa execução, devem ser respeitados requisitos técnicos importantes como espessura dos blocos (6 cm mínimo), espessura de colchão de areia (5 cm mínimo), de sub-base (8 cm mínimo) e a resistência dos blocos (fck de 35 Mpa) (NBR 15953, 2011).

Podem ser assentadas de diferentes formas, mas respeitando um arranjo (espinha, trama, dama ou fileira) com o posterior lançamento de uma camada de pó de pedra para fechar os espaços vazios entre blocos. Após isso, compactadas com placas vibratórias ou rolo compactador (NBR 15953, 2011).

3.3 Sistema de Qualidade

Segundo a NBR ISO 10006 (2000), que trata das diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos, esse pode ser definido como:

Projeto: Processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas para início e término, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos (NBR ISSO 10006, 2000, p. 2).

Além disso, a ISSO 10006 também trata da definição de processos, definindo-os como um “conjunto de recursos e atividades inter-relacionadas que transformam insumos em resultados”.

Para a avaliação do progresso das atividades desenvolvidas no projeto, a ISO 10006 (2000), além da ISO 9001 – Sistema de Gestão da Qualidade, preconizam que essa avaliação seja realizada com base em critérios definidos. Dessa forma, é notória a necessidade de que haja padronização de documentos, processos e procedimentos, com o objetivo não só de permitir os rastreamentos de atividades, bem como realizar o seu controle, garantindo sua qualidade (Santos, 2016).

De acordo com o exposto por Santos (2016), para garantir a qualidade dos serviços, é importante que os procedimentos sejam executados corretamente por meio de algumas ferramentas, com a necessidade de se haver o acompanhamento das atividades, através de listas de verificação (check-lists) e relatório de execução das atividades (Relatórios Diários de Obra – RDO), por exemplo.

Nesse estudo de caso, as atividades executadas diariamente na obra foram acompanhadas diretamente através dessas duas ferramentas de qualidade acima citadas e auxiliaram na obtenção dos resultados a serem expostos a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Terraplenagem

O serviço de terraplenagem da subestação, no momento da vivência do estágio, já estava executado. Por esse motivo, foi uma etapa da obra que não pôde ser acompanhada de perto. Em contrapartida, ocorreram diversos serviços de escavação e compactação na subestação, os quais puderam ser acompanhados, em grande parte, e foram executados seguindo os mesmos procedimentos da terraplenagem.

Os serviços de escavação demandavam a atenção e verificação das cotas e larguras estabelecidas em projeto e com apoio da topografia. Além disso, necessitou-se da limpeza dos locais e da regularização do fundo das escavações, permitindo a retirada de materiais de rocha não removidos de forma mecânica.

Para que o reaterro, quando necessário, fosse devidamente compactado, foi necessário realizar o acompanhamento e verificação das camadas de solo quanto às suas espessuras e umidades ótimas definidas em projeto.

Para garantir a devida compactação do solo, essa etapa era realizada tanto por meio vibratório como por impacto, através do uso de rolos vibratórios e compactadores de percussão (tipo “Sapo”).

Na Figura 12, apresenta-se a ficha de verificação dos serviços (FVS) de escavação e reaterro que foi utilizada no controle de qualidade da execução de escavações e reaterros.

Figura 12 – FVS de Escavação e Reaterro.

Inspeção		Requisitos de Aceitação	Resultado da Inspeção		
			Conforme	Não conforme	Não aplicável
Locação		Confirmar se o local a ser escavado foi locado no lugar correto para a execução do serviço	×		
Dimensões		A cava deverá ter sido escavada com dimensões compatíveis ao elemento a ser aloado.	×		
Fundo de cava		Verificar se a cota de fundo da escavação atingiu está limpa, regularizada e nivelada, e ao nível de projeto.	×		
Material Usado no Reaterro		Para o serviço, o material a ser utilizado no reaterro deve estar de acordo com as especificações de projeto, sem a presença de materiais que comprometam o solo.	×		
Compactação do Material		Devem ser executados ensaios de densidade no local, de acordo com as normas técnicas e projeto.	×		
Cota de Reaterro		O material reaterro deve atingir a cota estabelecida em projeto, e com superfície regularizada.	×		

OBSERVAÇÕES:
- A DATA CONSIDERADA É DO REATERRO DAS BACIAS DOS TRAFOS

Fonte: OMEXOM – (2022).

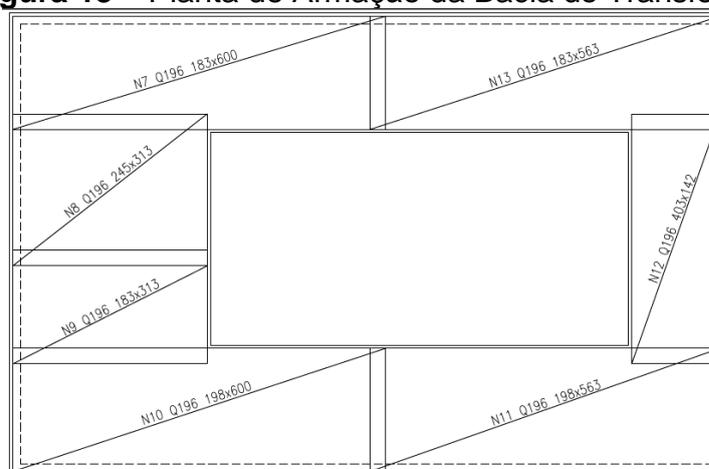
4.2 Fundação dos Transformadores

As fundações executadas e encontradas na Subestação de Umari, como já mencionado, foram as do tipo superficiais, do tipo sapatas e radiers, a exemplo dos transformadores de força, e profundas, do tipo estacas escavadas, como as utilizadas nos pórticos.

