

ROGIL ESCUCIATTO

**Utilização de Dados Anemométricos para Gestão
de Energia Gerada em Parques Eólicos:
Estudo de Caso dos Complexos Eólicos de Brisa e
São Bento**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico, de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, da FGV/IDE como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista.

Orientador: Andriei José Beber, D

**CURITIBA – PR
2019**

ROGIL ESCUCIATTO

**Utilização de Dados Anemométricos para Gestão de Energia Gerada
em Parques Eólicos:
Estudo de Caso dos Complexos Eólicos de Brisa e São Bento**

Andriei José Beber, Dr

Orientador

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso MBA do Setor
Elétrico de Pós-Graduação *lato sensu*,
Nível de Especialização, do Programa FGV
Management como pré-requisito para a
obtenção do título de Especialista TURMA
1/16

Curitiba - PR
2019

O Trabalho de Conclusão de Curso

**Utilização de Dados Anemométricos para Gestão de Energia Gerada
em Parques Eólicos:
Estudo de Caso dos Complexos Eólicos de Brisa e São Bento**

elaborado por Rogil Escuciatto e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção do MBA do Setor Elétrico Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management.

Data da aprovação: 17 de janeiro de 2019

Coordenador Acadêmico
Prof. Fabiano Simões Coelho, Ph.D.

Professor orientador
Prof. Andriei José Beber, Dr

Agradecimentos:

Agradeço a Deus, por sua bondade e generosidade em minha vida, fazendo-se presente em todos os momentos, concedendo-me todas as oportunidades que poderia imaginar, pessoal e profissionalmente.

Agradeço à COPEL GeT S.A., por ser uma empresa que preza pelo desenvolvimento de seus colaboradores, permitindo a realização de cursos de especialização e pós-graduação, investindo no crescimento profissional.

A minha amada esposa Jacinan e minha querida filha Adriana, pelo seu amor, paciência e incentivo durante a realização deste curso.

DECLARAÇÃO

Declaro que os dados utilizados neste Trabalho de Conclusão de Curso referentes à Empresa Empresa COPEL GeT S.A., foram obtidos a partir da divulgação da própria empresa em fontes publicamente disponíveis. Além disso, este trabalho é de cunho estritamente acadêmico, não servindo de base para quaisquer tomadas de decisão econômica por parte de seu usuário.

Curitiba, 03 de dezembro de 2018



Rogil Escuciatto

TERMO DE COMPROMISSO

O aluno Rogil Escuciatto, abaixo-assinado, do Curso MBA Setor Elétrico 1/16 do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE- Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul, no período de novembro de 2016 a agosto de 2018, declara que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado: Utilização de Dados Anemométricos para Gestão de Energia Gerada em Parques Eólicos: Estudo de Caso dos Complexos Eólicos de Brisa e São Bento, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

Curitiba, 03 de dezembro de 2018



ROGIL ESCUCIATTO

LISTA DE SIGLAS

ACL	- Ambiente de Contratação Livre
ACR	- Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEAR	- Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE	- Câmara de Comercialização Energia
CER	- Contrato de Energia de Reserva
LER	- Leilão de Energia Renováveis
LFA	- Leilão de Fontes Alternativas
MME	- Ministério de Minas e Energia
O&M	- Operação e Manutenção
PLD	- Preço de Liquidação das Diferenças
SIN	- Sistema Interligado Nacional
TE	- Tarifa de Energia
UHE	- Usina Hidroelétrica
UTE	- Usina Termoelétrica
GF	- Garantia Física
MW	- Megawatt
MWh	- Megawatt hora
MWmed	- Megawatt médio
SMF	- Sistema de Medição para Faturamento
EOL	- Eólica
kW	- Quilowatt
IC	- Instalação Compartilhada
m/s	- Metros por segundo
T	- Temperatura
Pa	- Pascal (Pressão)
U	- Umidade
kvarh	- Quilowatt Reativo hora
Alop	- Advanced Loss of Profit (Perda do Lucro Esperado)
SES	- Sistema de Estudos Eólicos

Sumário

RESUMO	09
1 INTRODUÇÃO	11
2 Referencial Teórico.....	14
2.1 Dados Atmosféricos.....	14
2.2 Densidade do Ar	16
2.3 Curva Característica do Aerogerador	16
2.4 Determinação da Energia Gerada	18
2.5 Perdas e Disponibilidade do Sistema	19
2.6 Sistema de Medição de Faturamento-SMF.....	20
3 Estudo de Caso Complexo Eólico São Bento	22
3.1 Descrição do Evento e Coleta de Dados	22
3.2 Aplicação dos Dados Coletados	23
3.3 Perdas Aplicadas e Valor Final Considerado	25
3.4 Apresentação dos Valores Estimados às Partes	28
4 Estudo de Caso Complexo Eólico Brisa	29
4.1- Descrição dos Fatos	29
4.2 Verificação dos Comprometimentos Contratuais	30
4.3 Verificação da Performance entre Geração Verificada versus Geração Estimada	33
4.4 Fator que contribuíram para o Déficit do Desempenho.....	34
5 CONCLUSÃO	37
6 Bibliografia	38

RESUMO

Mesmo com um parque gerador predominante hidroelétrico, e considerada como uma das fontes mais renováveis, o Brasil vem buscando novas fontes de energia alternativa, com menor impacto ambiental e social. Assim, geração de energia com fonte eólica vem se destacando nesta última década. Onde o parque gerador com este tipo de fonte saiu de 350 MW, em 2008, para 13.400 MW, em 2018, em potência instalada, representando consideráveis 8% de toda a potência de geração instalada no país. Neste trabalho serão apresentadas soluções de análise de performance de parque eólico já em operação. Em que na sua contratação era determinado um certo valor de energia a ser gerada em MWh, mas os valores reais medidos e injetados no sistema interligado nacional não estavam atendendo a estes valores contratados. Com base nos registros anemométricos, que é obrigatório por contrato pela EPE, e características técnicas dos aerogeradores foram determinados os reais valores de energia que cada parque deve produzir. Medições anemométricas locais e existentes nos parques já em operação, como os complexos de Brisa I e II e de São Bento, juntamente com os históricos de temperatura, pressão e umidade, determinam a densidade do ar, outro fator determinante para o rendimento dos aerogeradores, performando a energia real produzida pelos parques. Levantamento de dados de contratação, geração de energia e dos efeitos financeiros relacionados; e verificação da performance de geração mediante comparação entre a geração verificada, acompanhamento dos CCEARs e CERs e suas penalidades e ressarcimento, e acompanhamento das performances dos contratos de manutenção e operação dos parques, mostraram o real desempenho de geração e a recuperação do déficit de geração. O modelo sugerido da análise do desempenho será aplicado para todos os parques de responsabilidade da Copel Geração e Transmissão S.A., com sua verificação periódica, com a comparação de valores registrados no Sistema de Medição de Faturamento- SMF e os valores gerados pelo método sugerido neste trabalho, determinando o real desempenho de cada parque gerador, se haverá perdas ou ganhos com os mesmos.

Palavras-chave: Aerogerador, Performance, Registro Anemométrico, Geração Eólica, CCEAR, CER, Parques eólicos

Abstract:

Even with a predominant hydroelectric generator, considered as one of the most renewable sources, Brazil has been seeking new sources of alternative energy, with less environmental and social impact. Thus, generation of energy with a wind source has been emphasizing in the last decade. Where the generating capacity with this type of source went from 350 MW in 2008 to 13,400 MW in 2018, in installed capacity, representing a considerable 8% of all installed generation power in the country. In this work will be presented solutions of performance of wind farm already in operation. In that in his contract a certain amount of energy was determined to be generated in MWh, but the actual values measured and injected into the national interconnected system were not meeting these contracted values. Based on the anemometric records, which is mandatory by contract by the EPE, and technical characteristics of the wind turbines were determined the actual energy values that each park should produce. Local and anemometric measurements in parks already in operation, such as the Brisa I and II and São Bento complexes, together with the historical temperature, pressure and humidity, determine the air density, another determining factor for the performance of the wind turbines performing, the energy produced by parks. Survey of contracting data, energy generation and related financial effects; and verification of generation performance by comparing verified generation, monitoring of CCEARs and CERs and their penalties and reimbursement, and monitoring the performance of the maintenance and operation contracts of the parks, showed the actual generation performance and the recovery of the generation deficit. The suggested performance analysis model will be applied to all parks owned by Copel Geração e Transmissão S.A., with its periodic verification, comparing amounts recorded in the SMF-Billing Measurement System and the values generated by the method suggested in this work, determining the actual performance of each generating park, whether there will be losses or gains with them.

