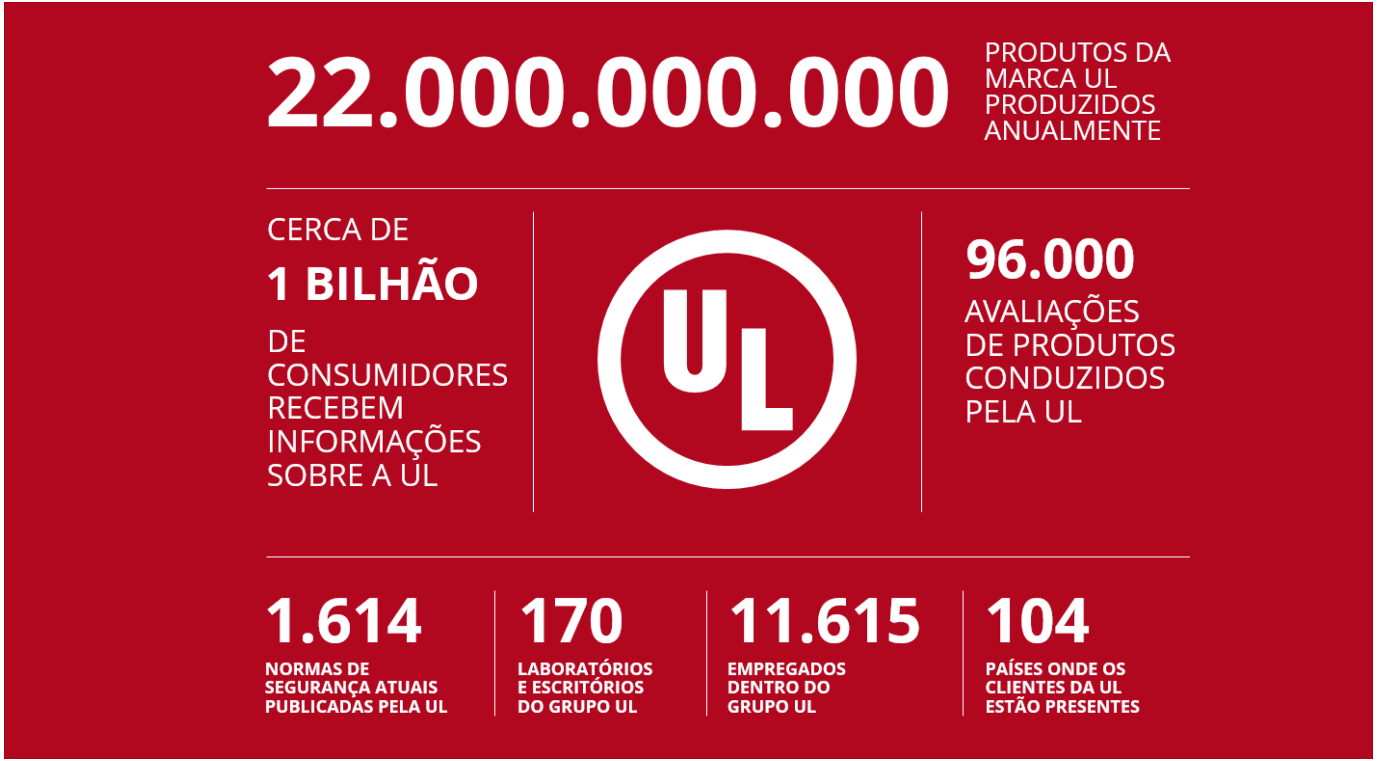
Análise Operacional de Parques Eólicos

Brazil Windpower 2018
conference & exhibition

Análise Operacional de Parques Eólicos

Alexandre Pereira e Claudia Puyals – UL

UL



22.000.000.000 PRODUTOS DA MARCA UL PRODUZIDOS ANUALMENTE

CERCA DE

1 BILHÃO

DE CONSUMIDORES RECEBEM INFORMAÇÕES SOBRE A UL

96.000

AVALIAÇÕES DE PRODUTOS CONDUZIDOS PELA UL

1.614

NORMAS DE SEGURANÇA ATUAIS PUBLICADAS PELA UL

170

LABORATÓRIOS E ESCRITÓRIOS DO GRUPO UL

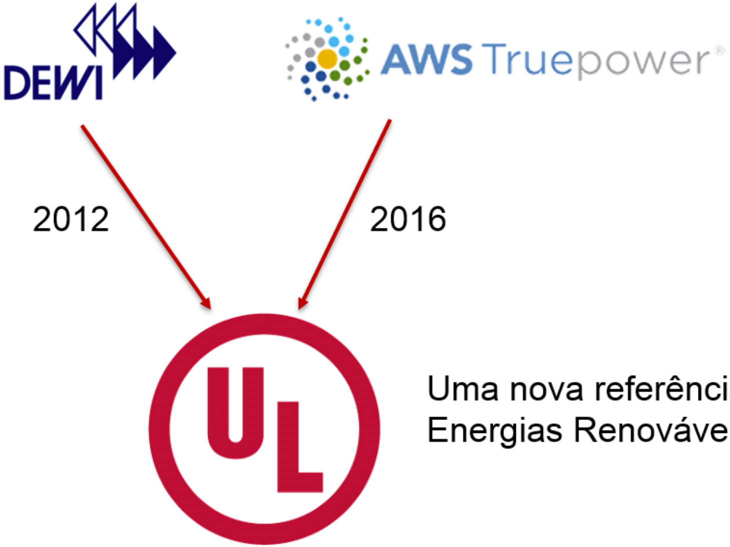
11.615