Para as fundações concentrou-se em: realizar a verificação de armaduras, formas e o lançamento de concreto, de forma que todas elas fossem registradas em Fichas de Verificação de Serviço (FVS), permitindo o controle das execuções, documentação e rastreamento, sempre sendo necessário o acompanhamento dos projetos que eram utilizados no dia a dia para os serviços.

A seguir, nas Figuras 13, 14 e 15 são apresentados os projetos utilizados para a execução das armaduras da fundação do transformador de força, seguidas das fichas que eram utilizadas para o correto controle das execuções.

Figura 13 – Planta de Armação da Bacia do Transformador.



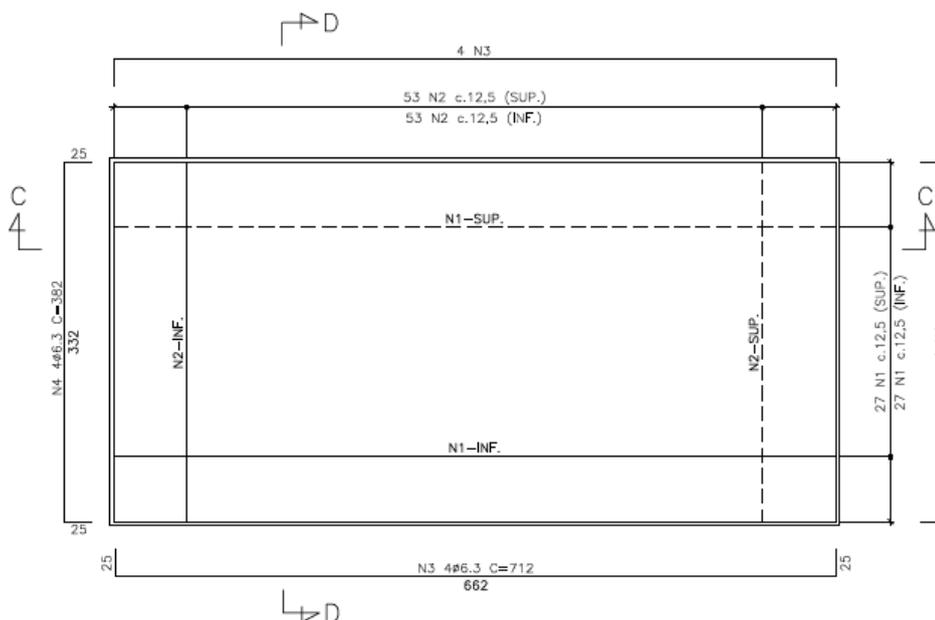
PLANTA
BACIA PARA TRANSFORMADOR – ARMADURA (2x)

NOTAS:
1. DIMENSÕES EM CENTÍMETROS, B
2. O NÍVEL 0,00 REFERE-SE AO T
3. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA A
CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO
CONCRETO ESTRUTURAL BASE T

Fonte: OMEXOM – (2022).

Na Figura 13, está representado a armação utilizada para o piso da bacia dos transformadores, um tipo de piso armado montado com o posicionamento de telas Q196 no entorno da base. Já a Figura 14 representa a planta de armação da base dos transformadores utilizados na subestação de Umari.

Figura 14 – Planta de Armação da Base do Transformador.

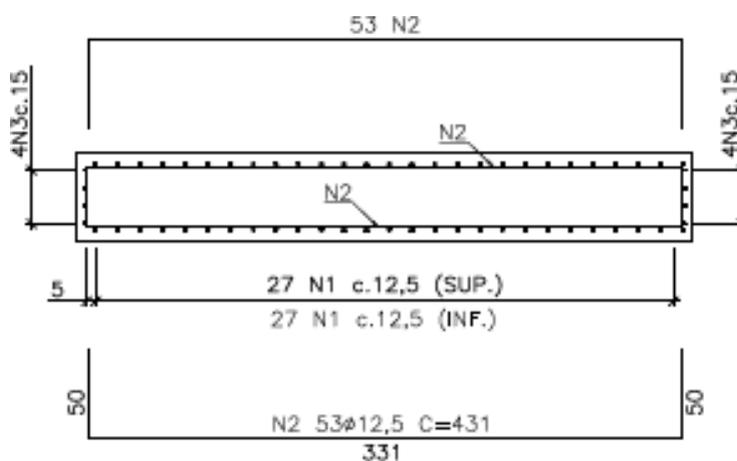


PLANTA
BASE PARA TRANSFORMADOR – ARMADURA (2x)
ESC. 1:40

Fonte: OMEXOM – (2022).

A Figura 15 apresenta o projeto das armaduras da base dos transformadores, das faces laterais, superior e inferior.

Figura 15 – Planta de Armação da Base do Transformador.



CORTE D-D
ESC. 1:40

Fonte: OMEXOM, 2022.

A Figura 15 complementa o projeto de armação da base dos transformadores, através de um corte (CORTE D-D), representando as armaduras laterais, inferiores e superiores.

De forma a garantir a adequada execução de montagem e posicionamento das armaduras, utilizou-se de FVS de armação padronizadas da empresa OME-XOM, como ilustra a Figura 16.

Figura 16 – FVS de Armação.