Keywords: Wind Turbine, Performance, Anemometric Record, Wind Generation, CCEAR, CER, Wind farms

1 INTRODUÇÃO:

Em um país continental, como Brasil que possui uma das matrizes energética mais renováveis do mundo, voltada para a geração de energia elétrica, com grande influência nos aspectos climáticos e de relevo de cada região, o potencial energético ainda não é explorado de forma sustentável. Despontando as usinas hidroelétricas, que representam 70% da potência instalada, consideradas não poluidoras e totalmente de energia renovável, apenas tendo como ponto negativo o impacto ambiental na formação de suas barragens e as grandes áreas alagadas. Não se poderia deixar de citar as usinas térmicas de fontes extremamente poluidoras (gás, carvão, lenha, óleo, biomassa e nuclear), que representam 20% da potência instalada, contribuindo negativamente ao meio ambiente. Assim, estas duas fontes de energia (hidráulica e térmica) representam o total de 90% da geração de energia no Brasil. Em busca de fontes menos poluidoras e ecologicamente corretas, vem se despontando a energia eólica, que atualmente representa 8,5% da potência instalada, e com ascendência em seu crescimento, principalmente favorecido pelos leilões de energia de reserva- LER e aos leilões de fonte alternativas -LFA, que são incentivados.

Em alinhamento ao crescimento de instalações eólicas, a COPEL Geração e Transmissão S.A., em agosto de 2010 participou do 7º Leilão de Fontes Alternativas - LFA, o qual teve êxito na contratação de 202 MW, na formação dos complexos Brisa I e São Bento. Um ano após, em agosto de 2011 participou do no 3º Leilão de Energia de Reserva - LER, o qual também teve êxito com a criação do complexo Brisa II, com a contratação de 75,6MW. Com investimento total previsto para os três complexos de R\$ 1.224.153.560,00 (valor não atualizado, conforme planilha de leilões site ANEEL).

O complexo Brisa I é formado pelas Sociedades de Propósito Específico -SPEs: ASA BRANCA I- (27MW), ASA BRANCA II- (27MW), ASA BRANCA III- (27MW), EURUS IV- (27MW), localizados no município de Parazinho. O complexo Brisa II formado pelas SPEs: SANTA HELENA- (29,7 MW), SANTA MARIA - (29,7 MW), localizados no município de

João Câmara, e SANTO URIEL – (16,2MW), localizado no município Touros. E o complexo São Bento SPEs: BOA VISTA – (14MW), localizada no município de Pedra Grande, FAROL - (20MW), OLHO D'AGUA - (30MW) e SÃO BENTO DO NORTE - (30MW), no município de São Bento do Norte, com potência instalada de 94 MW. Sendo todos os parques instalados no estado do Rio Grande do Norte. A formação das SPEs foi autorizada pelo Ministério de Minas e Energia - MME conforme portarias específicas.

Como resultado da participação no leilão, os parques do complexo Brisa I firmaram Contratos de Comercialização no Ambiente Regulado -CCEARs com 14 distribuidoras de energia, na modalidade disponibilidade, para fornecimento de energia no período de 01 de março de 2015 a 28 de agosto de 2035. Já os parques do complexo Brisa II firmaram Contratos de Energia Reserva -CER com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica -CCEE, sendo para parques Santa Helena e Santa Maria pelo período de 01 de julho de 2014 a 30 de junho de 2034, e para o parque de Santo Uriel o período de 01 de abril de 2015 a 31 de março de 2035. Nos parques eólicos pertencentes ao complexo São Bento foram firmados CCEARs com 14 distribuidoras na modalidade disponibilidade, para fornecimento de energia no período de 01 de setembro de 2013 a 31 de agosto de 2033.

Depois de alguns percalços e atrasos em obras de conexão, os parques foram energizados, e seguindo os prazos dos respectivos CCEARs, foram comprometidos os valores de energia contratada ao longo de cada quadriênio, ficando os mesmos muito aquém dos inicialmente contratados. Neste trabalho serão detalhadas as metodologias de cálculo utilizando os dados meteorológicos colhidos no sistema computacional de datalogger de cada parque eólico, como os dados anemométricos, temperatura, pressão e umidade. Valores estes, base para a determinação da energia real ao qual cada parque deveria gerar em um determinado período. E em comparação com os valores medidos pelo sistema de medição de faturamento -SMF, e com os dados de disponibilidade e manutenção de cada aerogerador será determinado o real índice de rendimento.

Esta metodologia foi aplicada em um evento de paralisação prolongada ocorrida no complexo São Bento. Onde houve incêndio na subestação interligadoras de São Bento, totalizando 88 dias sem possibilidade da entrega de energia contratada. Como o complexo é coberto por seguro, o mesmo foi acionado, tanto para cobertura do prêmio ao custo do próprio sinistro com solicitado o ressarcimento por lucro cessante (o qual possui cobertura do tipo Alop

-‘Advanced Loss of Profit’) pela não venda da energia e respectivas penalizações do não cumprimento dos CCEARs. Os valores calculados e que serão detalhados no capítulo 3, foram validados pela seguradora e por auditor independente. Portanto confirmando que a metodologia adotada neste trabalho está alinhada a análise de outras empresas que utilizam fonte eólica.

2 Referencial Teórico:

Em uma análise de componentes do sistema elétrico é necessário o entendimento de seus comportamentos, buscando a forma mais adequada em sua modelagem. Lembrando que cada modelo ou processo pode apresentar direcionamentos distintos a um mesmo resultado. Portanto é importante a escolha e justificativa da modelagem escolhida.

Como o resultado da análise deste trabalho é aplicado em unidades de geração eólica já existentes, o modelo a ser utilizado se baseia em históricos climáticos adquiridos dos próprios registros nos parques, como dados anemométricos (velocidade dos ventos), direção dos mesmos, temperatura, pressão atmosférica e umidade. Todos estes dados são registrados no sistema computacional próprio da COPEL GeT, denominado SES- Sistema de Estudos Eólicos. Onde os dados são coletados via datalogger instalado em cada torre de medição e seguindo o padrão determinado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE conforme as especificações contidas na Nota Técnica DEA 08/14, disponível no sitio eletrônico da própria EPE. Utilizados os dados característicos e técnicos dos aerogeradores individual, como curva de potência versus velocidade do vento, dados de cada parque eólico existente, com suas potências totais, taxa de disponibilidade, perdas, e correlacionados os históricos de medição de faturamento individuais a cada parque eólico. Para a análise financeira serão utilizados os CCEERs e CCEs de cada usina e parque eólico.

2.1 Dados Atmosféricos:

Em cada parque eólico é realizado um registro de dados atmosféricos desde seu início de operação. Estes registros são efetuados a cada 10 minutos, totalizando 144 registros por dia, em média 4.320 por mês, e ao ano totalizando 52.560 registros de dados atmosféricos e anemométricos (velocidade do vento), pressão atmosférica, umidade e temperatura. Não sendo viável, portanto, mostrar todos estes arquivos neste trabalho. Cada aerogerador também possui estes registros com efeito de controle, mas não serão alvo desta análise. No decorrer deste

trabalho serão informados o período de análise e o parque ao qual está sendo realizada a análise. Na tabela 01 demonstra-se um exemplo dos dados a serem utilizados:

data	Hora	Pressão (HPa)	Temperatura (°C)	Umidade	Veloc. Vento (m/s)
20160901	0:00:00	1004	25,7	79,00	6,49
20160901	0:10:00	1004	25,7	79,50	7,12
20160901	0:20:00	1003	25,6	79,80	7,54
20160901	0:30:00	1003	25,6	80,20	6,81
20160901	0:40:00	1003	25,5	80,50	6,82
20160901	0:50:00	1003	25,5	80,90	6,76
20160901	1:00:00	1003	25,5	81,30	7,50
20160901	1:10:00	1003	25,5	81,60	7,14
20160901	1:20:00	1003	25,4	82,00	7,14
20160901	1:30:00	1003	25,4	82,30	7,45
20160901	1:40:00	1003	25,3	82,50	6,99
20160901	1:50:00	1003	25,3	82,80	7,00
20160901	2:00:00	1002	25,2	83,10	7,43

Tabela 01- Dados Anemométricos – Datalogger
 Fonte: Sistema SES

Na figura 01 apresenta-se a configuração de uma torre anemométrica utilizada em parque eólicos, conforme especificação da EPE, e o conjunto anemômetro e indicador de direção do vento.