EMPREGADOS DENTRO DO GRUPO UL

104

PAÍSES ONDE OS CLIENTES DA UL ESTÃO PRESENTES

UL Renewables

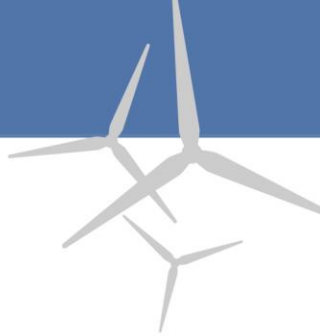


DEWI
AWS Truepower
UL

2012

2016

Uma nova referência mundial em Energias Renováveis



UL Renewables

UL atua em mais de
143+
países

55+
Anos de experiência combinada em energias renováveis

Engenharia independente para
450+
eólicos e solares desde 2012

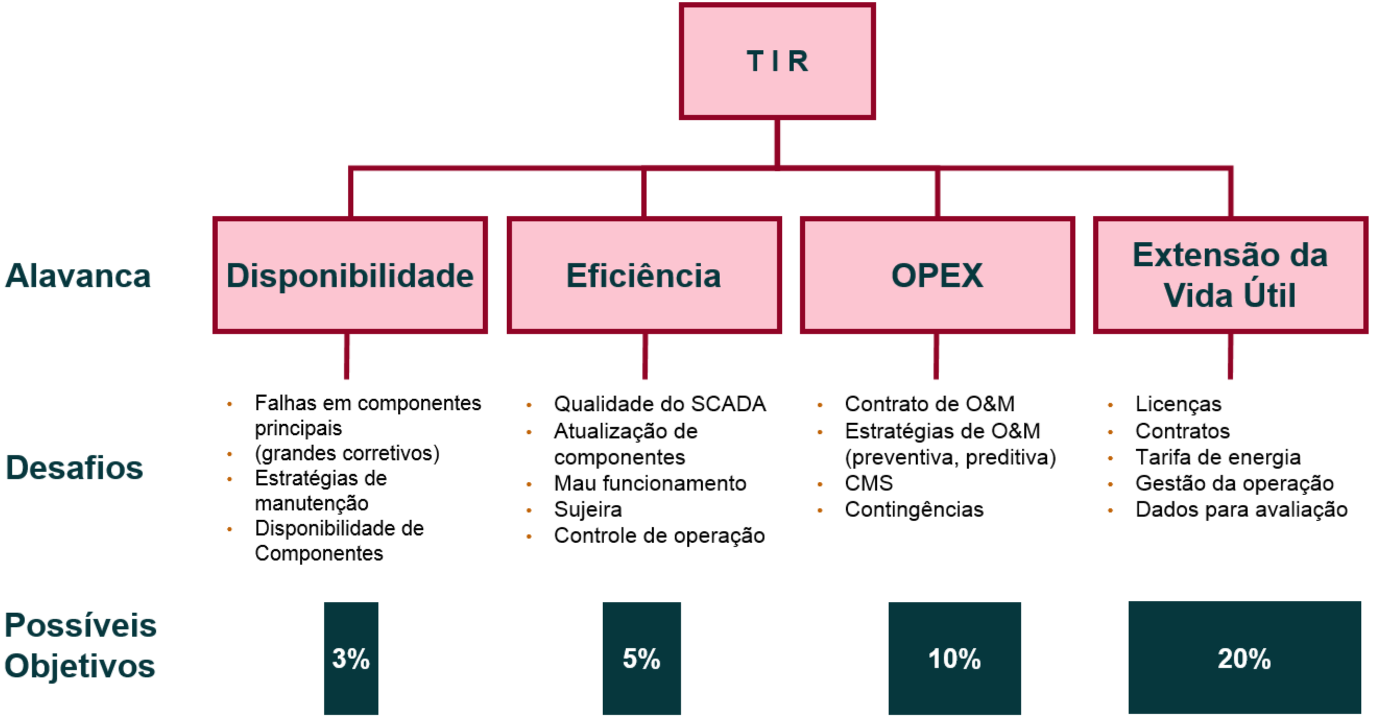
Consultores para
90%
dos principais desenvolvedores e proprietários de projetos eólicos e solares