FICHA DE VERIFICAÇÃO ARMAÇÃO		FC-SE-UMR-006-001-01
		N.º DA FICHA:
		DATA:
		Folha:
CONTRATO:		OBRA:
QUANTIDADE VERIFICADA:	Início:	Término:
Local:	EMPREITEIRO:	
Documento / Projeto:		

Itens	Verificação do serviço	Confirmação	Non Confirmação	Non Aplicável
1	Verificou-se a locação está de acordo com o projeto?			
2	Verificou-se a quantidade e diâmetro das barras estão conforme o projeto?			
3	Comprimento das barras se estão de acordo com o projeto?			
4	Verificou-se o espaçamento entre as barras estão de acordo com o projeto?			
5	Verificou-se o sentido de armação ?			
6	Verificou-se as emendas?			
7	Verificou-se a fixação das barras?			
8	Verificou-se o recobrimento da armação?			
9	Verificou-se a limpeza e organização da peça a ser concretada?			

Fonte: OME-XOM – (2022).

Nos serviços de montagem e instalação das armaduras, dispostas na NBR 14931, sempre era importante verificar a posição e a fixação das armaduras no interior das fôrmas. Além do mais, realizava-se a verificação do diâmetro das barras, quantidade, espaçamento, cobertura e o aspecto das armaduras, através da FVS apresentada na Figura 16, garantindo que estivessem em boas condições e de acordo com o que era exigido em projeto.

Após essa verificação em campo, o serviço poderia continuar para as demais etapas: instalação de formas e execução da concretagem. Na figura 17, é apresentado o projeto utilizado para a execução das fôrmas da fundação do transformador de força, seguidas da ficha que foram utilizadas para o correto controle do que estava sendo executado.

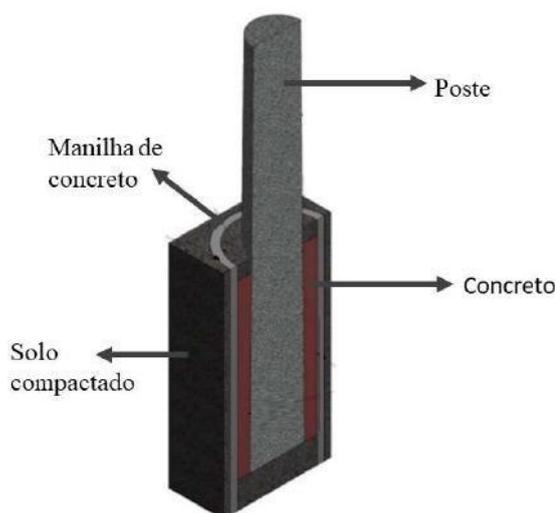
comprimentos, prumo, nível e limpeza das formas utilizadas. Informações adicionais também importantes na verificação eram a identificação da peça estrutural (LOCAL), número da ficha (Nº DA FICHA), data (DATA) e documento (DOCUMENTO/PROJETO) referentes à estrutura que estava sendo verificada.

4.2 Fundação dos Pórticos

Para os pórticos, que são necessários para a montagem dos equipamentos da subestação, como abordado anteriormente, eles possuem um tipo de fundação do tipo tubulão curto, conforme Sulzberger (1945, *apud* Martins, 2024).

Essa fundação é composta pelos seguintes elementos construtivos – Figura 19.

Figura 19 – Vista de um Tubulão Curto.

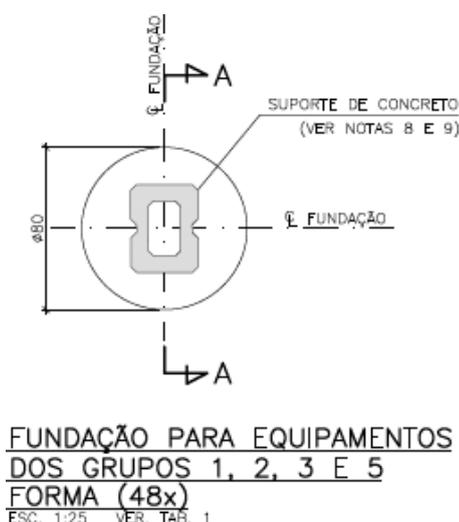


Fonte: Martins – (2024).

Esse tipo de fundação foi utilizado em diferentes equipamentos: para-raios (PR), transformadores de corrente (TC), transformadores de potencial (TP) e isoladores de pedestal (IP). Pelo corte acima, percebe-se que para a execução desse tipo de fundação são necessários a utilização de manilhas de concreto, que funcionam como fôrmas para facilitar o posicionamento dos pórticos e a posterior concretagem.

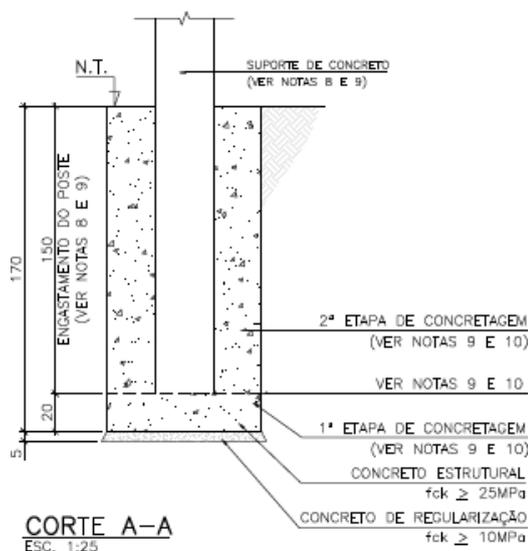
Para o controle da execução dessas estruturas eram realizados, além do acompanhamento do posicionamento e medição das manilhas, o acompanhamento da etapa das escavações, observando o diâmetro e profundidade adequados para esse tipo de estrutura, conforme as especificações de projeto – Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Projeto de Fundação dos Tubulões.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Figura 21 – Projeto de Fundação dos Tubulões da SE-Umari.