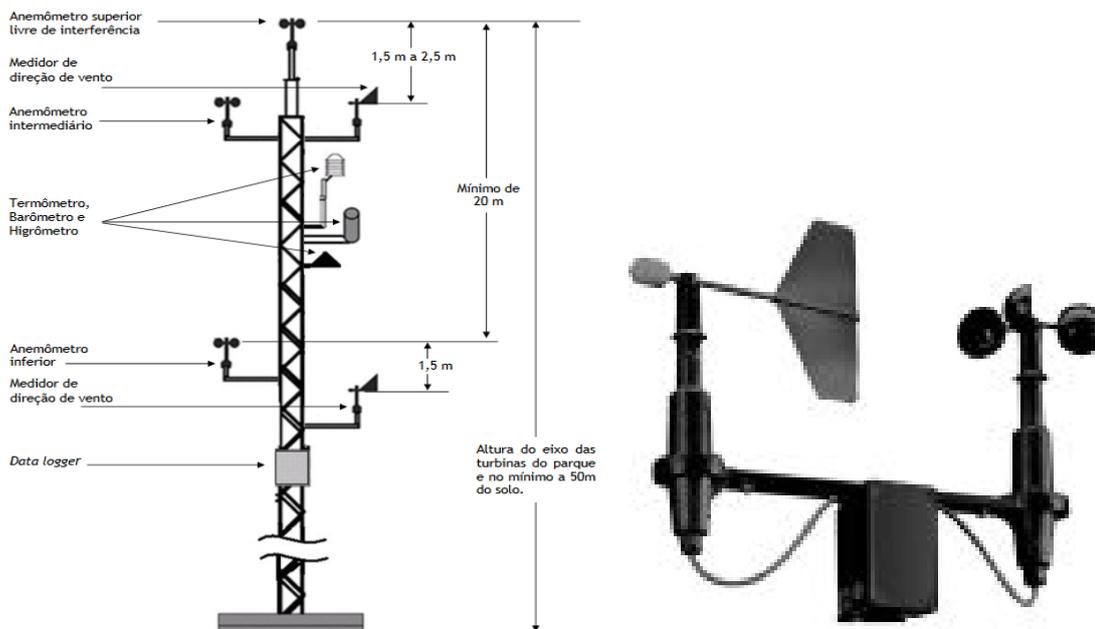


Figura 01- Torre anemométrica e Equipamento Anemômetro
 Fonte: EPE -Nota Técnica DEA 08/14

2.2 Densidade do Ar

Na determinação de rendimento dinâmico de um aerogerador é considerada a densidade do ar, sendo a potência gerada neste equipamento é diretamente proporcional à esta densidade, como será demonstrado no item 2.3- Curva Característica do Aerogerador. Na tabulação de dados registrados no sistema de datalogger não possui o valor direto da densidade do ar, a mesma será determinada por equação matemática, e utilizado os valores de pressão em HPa e da temperatura em °C, extraídos da tabela 01, e aplicado na equação 01 informada a seguir:

$$\text{Densidade}_{\text{ar}} = \frac{\text{Pressão (HPa)} * 100}{287,09 * (\text{Temp (}^{\circ}\text{C)} + 273,15)} \quad (01)$$

A densidade do ar será calculada para cada registro de medição atmosférica, a um período de análise e aplicado em sua média para curva característica de aerogerador, pois também não é viável a aplicação para cada ponto de curva que será mostrado a seguir.

2.3 Curva Característica do Aerogerador

Como já informado, as análises deste trabalho serão realizadas em parque eólico em operação. Os equipamentos utilizados de aerogeradores já são conhecidos, e possuem dados técnicos disponíveis em seu datasheet. São extraídas as informações como rendimento do conjunto, e principalmente a curva potência versus a velocidade do vento. E conforme informado pelo fabricante há uma pequena variação da potência gerada em função da densidade do ar, assim, quanto maior a densidade maior é o valor da potência de geração. Estes dados são fornecidos em forma de tabela, como exemplo tabela 02. Com base nestes dados foram geradas as suas curvas correspondentes, visto gráfico 01.

Wind speed [m/s]	Densidade													
	0,950	0,975	1,000	1,025	1,050	1,075	1,100	1,125	1,150	1,175	1,200	1,225	1,250	1,275
3,0	8	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	11	12	12
3,5	31	33	35	36	38	40	41	43	45	46	48	50	51	53
4,0	78	81	84	87	90	92	95	98	101	104	106	109	112	115
4,5	134	138	142	146	150	155	159	163	167	171	175	179	183	187
5,0	197	203	208	214	220	225	231	236	242	248	253	259	264	270
5,5	270	278	285	293	300	308	315	323	330	337	345	352	360	367
6,0	355	365	375	384	394	404	413	423	433	442	452	461	471	480
6,5	442	455	467	480	492	505	517	530	542	555	567	580	592	605
7,0	563	578	594	610	625	641	657	672	688	703	719	735	750	766
7,5	699	719	738	757	776	795	815	834	853	872	891	910	929	948
8,0	855	878	901	924	947	970	993	1016	1039	1062	1085	1108	1130	1153
8,5	1028	1055	1082	1110	1137	1164	1190	1217	1244	1270	1297	1324	1349	1375
9,0	1215	1246	1277	1308	1339	1369	1399	1429	1459	1488	1517	1546	1573	1601
9,5	1407	1441	1474	1508	1542	1572	1603	1634	1665	1691	1718	1744	1767	1789
10,0	1595	1627	1660	1693	1726	1751	1776	1801	1826	1845	1863	1882	1896	1910
10,5	1759	1784	1810	1835	1861	1877	1893	1910	1926	1936	1946	1957	1963	1970
11,0	1879	1895	1911	1927	1944	1951	1959	1967	1975	1978	1982	1986	1988	1991
11,5	1949	1956	1964	1971	1979	1982	1985	1988	1991	1993	1994	1996	1997	1998
12,0	1980	1983	1986	1989	1993	1994	1995	1997	1998	1999	1999	2000	2000	2000
12,5	1993	1994	1995	1997	1998	1999	1999	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
13,0	1998	1998	1999	1999	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
13,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
14,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
14,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
15,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
15,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
16,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
16,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
17,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
17,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
18,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
18,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
19,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
19,5	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
20,0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Tabela 02- Aerogerador Vestas V100, com potência nominal de 2,0 MW.
 Fonte: Fabricante Vesta