500+ Especialistas em energia eólica e solar

200,000+ MW
Megawatts (MW) totais avaliados

Fornecedor de previsões de curto prazo para
60+ GW
de projetos de energia eólica e solar

Como Aumentar a TIR Durante a Operação

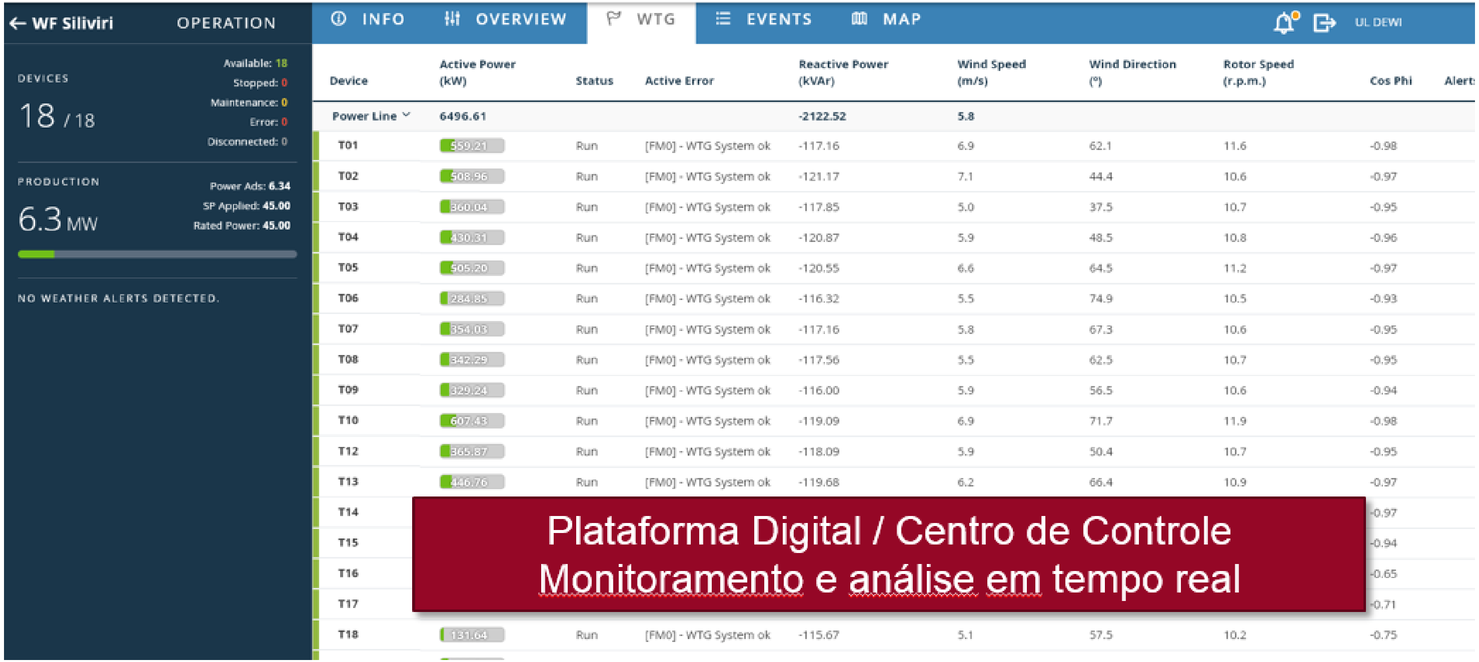


TIR

Alavanca	Disponibilidade	Eficiência	OPEX	Extensão da Vida Útil
Desafios	• Falhas em componentes principais • (grandes corretivos) • Estratégias de manutenção • Disponibilidade de Componentes	• Qualidade do SCADA • Atualização de componentes • Mau funcionamento • Sujeira • Controle de operação	• Contrato de O&M • Estratégias de O&M (preventiva, preditiva) • CMS • Contingências	• Licenças • Contratos • Tarifa de energia • Gestão da operação • Dados para avaliação
Possíveis Objetivos	3%	5%	10%	20%

Análise da Operação

Importante obter dados de boa qualidade de forma independente



DEVICES
18 / 18
Available: 18
Stopped: 0
Maintenance: 0
Error: 0
Disconnected: 0

PRODUCTION
6.3 MW
Power Ads: 6.34
SP Applied: 45.00
Rated Power: 45.00

NO WEATHER ALERTS DETECTED.

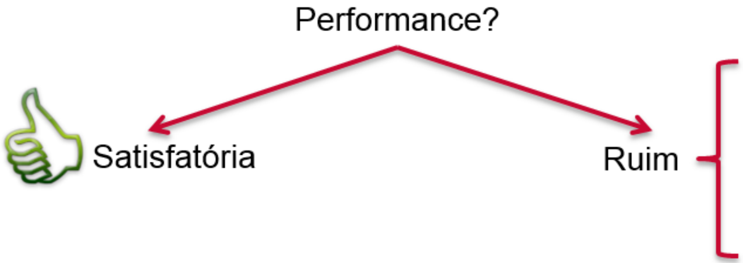
Device	Active Power (kW)	Status	Active Error	Reactive Power (kVAr)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)	Rotor Speed (r.p.m.)	Cos Phi	Alert
Power Line ˅	6496.61			-2122.52	5.8				