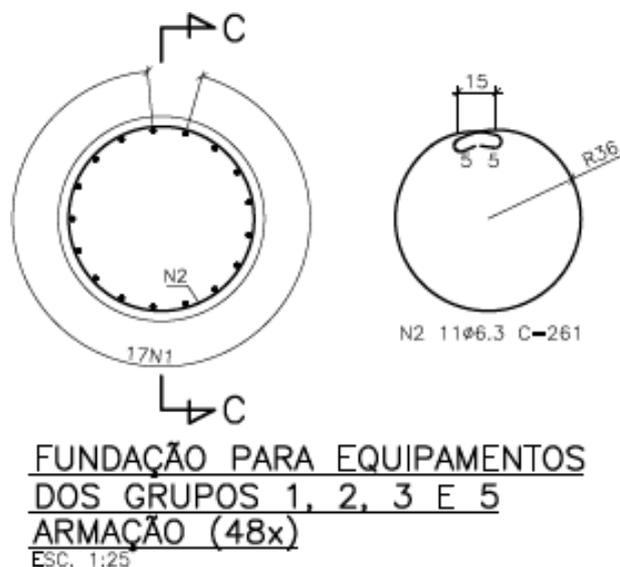


Fonte: OMEXOM – (2022).

Como visto nas Figuras 20 e 21, essas fundações possuíam diâmetros de 0,8 metros e deveriam ser escavadas com profundidades de 1,70 metros. Todas essas dimensões eram medidas em campo e registradas por meio dos mesmos modelos de FVS mostrados anteriormente, tanto para fôrmas, como para armaduras.

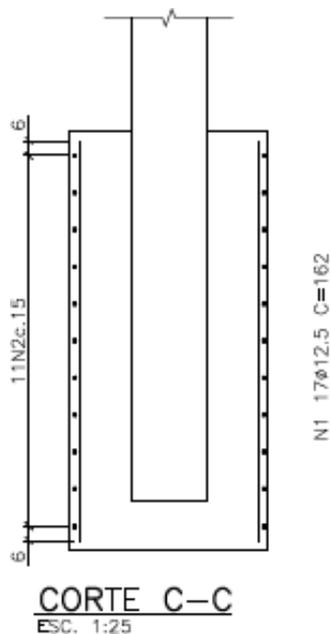
Com as escavações realizadas e as manilhas posicionadas e medidas, foi realizada a verificação das armaduras da estrutura, com o auxílio do projeto, da mesma forma que era feito para as demais fundações, como a dos transformadores – Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Projeto de Armação dos Tubulões da SE Umari.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Figura 23 – Projeto de Armação dos Tubulões da SEUmari.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Para garantir que o concreto tivesse as características de consistência e trabalhabilidade adequadas, sempre era executado o ensaio de Slump Test, conforme NBR NM 16889:2020 – Figura 24 – in loco. Todos os ensaios eram fiscalizados, para garantir não só que o concreto estivesse nas condições adequadas ao uso, como também para validar a correta execução do ensaio, como preconiza a norma.

Figura 24 – Ensaio de Slump Test.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Para isso, todo o concreto usado em obra era controlado pelo setor de qualidade, por meio do seu rastreo, através, também, de FVS de Concretagem, registrando todas as informações necessárias para a rastreabilidade do concreto, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – FVS de Liberação de Concretagem.

FICHA DE LIBERAÇÃO DE CONCRETAGEM			FC-SE-UMR-007-001-01		
			Nº DA FICHA: 0215/23		
			DATA: 21/08/23		
			FOLHA:		
OBRA: SE UMARI			CONTRATO: UMARI-RIACHÃO		
PEÇA(S) A SER(EM) CONCRETADA(S):			CONTROLE TECNOLÓGICO		CAMINHÃO BETONEIRA Nº:
DEPÓSITO DE INFLAMÁVEIS - PILARETES - P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7			SLUMP DE PROJETO (mm)		PLACA Nº:
SAIA DE RESÍDUOS - SAPATAS - S1, S5			100±20		----
DOCUMENTO(S):			FOLGA DE ÁGUA (L)	ÁGUA ADICIONADA (L)	HORA DE SAÍDA DA USINA:
CONVER-EXE-SEC-UMR-CIV-FUN-006-01 - Depósito de Inflamáveis - Formas e Armaduras			----	----	----
FORNECEDOR DO CONCRETO			SLUMP TESTE (mm)		HORA DE CHEGADA NA OBRA:
NOME:	NOTA FISCAL:	VOLUME DE CONCRETO:	110		----
BETONEIRA DA GMC (OBRA):	----	----			
INÍCIO DA CONCRETAGEM:	TÉRMINO DA CONCRETAGEM:		Nº CORPOS DE PROVA:	Nº DO LACRE:	
----	----		8	----	
OBSERVAÇÕES:					