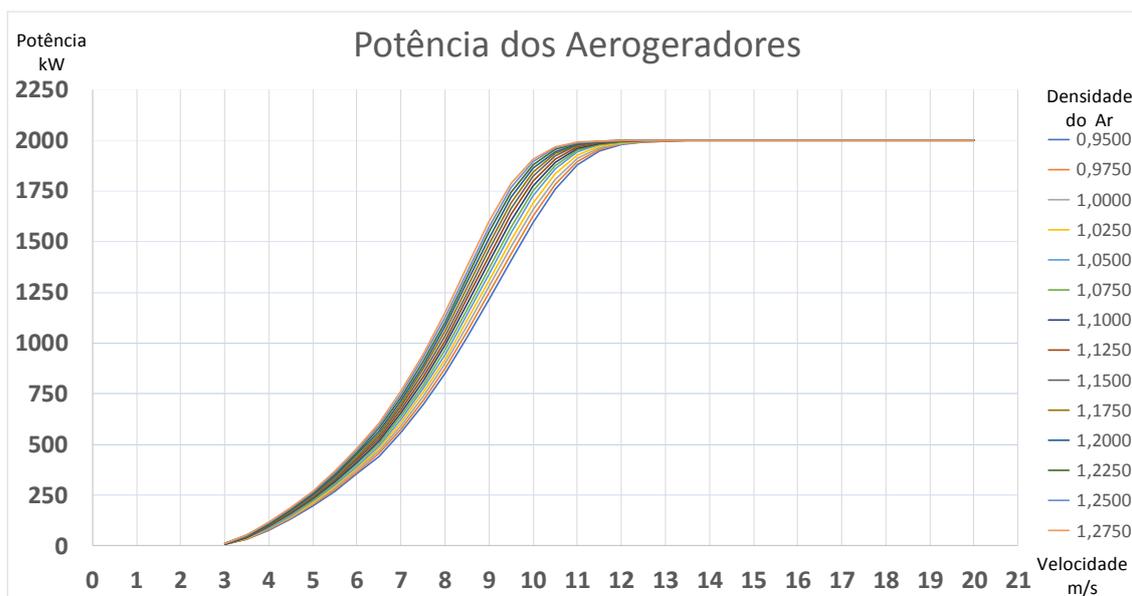


Gráfico 01- Potência do Aerogerador Vesta V100
 Fonte: Elaborado pelo autor

2.4 Determinação da Energia Gerada:

Como observa-se no gráfico 01, a curva de potência do aerogerador sofre pequenas alterações conforme há variações na densidade do ar. Como no estudo já possuímos os registros atmosféricos, podemos determinar a densidade do ar a cada período de registro. Para simplificar os cálculos utilizaremos a média de densidade do ar no período e parque objeto da análise. Assim, iremos utilizar a densidade do ar em $1,0 \text{ kg/m}^3$, que foi o mesmo valor determinado para estudo de caso de São Bento, o qual veremos em capítulo específico. Desta maneira, extraindo os dados da tabela 02 para a coluna de densidade igual a 1,00, geramos a equação 02, ao qual a mesma curva segue. Para este caso decidiu-se a utilização de uma fórmula polinomial de 6ª ordem. Esta equação foi gerada dos recursos da planilha eletrônica do Excel®.

Durante elaboração deste trabalho foi verificada a melhor forma de conversão dos dados da tabela potência versus velocidade do vento, que não são lineares, em gráficos e posterior utilização em conjunto com os dados anemométricos. Foram analisadas equações como regressão linear, mínimos quadrados, entre outras. Como já se utilizava de planilha eletrônica Excel®, e o mesmo possui o recurso de geração de equações para este tipo de dados não lineares. Em comparação com outros métodos, a equação gerada pelo Excel® apresentou menor erro na conversão de dados, entre valores simulados e potência informada em tabela.

$$y = 0,0423x^6 - 1,9321x^5 + 34,4000x^4 - 305,9900x^3 + 1462,1000x^2 - 3490,4100x + 3234,3000 \quad (02)$$

Onde: y = Potência gerada (kW)
 x = velocidade do vento medido (m/s)

Na obtenção da energia gerada será realizada a integralização dos resultados das potências geradas para um determinado período o que nos dará o valor de kWh. Assim, aplicando à equação 02 da potência gerada por aerogerador os dados registrados do datalogger, obtendo os valores da potencia naquele instante, conforme tabela 03

data	Hora	Veloc. Vento (m/s)	Potência kW
20160901	0:00:00	6,49	464,04
20160901	0:10:00	7,12	620,50
20160901	0:20:00	7,54	744,96
20160901	0:30:00	6,81	539,03
20160901	0:40:00	6,82	541,52
20160901	0:50:00	6,76	526,71
20160901	1:00:00	7,50	732,42
20160901	1:10:00	7,14	626,06
20160901	1:20:00	7,14	626,06
20160901	1:30:00	7,45	716,95
20160901	1:40:00	6,99	585,25
20160901	1:50:00	7,00	587,91
20160901	2:00:00	7,43	710,82

Tabela 03- Potência

Fonte: Elaborado pelo autor

Onde: Veloc. Vento (m/s): obtido do datalogger
 Potencia kW: obtido da aplicação da equação 02

A energia gerada no período será a integralização desta energia. Portanto, da tabela 03, para a primeira hora será obtida a energia de 617,52 kWh, para a segunda hora 642,17 kWh, e assim sucessivamente para o período total da análise. Para a obtenção da energia total gerada pelo parque será soma total da energia gerada por todos os geradores dos parques em estudo.

2.5 Perdas e Disponibilidade do Sistema

Em todos os sistemas elétricos existem perdas que devem ser consideradas. A metodologia mostrada anteriormente apresenta o valor da energia gerada no próprio aerogerador, mas deverão ser consideradas as perdas na rede até o ponto de medição de faturamento, que nem sempre é próximo a estes equipamento, e estas perdas são consideráveis. Os valores de perda podem ser calculados em projeto conforme os equipamentos existentes na planta de cada parque eólico, como cabos, transformadores, etc., conforme é ilustrado na figura 02. Como o estudo deste trabalho é aplicado a parques eólicos já em operação serão utilizados os valores históricos de perdas nas instalações e disponibilidade os aerogeradores registrados em cada parque gerador.

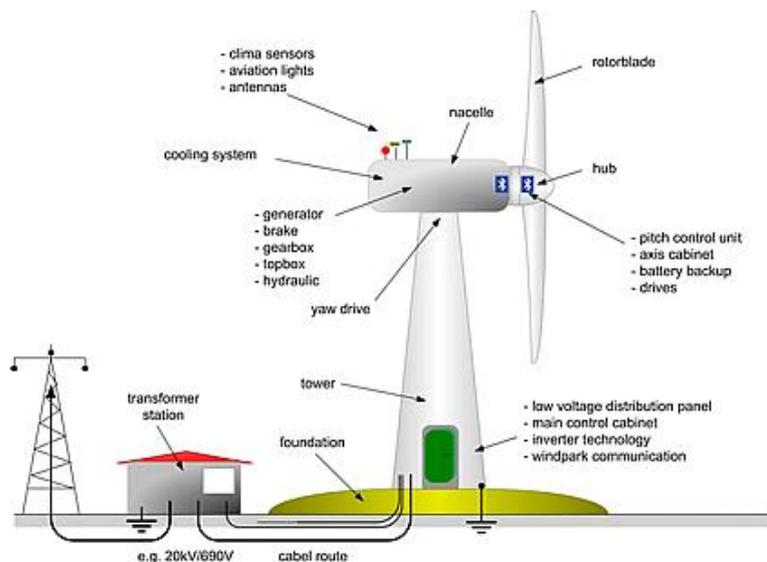


Figura 02- Instalação de Aerogeradores.

Fonte: site: www.evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal

2.6- Sistema de Medição de Faturamento-SMF:

Em todos os parques de geração são instalados sistemas de medição de faturamento-SMF, os quais os dados são utilizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica-CCEE. O sistema é composto por dois medidores, um principal e outro de retaguarda, isto para garantir a confiabilidade dos registros. Com padrão, os valores medidos são registrados a cada 5 minutos. São registradas as grandezas de tensões e correntes de fase, energia ativa (kWh), reativa (kvarh), consumida (in) e gerada (out). Estes dados registrados serão objeto das análises em comparação como os valores calculados descritos nos itens anteriores. São instalados sistemas de medição de faturamento a cada entrada de cada parque nas subestações de instalações compartilhadas de conexão e uma ao ponto de conexão com o sistema SIN, denominada de medição totalizadora, como mostrado na figura 03. Seguindo as regras da CCEE estas medições são necessárias também para determinação e rateio das perdas no sistema.

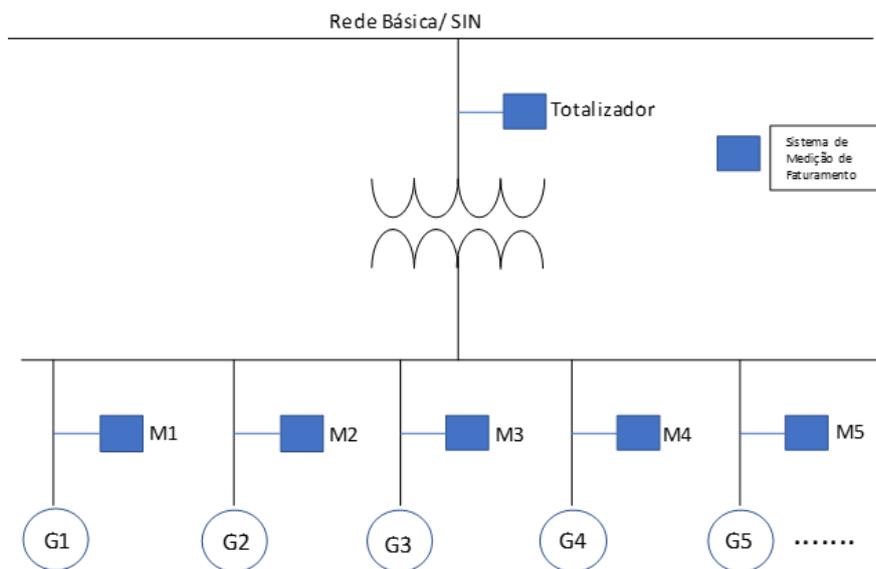


Figura 03- Diagrama Simplificado do SMF e um Parque Gerador
Fonte: Elaborado pelo autor

3 Estudo de Caso Complexo Eólico São Bento:

Neste capítulo será tratada a metodologia apresentada e sua validação por instituição creditada.

No evento da paralisação do fornecimento de energia pelos parques eólicos pertencentes ao complexo São Bento, causado pelo sinistro ocorrido no dia 16 de setembro de 2017, na subestação interligadora do complexo, houve a oportunidade da aplicação da metodologia que está sendo demonstrada neste trabalho.

Após reunião com as partes envolvidas, seguradora MAPFRE e equipes da coordenadoria de gestão e custos de seguros da COPEL GeT, foi solicitado a equipe da COPEL GeT/ VCOE- Divisão de Contabilização Energética, que é responsável pela contabilização da energia gerada pelos parques eólicos e responsável pelos registros na CCEE e do SMF, a determinação da: energia estimada ao qual os parque deixaram de fornecer ao SIN, estimativa do lucro cessante e das penalidades aplicadas pelos CCEARs firmados.

3.1 Descrição do Evento e Coleta de Dados:

A interrupção da geração de energia das usinas do complexo, ocorreu às 07h56 do dia 16 de setembro de 2017, com a paralisação total no fornecimento de energia ao SIN. E após as devidas manutenções e testes nas instalações afetadas pelo sinistro, foi liberado para a reconexão dos parques, os quais foram energizados na seguinte ordem: Eólica Farol em 10/12/2017 as 11:00, Eólica Boa Vista em 11/12/2017 as 15:00, Eólica São Bento do Norte em 12/12/2017 as 15:00 e por final a Eólica Olho D'água no dia 13/12/2017 também as 15:00. O que representou uma paralisação no fornecimento de energia de 85 dias.

Foram coletados os dados anemométricos de todo o ano de 2017, para todos os parques afetados, desde seu início, 01/01/2017, até a data de reestabelecimento da conexão definitiva, dia 13/12/2017. Estes dados foram extraídos do sistema SES- Sistema de Estudos Eólicos, gerando arquivo com 62.000 registros a cada 10 minutos de dados de velocidade de vento, temperatura, pressão e umidade, para cada parques. Conforme exemplo na Tabela 01.

3.2 Aplicação dos Dados Coletados:

Neste complexo são utilizados aerogeradores fornecidos pela empresa VESTA e do modelo V100, com potência nominal de 2.0 MW. Em consulta aos dados técnicos de equipamento foi encontrado a tabela característica de potência versus velocidade dos ventos. Foi adotado para este estudo os dados correspondentes a densidade do ar de 1,0 kg/m³. Desta tabela foi determinada a equação característica desta curva (equação 02), e representado pelo no gráfico 02.

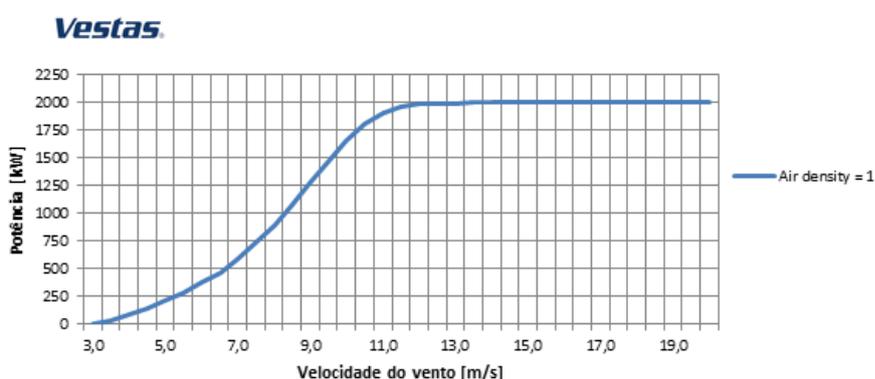


Gráfico 02- Potencia Aerogerador Vesta V100
 Fonte: Fabricante Vesta

Utilizando os dados anemométricos do sistema SES do período da intervenção e aplicando na equação da potência, obtivemos a energia para cada parque, em MWh, mostrada na Tabela 04. Estes valores representam a energia bruta gerada por cada aerogerador e integralizado a cada parque correspondente.

Mês	Geração Estimada [MWh]			
	EOL BOA VISTA	EOL FAROL	EOL OLHO D'AGUA	EOL SÃO BENTO DO NORTE
set/17	3.550,940	5.307,876	8.189,514	8.091,389
out/17	6.174,747	9.199,988	15.160,625	14.967,598
nov/17	5.405,133	7.961,571	13.932,762	14.004,603
dez/17	1.333,381	2.010,246	4.440,739	4.116,094
TOTAL	16.464,201	24.479,681	41.723,640	41.179,684

Tabela 04- Energia total estimada gerada pelos Aerogeradores
 Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

Também para efeito de equacionar os valores da energia calculada à real apurada, foram calculados os valores de energia estimada pelo método formulado no período de 01/01/2017 até o dia 16/09/2017 às 8h, início da indisponibilidade. Estes valores após integralizados, foram comparadas com o valor da energia bruta de cada parque, medida pelo sistema SMF. Isto foi necessário para equalizar as sazonalidades de geração de cada parque, relevo, eventuais indisponibilidades dos aerogeradores, e outro fatores alheios a operação dos parques. Assim, estes valores estão mostrados na tabela 05, bem como a diferença percentual entre elas.

Parque Eólico	Geração Estimada (MWh)	Geração Medida (MWh)	Diferença
EOL BOA VISTA	36.115,613	38.355,740	+6,20%
EOL FAROL	54.901,239	59.469,634	+8,32%
EOL OLHO D'AGUA	87.901,845	96.875,123	+10,21%
EOL SÃO BENTO DO NORTE	85.887,175	90.488,231	+5,36%

Tabela 05 – Desvios de Geração Verificados

Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

Como os valores medidos e estimados neste período apresentaram uma significativa diferença, o valor estimado de geração dos parques no período em que estiveram fora de operação foi corrigido pelos fatores percentuais acima.

Desta forma, a geração bruta estimada final dos parques eólicos, em MWh, é apresentada na Tabela 06, a seguir:

Mês	Geração Estimada + Desvio [MWh]			
	EOL BOA VISTA	EOL FAROL	EOL OLHO D'ÁGUA	EOL SÃO BENTO DO NORTE
set/17	3.771,193	5.749,551	9.025,524	8.524,852
out/17	6.557,746	9.965,529	16.708,266	15.769,426
nov/17	5.740,394	8.624,062	15.355,059	14.754,842
dez/17	1.416,086	2.177,521	4.894,062	4.336,597
TOTAL	17.485,419	26.516,663	45.982,911	43.385,718

Tabela 06 – Estimativa de Geração Bruta com Desvios

Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

3.3 Perdas Aplicadas e Valor Final Considerado:

Para fins de contabilização, todos os parques gerados recebem dois tratamentos de perdas no âmbito da CCEE: perdas nas Instalações Compartilhadas -IC, onde é efetuado o rateio de perdas entre todos os parques conectados a subestação até a conexão com a rede básica; e perdas da Rede Básica, que são as perdas do Sistema Interligado Nacional- SIN em seu ponto de equilíbrio, que é rateado entre todos os agentes de geração.

Foram consideradas seguintes as premissas para cálculo dos percentuais a serem deduzidos das gerações estimadas:

IC: valor das perdas médias apuradas no circuito no período de 01/01/2017 a 16/09/2017;

Rede Básica: valor apurado pela CCEE as contabilizações dos meses de setembro a dezembro/17.