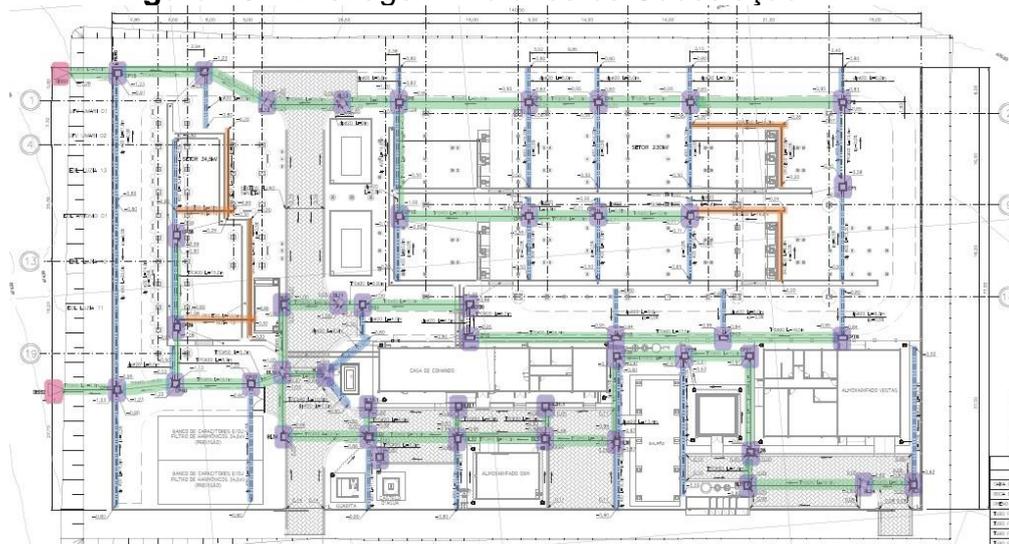
Fonte: OMEXOM – (2022).

Como mostrado na Figura 25 algumas informações importantes eram registradas na FVS, como: dados sobre o fornecedor de concreto (NOTA FISCAL, NOME, VOLUME, INÍCIO E FIM DA CONCRETAGEM), informações sobre as estruturas a serem concretadas, dados do projeto, dados sobre os caminhões betoneira (PLACA, LACRE, SAÍDA DA USINA, CHEGADA NA OBRA), além dos dados sobre o próprio concreto (SLUMP, FOLGA DE ÁGUA).

4.2 Drenagem

O sistema de drenagem da subestação era composto por 4 tipos: drenagem profunda, drenagem superficial, drenagem periférica e drenagem oleosa. Na Figura 26, apresenta-se o projeto de drenagem que compõe o sistema de drenagem profunda da SE Umari.

Figura 26 – Drenagem Profunda da Subestação.

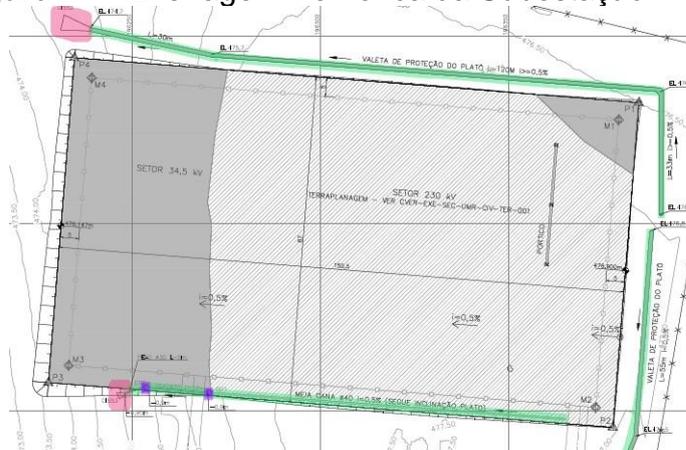


Fonte: OMEXOM – (2022).

Na Figura 26, em roxo, representa-se as caixas de passagem e bocas de lobo. Em azul, parte do sistema de drenagem com o uso de tubos PEAD perfurados. Em verde o traçado que ligava as caixas de passagem por meio de tubos PEAD. Em laranja, a drenagem com uso de drenos cegos. Por último, em rosa, os elementos de drenagem chamados de dissipadores.

Na Figura 27, apresenta-se o projeto de drenagem periférica da subestação.

Figura 27 – Drenagem Periférica da Subestação.

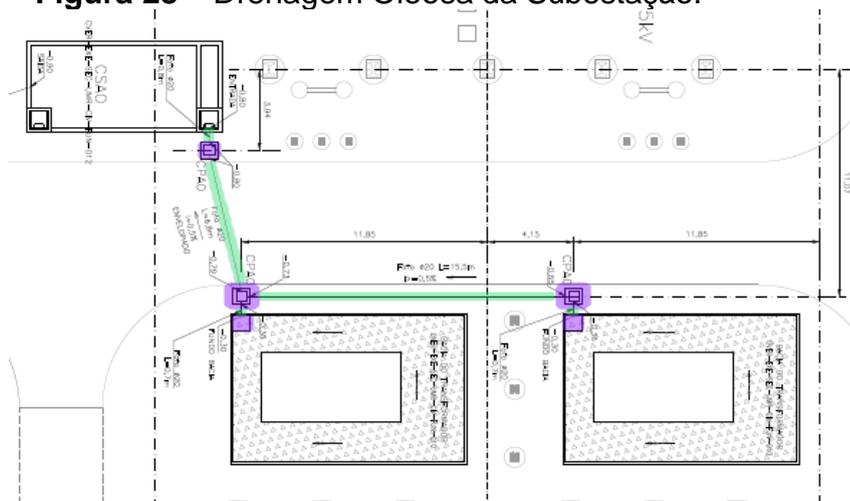


Fonte: OMEXOM – (2022).