A seguir são apresentados os percentuais de perdas levantados, Tabela 07:

Mês	Perdas Rede Básica	Perdas IC
set/17	2,083%	1,926%
out/17	2,052%	
nov/17	2,132%	
dez/17	2,363%	

Tabela 07 – Perdas da IC e Rede Básica
 Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

O valor da geração final calculado após acréscimo dos desvios de geração e dedução das perdas, constantes nas Tabelas 06 e 07, respectivamente, é apresentada a seguir:

Mês	Geração Estimada + Desvio [MWh]			
	EOL BOA VISTA	EOL FAROL	EOL OLHO D'ÁGUA	EOL SÃO BENTO DO NORTE
set/17	3.606,635	5.499,040	8.632,736	8.152,013
out/17	6.294,534	9.568,485	16.031,473	15.132,801
nov/17	5.510,123	8.123,893	14.757,659	14.171,749
dez/17	1.360,828	2.093,169	4.697,766	4.161,933
TOTAL	16.772,121	25.284,587	44.119,635	41.618,495

Tabela 08 – Estimativa Final de Geração

Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

Para o cálculo dos valores de ressarcimento foram extraídos dos contratos CCEARs firmados os valores dos preços e atualizados pela variação do IPCA no período de abril de 2010 (assinatura do contrato), até outubro de 2017 (período do evento). Estes valores estão apresentados na tabela 09:

Receita Fixa	EOL BOA VISTA	EOL FAROL	EOL OLHO D'ÁGUA	EOL SÃO BENTO DO NORTE
Preço (R\$/MWh)	217,46	211,12	211,12	211,12

Tabela 09 – Preços da comercialização de energia, conforme CCEARS

Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

A energia produzida pelos parques atende aos dois ambientes de contratação de energia, ACR e ACL. Seguindo as regras da CCEE, deverá ser aplicado o fator de comprometimento para o fornecimento do tipo ACR. Este fator é extraído do sistema DRI da própria CCEE, através do acrônimo PCP_PROD_{p,t,l,e,m}. No período da indisponibilidade o fator encontrado para o ACR representou 93,33% do total da energia gerada, restando 6,67% para comercialização no ACL. A energia comercializa no ACR segue os valores de venda registrados nos CCEARS, apresentados na tabela 09. Os valores comercializados no ACL são praticados no MCP, com valores de PLD do mesmo período. Os valores resultantes são apresentados na tabela 10, nas respectivas colunas ACR e ACL.

Na determinação do ressarcimento pelo não cumprimento das metas de produção quadrienal, foram utilizadas as curvas de disponibilidade declaradas na habilitação do 7º LFA,

aplicando ao 2º quadriênio, efetuado o desconto dos valores da energia não gerada no período da indisponibilidade. Conformando os valores, obtêm-se o montante financeiro equivalente ao ressarcimento quadrienal, apresentado na tabela 10. O resultado das despesas projetadas para o pleito do ressarcimento configurou o valor total de R\$ 28.215.159,25.

	MCP (R\$)	Ressarcimento Anual (R\$)	Ressarcimento Quadrienal (R\$)	Total (R\$)
COMPLEXO SÃO BENTO	1.675.103,13	23.467.406,71	3.072.649,40	28.215.159,25

Tabela 10 – Projeção das Despesas
Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

Na análise do comparativo financeiro à rentabilidade do empreendimento, foram projetadas as receitas anuais presumidas de cada parque eólico. Com a utilização os valores da energia contratada em MWmed e preços contratados em R\$/MWmed (tabela 09), apresentados na tabela 11, conforme cada CCEAR:

Usina	CCEAR (MWmédios)	Preço	Rentabilidade Projetada	Rentabilidade Projetada Total
EOL BOA VISTA	5,7	217,46	R\$ 10.858.212,72	R\$ 81.135.838,32
EOL FAROL	9,1	211,12	R\$ 16.829.641,92	
EOL OLHO D'AGUA	14,9	211,12	R\$ 27.556.226,88	
EOL SÃO BENTO DO NORTE	14	211,12	R\$ 25.891.756,80	

Tabela 11- Rentabilidade Projetada Anual
Fonte: Nota Técnica VCOE-01/2018

Comparando os valores de rentabilidade presumida anual e a despesa total gerada pelo evento de indisponibilidade, apenas para um desembolso anual, impactaria em uma perda significativa de receita anual na ordem de 34,78%. Como estas penalizações são contabilizadas ao quadriênio, é prematuro apresentar o valor final à penalização aplicada pela CCEE.

3.4- Apresentação dos Valores Estimados às Partes:

Estes valores foram apresentados à seguradora e ao auditor por ela contratado, em reunião específica. Isto para o pleito e confirmação do prêmio referente ao ressarcimento da energia não gerada, a título de lucro cessante, e também ao efeito da contabilização da penalização aplicada pelos CCEARs, quanto ao comprometimento da energia contratada e fornecida no quadriênio, correspondente ao período da indisponibilidade. Os mesmos foram aderentes aos valores apresentados pelo auditor, e assim aprovados pelas partes, demonstrando que a metodologia desenvolvida e apresentada neste trabalho está em conformidade com outras instituições que atuam no ambiente de energia eólica. Caso a seguradora indeferisse o prêmio, ao qual o complexo eólico teria de direito, ou apresentasse valores inferiores ao projetado, haveria um comprometimento às finanças das SPEs participantes do complexo, o qual faria parte de outros estudos.

Não sendo objeto do tema deste trabalho, mas durante a análise e coleta de dados, observou-se a importância da contratação de empresa seguradora idônea e a realização de contratos com termos e valores compatíveis com o empreendimento e seus riscos.

4. Estudo de Caso Complexo Eólico Brisa

Após apresentado a metodologia, capítulo 2, e de sua validação mostrada no capítulo 3, neste capítulo veremos a aplicação da metodologia na análise de desempenho e os respectivos efeitos financeiros da comercialização das usinas pertencentes ao complexo Brisa, desde sua data prevista para início da operação até o início do ano de 2018. A análise do desempenho dos parques desenvolvida nesta etapa considera duas partes de apuração: levantamento de dados de contratação, geração de energia e dos efeitos financeiros relacionados; e verificação da performance de geração mediante comparação entre a geração verificada e a estimada através das medições anemométricas.

4.1- Descrição dos Fatos

O complexo eólico Brisa, é composto pelos parques eólicos de ASA BRANCA I, ASA BRANCA II, ASA BRANCA III, EURUS IV – informalmente denominado Brisa I, e pelos parques eólicos de SANTA HELENA, SANTA MARIA e SANTO URIEL – informalmente denominado Brisa II. Os parques do complexo Brisa I firmaram Contratos de Comercialização no Ambiente Regulado -CCEARs com 14 distribuidoras de energia, na modalidade disponibilidade, para fornecimento de energia no período de 01 de março de 2015 a 28 de agosto de 2035. Já os parques do complexo Brisa II firmaram Contratos de Energia Reserva -CER com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica -CCEE para o período de 01 de julho de 2014 a 30 de junho de 2034, no caso dos parques Santa Helena e Santa Maria, e, de 01 de abril de 2015 a 31 de março de 2035, no caso de Santo Uriel.

Devido a atrasos na construção e entrega das linhas de conexão, que fez parte de outro leilão, não integrado ao leilão de energia elétrica, e somando a atrasos na montagem e comissionamento dos aerogeradores, fatos que conjuntamente resultaram no atraso da entrada em operação comercial de todos os parques, conforme relacionado na tabela 10 abaixo:

Complexo	Usina	Operação comercial contratada	Entrada em operação comercial	Atraso (dias)
Brisa I	Asa Branca I	01/03/2015	05/08/2015	157
	Asa Branca II	01/03/2015	21/10/2015	234
	Asa Branca III	01/03/2015	04/09/2015	187
	Eurus IV	01/03/2015	20/08/2015	172
Brisa II	Santa Helena	01/07/2014	06/05/2015	309
	Santa Maria	01/07/2014	23/04/2015	296
	Santo Uriel	01/04/2015	22/05/2015	51

Tabela 10 – Atraso de entrada em operação comercial

Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

4.2 Verificação dos Comprometimentos Contratuais

Os dados informados nos contratos serviram de entrada dos cálculos para os efeitos financeiros. Os valores de nível de contratação e da garantia física para as usinas do complexo Brisa são apresentados nos resultados dos leilões 7º LFA e 3º LER, e informado nas Tabelas 11 e 12, respectivamente, disponível na página eletrônica da ANEEL:

Usina	CCEAR (MW médios)	Garantia Física (MW médios)	Nível (%)
Asa Branca I	13,2	14,2	92,96
Asa Branca II	12,8	14,3	89,51
Asa Branca III	12,5	14,5	86,21
Eurus IV	13,7	14,7	93,20
Total	52,2	57,7	90,47

Tabela 11 – Nível de Contratação Brisa I (7º LFA)

Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

Usina	CER (MW médios)	Garantia Física (MW médios)	Nível (%)
Santa Helena	16,0	16,0	100,00
Santa Maria	15,7	15,7	100,00
Santo Uriel	9,0	9,0	100,00
Total	40,7	40,7	100,00

Tabela 12 – Nível de Contratação Brisa II (3º LER)

Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

Pelas regras de comercialização dos CCEARs, nos cálculos financeiros deverão ser consideradas as participações do percentual da garantia física destinada no Ambiente de

Contratação Regulado -ACR, e a disponibilidade para comercialização no Ambiente de Contratação Livre -ACL, que é feito pela conversão direta do nível de contratação.