Na Figura 27, em verde, representa-se o traçado da drenagem periférica por meio de canaletas que culminavam nos dissipadores (na coloração rosa) da drenagem periférica. Na coloração em roxo, duas caixas de passagem.

Para o sistema de drenagem oleosa, mostra-se, pela Figura 28, o projeto da drenagem dos transformadores.

Figura 28 – Drenagem Oleosa da Subestação.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Na Figura 28, a coloração em verde corresponde ao traçado dos tubos em ferro fundido (FoFo) que interligavam os dois transformadores, por meio de caixas de passagem (na coloração em roxo), à caixa separadora de água e óleo - CSAO.

Para a garantia da qualidade do sistema de drenagem como um todo eram realizadas as verificações dos seguintes serviços, por meio da FVS de Drenagem – Figura 29 em sequência:

- Escavação/Construção de Caixas de Passagem e Bocas de Lobo
- Execução dos Berços de Areia
- Assentamento de Tubos e Envolvimento
- Comprimento e Diâmetro dos Tubos.

Figura 29 – FVS de Drenagem.

FICHA DE DRENAGEM			Nº DA FICHA: 0025223		
			DATA: 20/03/23		
			Folha:		
OBRA: SE UMARI		CONTRATO: UMARI-RIACHÃO			
QUANTIDADE VERIFICADA: 3 DRENOS SUPERFICIAIS - 3 TUBOS PEAD PERFORADOS		INÍCIO: ...	TÉRMINO: ...		
LOCAL: SETOR 230 kV (FORA DA ÁREA ENERGIZADA)		EMPREENHEIRO: GMC CONSTRUÇÕES			
DOCUMENTO / PROJETO: C/VER-EXE-SEC-UMR-CIV-DRE-002-01 - Drenagem Pluvial - Detalhes C/VER-EXE-SEC-UMR-CIV-DRE-001-03 - Drenagem Pluvial - Planta					
CARACTERÍSTICA VERIFICADAS	MÉTODO / INSTRUMENTOS DE VERIFICAÇÃO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	VERIFICAÇÃO DO SERVIÇO		
			Conforme	Não conforme	Não Aplicável
LOCAÇÃO	Estação Total	CONFORME PROJETO	x		
DESNÍVEIS	Estação Total	CONFORME PROJETO	x		
DIMENSÃO DA TUBULAÇÃO	Visual	CONFORME PROJETO	x		
REJUNTAMENTO	Visual	TUBOS TOTALMENTE REJUNTADOS	x		
REATERRO	Visual	CONFORME PROCEDIMENTO			x

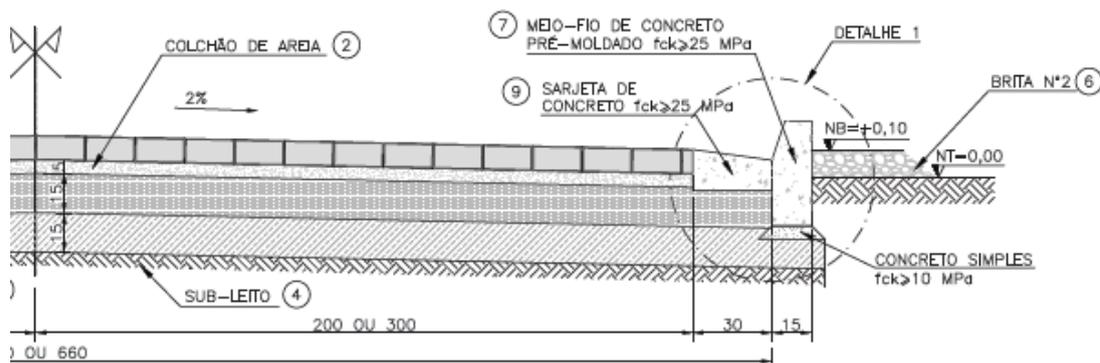
Fonte: OMEXOM – (2022).

Todas as verificações realizadas eram necessárias para garantir que a drenagem da área da SE fosse assegurada, evitando pontos de concentração de água e/ou vazamentos e, assim, possibilitando um escoamento adequado até os dissipadores, importantes para os três primeiros sistemas de drenagem citados.

4.3 Pavimentação e Urbanização

Para os serviços de pavimentação/urbanização – Figura 30, as atividades eram acompanhadas e verificadas apenas com os projetos e observação em campo, não sendo registradas em fichas de verificação por dois motivos: primeiro, as FVS de Pavimentação e Urbanização não constavam no plano de qualidade da empresa e, segundo, não foram fichas exigidas pela empresa fiscalizadora da obra.

Figura 30 – Secção do Projeto de Pavimentação.



Fonte: OMEXOM – (2022).

Em campo, observou-se a execução do pavimento com a verificação da camada de colchão de areia com 5 cm de espessura, a disposição dos pavers (8 cm de espessura), a largura do arruamento (6,60 metros), respeitando os 30 cm de sarjeta em concreto e a regularização da superfície com o auxílio da mesa vibratória.

É importante salientar que todas os serviços executados, ainda que alguns não fossem registrados por meio de FVS, todos eram documentados no Relatório Diário de Obra – RDO.

Os RDO's são documentos referentes ao setor de planejamento, porém de responsabilidade do setor da qualidade. Sendo documentos de extrema necessidade dentro da obra, nele eram inseridos todos os agentes atuantes e existentes diariamente, além de todos os serviços executados. Diariamente, eram preenchidos com as informações necessárias, para registro, documentação e visualização da empresa Fiscalizadora e da Cliente final da obra.