Até o mês de abril de 2016, o cálculo do percentual de geração destinada ao ACR e ACL seguia o mesmo método do rateio da garantia física, no entanto, após modificação nas regras de comercialização pela CCEE, assim o percentual da geração destinada ao ACR passou a ser proporcional ao montante contratado no ACR dividido pela garantia física deduzida das perdas de conexão e indisponibilidades, cujos valores são apurados mensalmente na contabilização da CCEE, sendo mais justa o rateio das perdas do SIN. Para as usinas com contratos CER têm suas garantias físicas 100% comprometidas para o atendimento dos contratos, onde os eventuais excedentes têm remuneração tratada no âmbito do próprio contrato.

De acordo com os contratos, o empreendimento gerador eólico que apresentar geração inferior ao valor contratado no ano/quadriênio deve ressarcir o valor da receita fixa proporcional à energia elétrica não suprida. Sendo os valores a serem ressarcidos de acordo com as seguintes condições:

- Energia gerada anual inferior a 90% da energia contratada;
- Geração de energia inferior, em qualquer montante, ao montante de energia contratada no quadriênio.

A variação da geração anual dentro dos quadriênios contempla ainda o cálculo do saldo acumulado, que é formado pela energia gerada excedente ao montante contratado em determinado ano contratual até um limite definido, dependendo do ano do quadriênio contratual. Os limites de saldo acumulado determinados para cada ano contratual são definidos como a seguir:

- 1º ano: 30% da energia contratada
- 2º ano: 20% da energia contratada
- 3º ano: 10% da energia contratada
- 4º ano: todo excedente é liquidado no mercado de curto prazo

Toda energia gerada que exceda o montante contratado e o saldo acumulado do ano será liquidada no mercado de curto prazo, a partir do mês de atendimento aos compromissos contratuais.

Igualmente aos CCEARs por disponibilidade, os CERs devem entregar 100% da energia contratada ao longo dos quadriênios, considerando os limites contratuais.

A cada doze meses é calculado o saldo acumulado referente a diferença entre a energia gerada anual, de cada usina, e a energia contratada. O saldo acumulado respeita margem inferior de 10% abaixo da energia contratada, referente ao ano contratual, e uma margem superior de 30 % acima da energia contratada.

Ao final de cada ano contratual, o valor do saldo acumulado que ficar abaixo da margem inferior será ressarcido pela usina proporcional à receita fixa, acrescido de 15%. Após o ressarcimento, o valor do saldo será revisado para o limite inferior e passa a compor o saldo do próximo ano. Já o valor do saldo que extrapolar o valor da margem superior será liquidado ao gerador proporcional a 70% do preço de venda. Após a liquidação do excedente, o saldo será revisado para a margem superior.

Ao final do quarto ano de cada quadriênio, o saldo positivo contido na faixa de tolerância poderá ser repassado para o quadriênio seguinte, ou cedido para outro vendedor no mesmo leilão, ou com saldo negativo liquidado no âmbito do contrato. Caso o saldo do quadriênio seja negativo, o gerador deve ressarcir o montante negativo, considerando eventuais montantes de energia adquiridos através do mecanismo de cessão mencionado acima, proporcional a receita fixa. Os balanços energéticos consideram para o atendimento aos CCEARs por disponibilidade, a energia contratada para recomposição de atrasos. O balanço quadrienal considera somente os valores que foram contabilizados pela CCEE até o momento (março/2018), desconsiderando os contratos e ressarcimentos para os meses futuros, até o fechamento do quadriênio.

Foram verificadas as energias geradas pelos parques e comparadas com seus contratos e obtendo no CCEARs foram gerando em média 62% da energia contratada e para o CERs 64,4%.

Com os atrasos da entrada em operação comercial dos parques foi necessário a recomposição do lastro do CCEARs para evitar penalidades, gerando uma despesa de R\$ 73.440.142,26 (setenta e três milhões, quatrocentos e quarenta mil, cento e quarenta e dois reais e vinte e seis centavos).

A tabela 13, apresenta o resultado consolidado, até março de 2018, do balanço entre as receitas provindas da venda de energia em comprimento aos contratos firmados. Em contrapartida houveram despesas incorridos no âmbito da comercialização de energia para o complexo, decorrentes de ressarcimentos pelo não cumprimento contratuais de desempenho e

a necessidade de aquisição de energia no mercado livre, assim representando uma perda de receita total de 29,83%, desde a entrada em operação dos parques.

Complexo	Receitas		Despesas		Redução
Brisa I	CCEAR	R\$ 290.903.188,81	Ressarcimentos Contratuais	R\$ 27.156.967,95	9,34%
	ACL	R\$ 17.660.651,69	Compra de energia	R\$ 73.440.142,26	25,25%
Brisa II	CER	R\$ 144.261.873,71	Ressarcimentos Contratuais	R\$ 29.207.831,77	20,25%
Total	\sum <i>Receitas</i>	R\$ 452.825.714,21	\sum <i>Despesas</i>	R\$ 129.804.941,98	29,83%

Tabela 13 – Resultado de Receitas e Despesas do complexo Brisa
 Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

4.3 Verificação da Performance entre Geração Verificada versus Geração Estimada

Na análise da performance das usinas pertencentes ao complexo Brisa, foram coletadas as medições reais de energia pelo Sistema de Medição de Faturamento- SMF, e os valores calculados de energia estimada. A energia gerada estimada foi calculada em função dos dados anemométricos e pela curva características dos aerogeradores instalados no complexo. Para este caso os equipamentos são da marca Alstom, modelo ECO 122, com potência nominal de 2,7 MW. Pelos dados atmosféricos foi determinado que a densidade média para este estudo seria de 1,14 kg/m³, e assim foi utilizada a curva correspondente, conforme mostrado no gráfico 03.

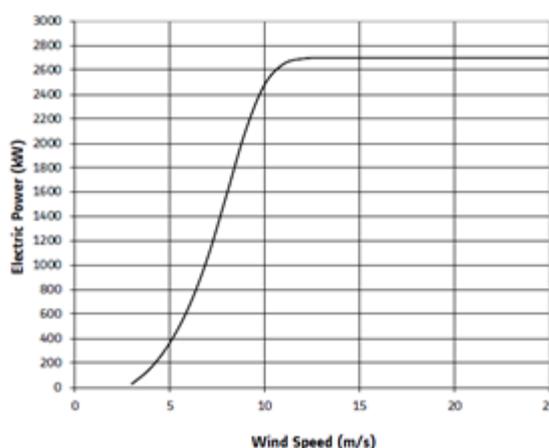


Gráfico 03 – Curva de potência aerogerador ALSTOM ECO122
 Fonte: Fabricante ALSTOM

Utilizando a metodologia apresentada no capítulo 2, estratificou-se a equação da curva da figura 9, e aplicada aos dados anemométricos, foram realizados os cálculos da energia estimada para cada parque.

Para o período de análise, que foi desde o início das operações comerciais até o início do ano de 2018, foram tratados cerca de 162.300 dados para cada parque eólico. Sendo os valores do SMF com registros de 5 em 5 minutos, e os dados anemométricos de 10 em 10 minutos, para as sete usinas que compõem o complexo. Os valores resultantes do tratamento destes dados podem ser vistos no Gráfico 04, estratificados mês a mês, com energia medida e estimada.