Logo, não eram simplesmente relatórios demonstrativos do que era executado, mas sim uma ferramenta importante dentro do setor da Qualidade e Planejamento, tendo em vista que apresentavam tudo que tinha sido feito, as condições ambientais da obra, as máquinas e ferramentas, profissionais responsáveis pelas atividades e os registros fotográficos, atestando que tais serviços foram executados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adquirir experiências práticas sobre obras, a partir do aprendizado de normas, procedimentos e processos, bem como do estudo e análise de projetos é de extrema importância para um estudante ou profissional da engenharia civil que tenha a oportunidade e deseja atuar nessa área da construção civil, como a de Subestações Elétricas, de forma que ao finalizar o presente estudo, espera-se que seu objetivo tenha sido alcançado. Espera-se que o trabalho possa ter dado contribuição a respeito dos

aspectos práticos da construção de uma subestação elétrica, ainda que não em sua forma plena, apresentando projetos, detalhes e um pouco da vivência do dia a dia na obra.

A experiência em obra foi importante para vivenciar algumas disciplinas da graduação, como Fundações, Pavimentação, Drenagem, Desenho técnico, dentre muitas outras vistas ao longo do curso e na obra. Ainda, mostraram-se imprescindíveis ao desenvolvimento teórico do estudo de caso, pois deram um adequado embasamento para o desenvolvimento das atribuições de fiscalização e garantia de qualidade na vivência do estágio.

O trabalho apresentado apresentou, a partir dos principais projetos elaborados na subestação, como se deram as atividades de fiscalização pelo estudante no dia a dia dos serviços, a verificação, a análise das execuções, os projetos e o registro das atividades na subestação elétrica de Umari.

A partir do exposto, pode-se dizer que melhorias e contribuições futuras podem ser dadas na continuidade do trabalho, abordando, por exemplo:

- Uso de outros documentos importantes no setor de qualidade (Guias de Recolhimento de Documento – GRD; Formulários de Alteração de Campo – FAC; Databook da Obra da subestação);
- Auxílio ao setor de planejamento da obra (com análise em campo e medição da produtividade diária);
- Atualização das informações presentes nas FVS, adicionando, por exemplo, a participação dos responsáveis pela execução do serviço;
- Participação em reuniões gerenciais;
- Auxílio às equipes de frentes de serviço (pedidos de materiais, solicitação de equipamentos);
- Digitalização dos Relatório Diários de Obra por meio de aplicações;
- Maior incentivo à participação de estudantes futuros profissionais da área na construção desse tipo de infraestrutura, dando maiores oportunidades e oferecendo meios de aprendizado que possam abranger sua formação acadêmica na prática.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa Nº 956, de 7 de dezembro de 2021. Agência Nacional de Energia Elétrica. Anexo III – Módulo 3. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html#:~:text=Estabelece%20os%20Procedimentos%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o,2011%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>.

Associação Brasileira de Energia Eólica. (2022). *Associação Brasileira de Energia Eólica*. Fonte: Site da ABEEólica: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>

Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica. (21 de Março de 2024). Fonte: Site da ABEEólica: www.abeeolica.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10006**: Gestão da qualidade – Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de Projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: Instalações Elétricas de Média Tensão de 1;0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AZEVEDO, F. F.; de ARAÚJO, M. A. A.; da SILVA, R. P.; Novas estratégias de geração de energia no estado do Rio Grande do Norte – brasil: o caso do setor eólico energético. III Simpósio Internacional de História de la eletrificación, Ciudad de Mexico, 2015.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2013). Panorama do Setor de Energia Eólica. Em BNDES, *Revista do BNDES* 39. Rio de Janeiro.

Banco Nacional do Desenvolvimento, BNDES. BNDES financia a implantação de quatro parques eólicos no RN com R\$ 907 milhões. Site do BNDES, 2023. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-financia-implantacao-de-quatro-parques-eolicos-no-rn-com-rs-907-milhoes>

BRAMETAL. (2021). *Infraestrutura de Transmissões Elétricas: Torres e Estruturas Metálicas em Aço Galvanizado*. Fonte: <https://www.brametal.com.br/wp-content/uploads/2021/12/brametal-transmissao-28p.pdf>

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 030/2004 - ES: Drenagem – Dispositivos de drenagem pluvial urbana – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 108/2009 - ES: Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 106/2009 - ES: Terraplenagem – Cortes – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 104/2009 - ES: Terraplenagem – Serviços Preliminares – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 108/2009 - ES: Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 105/2009 - ES: Terraplenagem – Caminhos de Serviço – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 106/2009 - ES: Terraplenagem – Cortes – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 107/2009 - ES: Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 026/2004 - ES: Drenagem – Caixas coletoras – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 022/2004 - ES: Drenagem – Dissipadores de Energia – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 016/2006 - ES: Drenagem – Drenos sub-superficiais – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 093/2016 - ES: Tubo dreno corrugado de polietileno de alta densidade – PEAD para drenagem rodoviária – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2016.

CARLETO, N. Subestações Elétricas. 1. ed. Brasília: 2017. p. 10-27.

CARLOS, Thiago Brazeiro. **Análise dinâmica de torres estaiadas de linhas de transmissão submetidas à ruptura de cabo.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

CASA DOS VENTOS. (2024). *Casa dos Ventos*. Fonte: Site da Casa dos Ventos: <https://casadosventos.com.br/ativos>

DANTAS, G. C., RODRIGUES, M. V., SILVA, L. M., de AQUINO, M. D., & THOMAZ, A. C. (2021). Panorama do Setor Eólico no Estado do Rio Grande do Norte no período 2004-2017. doi:DOI: 10.1590/s0103-4014.2021.35102.005

DALROSSO, R. G. **Projeto de Subestação de Médio Porte**. 2011. 75p. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

de CAMPOS, L. F. G.; ESTEVAM, G. P.; **A atuação das subestações no Sistema Elétrico de Potência**. Araçatuba/SP, v. 09, n. 1. 2020.

de OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; **Impactos da instalação de linhas de transmissão sobre ecossistemas florestais**. v. 05. jan./dez. 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. BRASIL. Ministério dos Transportes. **Manual de Pavimentação IPR - 719**. Rio de Janeiro, 2006, 277 páginas.

DINCER, I. (Junho de 2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable*. Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032199000118>

dos SANTOS, V. **Gerenciamento da Qualidade na Construção da Subestação Ouro Branco**. 2016. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gerenciamento de Projetos) – Fundação Getúlio Vargas. Curitiba, 2016.

DUALIBE, P. (Novembro de 1999). Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção. Brasil. Fonte: <https://portalidea.com.br/cursos/bsico-de-operador-de-parque-elico-apostila03.pdf>

ELETROBRÁS. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Subestações: Subsídios para adequação das especificações técnicas para construção de subestações aos critérios ambientais**. Rio de Janeiro, 2000, 73 páginas.

Engie. **Subestação: energia com qualidade e segurança**. *E-book*.

GORAYEB, A., BRANNSTROM, C. (Março de 2016). Caminhos para uma gestão participativa dos recursos energéticos de matriz renovável (parques eólicos) no nordeste do Brasil. *Mercator*.

GOUVEIA, Y. C. S. **Construção de um Parque Eólico Industrial**. 2013. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013.

GRACIA, A. F. P.; SILVA, W. Q.; **Análise Comparativa Entre Diferentes Geometrias de Torres de Transmissão do Tipo Autoportante Frente à Ação do Vento**. Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE, v. 20, n. 1, p. 32-43, jan./jul. 2020.

GRUPO NEOENERGIA. **Acesso, Conexão e Uso do Sistema de Distribuição por Centrais Geradoras de Energia Elétrica de 69, 88 e 138 Kv.** 2022, 71 páginas.

IACO. **Preservação ambiental na faixa de servidão da linha de transmissão de energia.** Disponível em: <http://grafen.com.br/cartilhas-educacao-ambiental/>. *E-book*.

KAWABATA, Daniela Midori Tanaka. **Avaliação de custos para implantação de redes coletoras de energia para centrais eólicas.** 2018. Monografia de Especialização – Departamento de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

LEUNGY, D.; YANG, Y. (4 de Novembro de 2011). Desenvolvimento da energia eólica e seu impacto ambiental: uma revisão. *ELSEVIER*.

LONGARRETI, A.; KNIES, K.; dos SANTOS, C. C.; AMARAL, N.; Estudo de Caso de um Projeto Elétrico de uma Subestação de 138 Kv. **UNISOCIESC**, jun. 2023.

MARTINS, L. V. **Dimensionamento de Fundação para Equipamento de Subestação.** 2024. 133p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2024.

MUZY, Gustavo Luiz Castro de Oliveira. **Subestações Elétricas.** 2012. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. (2024). Fonte: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>

PEREIRA, Enio B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

RESENDE, H. S. Sistemas Elétricos aplicados a Parques Eólicos. Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis– CTGAS-ER. **Curso de Aperfeiçoamento em Energia Eólica.** Natal: 2012.

ROCA, William Bellinazo. **DIMENSIONAMENTO DE UM PARQUE EOLICO E SUA SUBESTACAO, COMPARANDO FERRAMENTAS DE CFD E ATLAS EOLICOS.** 2015. Monografia (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, M. V. S.; NEPOMUCENO, A. F.; MORAIS, E. F.; Uma breve descrição do setor de energia eólica no estado do Rio Grande do Norte. BRAZIL WIND-POWER CONFERENCE & EXHIBITION, Rio de Janeiro, 2016.

SECCO, Gustavo Prado. **PROCEDIMENTO PARA ESTUDO DE COORDENAÇÃO DAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS EM CENTRAIS DE GERAÇÃO EÓLICA.** 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Secretaria de Desenvolvimento Econômico, da Ciência, da Tecnologia e da Inovação - SEDEC. (Abril de 2024). Fonte: SEDEC:

<http://www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=298260&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=MAT%C9RIA>

SHAMSHIRBAND, S. et al. Wind turbine power coefficient estimation by soft computing methodologies: Comparative study. *Energy Conversion and Management*, v.81, p.520-6, 2014.

SILVA, K. F. **Controle e Integração de Centrais Eólicas à Rede Elétrica com Geradores de Indução Duplamente Alimentados**. 2006. 270p. Tese (Escola Politécnica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUSA, R. L. (2017). *Análise das Etapas na Construção de Subestações*. Campina Grande.

SOUZA, A. D. **Avaliação da Energia Eólica para o Desenvolvimento Sustentável Diante das Mudanças Climáticas no Nordeste do Brasil**. 2010. 168p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2010.

STAUT, F. (2011). *O PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS NO NORDESTE BRASILEIRO*. Universidade Federal da Bahia, Salvador.

VRIES, B. J. M.; VUUREN, D. P.; HOOGWIJK, M. M. Renewable energy sources: their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: an integrated approach. *Energy Policy*, v. 35, p. 2590–2610, 2007.