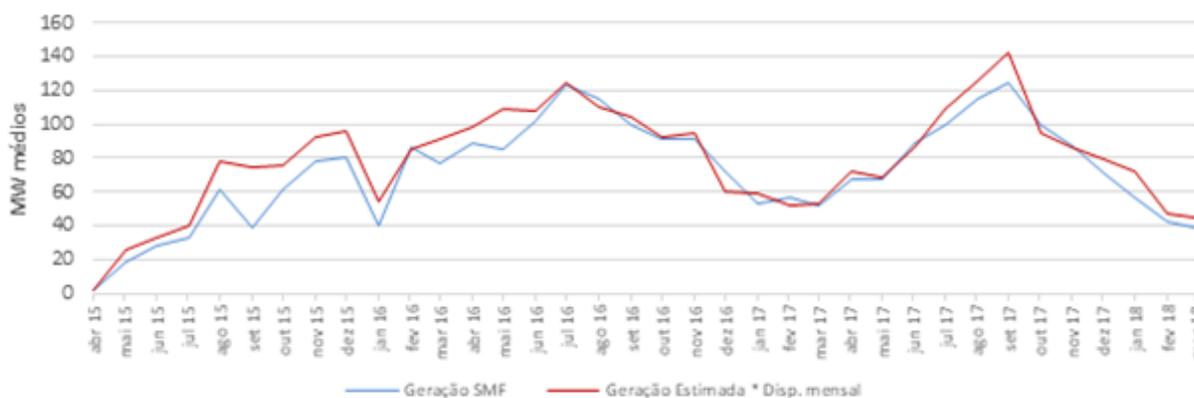


Gráfico 04- Resultados Mensal dos Valores Medidos e Estimados
 Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

Na análise deste gráfico verifica-se que os valores se mostram aderentes na maior parte do período. Mas há destaque no descolamento das energias medida e estimada nos meses de agosto a outubro de 2015, replicando-se, em menor proporção nos períodos de março a junho de 2016. Em levantamento dos registros operacionais dos parques verificou-se que nestes períodos ocorreram várias paradas não desejadas dos aerogeradores, isto é, não previstas em projeto. Estas paradas foram basicamente por realização de retrofit de partes dos equipamentos dos aerogeradores, revisão e manutenções corretiva, causadas por falhas no comissionamento e que comprometeram a disponibilidade destes equipamentos, e assim impactando no total de energia que o complexo deveria produzida para atender seus contratos.

Na tabela 14 são apresentados os resultados totais da geração estimada, das medições do Sistema de Medição para Faturamento -SMF, e os desvios apurados para cada um dos

parques desde o início da entrada em operação comercial. Que demonstra o déficit estimado de até 27,24% de energia que o complexo deveria ter gerado neste período.

Comparativo		Asa Branca I	Asa Branca II	Asa Branca III	Eurus IV	Santa Helena	Santa Maria	Santo Uriel	Total
Geração	SMF (MWh)	279.615,509	251.157,161	279.538,008	261.797,008	324.030,342	303.259,528	196.534,034	1.895.931,590
	Estimada (MWh)	369.408,574	332.591,832	345.860,140	386.766,211	445.367,618	472.386,821	253.323,502	2.605.704,698
Desvios	(MWh)	-89.793,065	-81.434,671	-66.322,133	-124.969,203	-121.337,276	-169.127,293	-56.789,468	-709.773,109
	(%)	-24,31%	-24,48%	-19,18%	-32,31%	-27,24%	-35,80%	-22,42%	-27,24%

Tabela 14 – Resultado das energias Medidas e Estimadas

Fonte: Nota Técnica VCOE-03/2018

4.4 Fatores que contribuíram para o Déficit do Desempenho

Após entrada em operação dos parques do complexo Brisa em 2015, que teve seus equipamentos fornecidos pela empresa Alstom, em 2016 a empresa GE adquiriu a empresa Alstom, o que acarretou na descontinuidade da fabricação do modelo de aerogerador ECO122, comprometendo o fornecimento de peças de reposição para o mesmo, e consequentemente ocasionou longos períodos de indisponibilidade de alguns aerogeradores.

A responsabilidade pela operação e manutenção dos equipamentos é realizada por uma empresa terceirizada, através de contrato específico de O&M. Paralelamente a análise dos registros operativos de disponibilidade dos equipamentos, foram confrontados como os valores contidos nos contratos. Verificou-se que estes valores realizados de disponibilidade estavam muito aquém do contratado, indicando a necessidade de uma melhor gestão deste tipo de contrato pela área responsável.

Como resultado deste estudo, orientou-se aos gestores dos contratos de O&M à revisão contratual dos termos de disponibilidade dos equipamentos, visando concatenação dos cronogramas de manutenção e parada dos conjuntos dos aerogeradores, em relação à sazonalidade de períodos de condições de previsões de ventos e monitoração das medições extraídas do SMF. Reiterou-se a aplicação das devidas penalizações contidas nestes contratos, e se possível revisão destes valores compatibilizando com as possíveis penalizações pelo não

atendimento aos CCEARs. As lições aprendidas neste trabalho deverão ser aplicadas como modelo em futuros contratos de O&M a estes parques ou a novos parques que entraram em operação.

Desde o início da operação comercial das usinas não havia acompanhamento similar ao apresentado neste trabalho, para confronto entre valores medidos e estimados, sem referencial da real disponibilidade que cada equipamento deveria possuir e qual período de sazonalidade real de geração a um dado período.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apontou a importância do acompanhamento do desempenho das usinas de fontes eólicas, visto o aumento da competitividade desta fonte de energia no mercado de energia no Brasil. Buscando a melhor gestão da energia gerada em comparação a energia estimada, objetivo principal do estudo.

Em seu desenvolvimento foram vistos os métodos de coletas de dados, seu tratamento e aplicação tanto para acompanhamentos, como na falta de geração em efeito compensatório, como no estudo de caso do complexo São Bento ou aplicação de “contrad-OFF” por falha do sistema interligado, de responsabilidade da Operadora Nacional do Sistema - ONS. Desde o início das operações dos parques eólicos citados neste trabalho não havia um efetivo acompanhamento das diferenças nas energias geradas e estimadas, acarretando comprometimentos nos valores de energia contratados nos CCEERs e CCEs dos respectivos parques, e conseqüentemente perdas financeiras aos empreendedores, tanto relacionado a pagamentos de penalizações pelo não atendimento aos valores de contrato com referência aos valores quadriênios e a compra da energia exposta no MCP, ao valor do PLD.

Este estudo também auxiliou na gestão dos contratos de prestação de serviço em O&M dos respectivos parques. Devido a paralisação não programas de aerogeradores, para manutenções ou aplicação de retrofit, em substituição de diversas peças dos equipamentos em operação devido a descontinuidade da fabricação de determinados modelos de aerogeradores, acarretaram a redução da geração produzida. Com a revisão dos contratos de O&M e aplicação das devidas penalizações à empresa contratada pelas indisponibilidades, houve uma aderência aos valores de energia gerada em relação a energia estimada.

A metodologia de gestão da comparação dos dados de geração medidos pelo SMF versus valores de geração estimado pelos dados anemométricos, vistos neste trabalho, terão continuidade de sua aplicação nas usinas eólicas dos complexos Brisa e São Bento, de forma sistêmica. Para as novas usinas dos complexos Cutia e São Bento, também localizadas no estado do Rio Grande do Norte, e que tiveram início de suas operações no mês de setembro deste ano, esta metodologia já está sendo aplicada para não seja repetido os percalços vistos aos outros complexos.

6 Bibliografia:

CCEE - CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA. Regras de Comercialização, Contratação de Energia de Reserva, Versão 2015.1.0, Pesquisa realizada site CCEE em 05/07/2018.

COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO. NOTA TÉCNICA VCOE – 01/2018, Divisão de Contabilização Energética – Estimativa de Lucros Cessantes do Sinistro no Complexo São Bento Energia- Curitiba-PR, 28/02/2018.

COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO. Nota Técnica - VCOE 03/2018, Divisão de Contabilização Energética- Análise da Comercialização de Energia e Performance dos Parques do Complexo Eólicos Brisa Potiguar- Curitiba-PR, 25/05/2018.

Bitu, Roberto & BORN Paulo; Tarifa de Energia Elétrica; MM Editora; 1993

Caldas, Danilo Monteiro, Estudo do Potencial Eólico e Estimativa de Geração de Energia de um Projeto Eólico na Cidade do Rio de Janeiro Utilizando o WINDPRO e o WASP; Rio de Janeiro 03/2010.

Cardoso, Nuno Filipe Lima, Metodologia de Avaliação do Desempenho de Parques Eólicos, Dissertação de Mestrado em ENG. MECÂNICA, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Cidade do Porto -Portugal, 07/2011.

Silva, Alonso José Torres de Lima, Confiabilidade da Energia Eólica Para Atendimento à Cargas da Região Nordeste, Dissertação de Mestrado, Itajubá-MG, 03/2017.

Tolmasquim, Mauricio T; O Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro; Editora Sinergia; 2011.

Tolmasquim, Mauricio T, et al; Caracterização dos Recursos Eólicos e Resultados Preliminares de Sua Aplicação no Sistema Elétrico- Nota Técnica 15/13; Empresa de Pesquisa Energética -EPE/MME, Rio de Janeiro, 08/2013.