T01	559.21	Run	[FM0] - WTG System ok	-117.16	6.9	62.1	11.6	-0.98	
T02	508.96	Run	[FM0] - WTG System ok	-121.17	7.1	44.4	10.6	-0.97	
T03	360.04	Run	[FM0] - WTG System ok	-117.85	5.0	37.5	10.7	-0.95	
T04	430.31	Run	[FM0] - WTG System ok	-120.87	5.9	48.5	10.8	-0.96	
T05	505.20	Run	[FM0] - WTG System ok	-120.55	6.6	64.5	11.2	-0.97	
T06	284.85	Run	[FM0] - WTG System ok	-116.32	5.5	74.9	10.5	-0.93	
T07	354.03	Run	[FM0] - WTG System ok	-117.16	5.8	67.3	10.6	-0.95	
T08	342.29	Run	[FM0] - WTG System ok	-117.56	5.5	62.5	10.7	-0.95	
T09	329.24	Run	[FM0] - WTG System ok	-116.00	5.9	56.5	10.6	-0.94	
T10	607.43	Run	[FM0] - WTG System ok	-119.09	6.9	71.7	11.9	-0.98	
T12	365.87	Run	[FM0] - WTG System ok	-118.09	5.9	50.4	10.7	-0.95	
T13	446.76	Run	[FM0] - WTG System ok	-119.68	6.2	66.4	10.9	-0.97	
T14								-0.97	
T15								-0.94	
T16								-0.65	
T17								-0.71	
T18	131.64	Run	[FM0] - WTG System ok	-115.67	5.1	57.5	10.2	-0.75	

Plataforma Digital / Centro de Controle
Monitoramento e análise em tempo real

Análise da Operação

O que precisamos saber para analizar a operação da usina?

1 - Como está o funcionamento?



Performance?

Satisfatória

Ruim

Causas inevitáveis? (recurso)

Causas evitáveis? (disponbilidade, eficiência, manutenção, etc)

2 – Quais dados são realmente úteis?

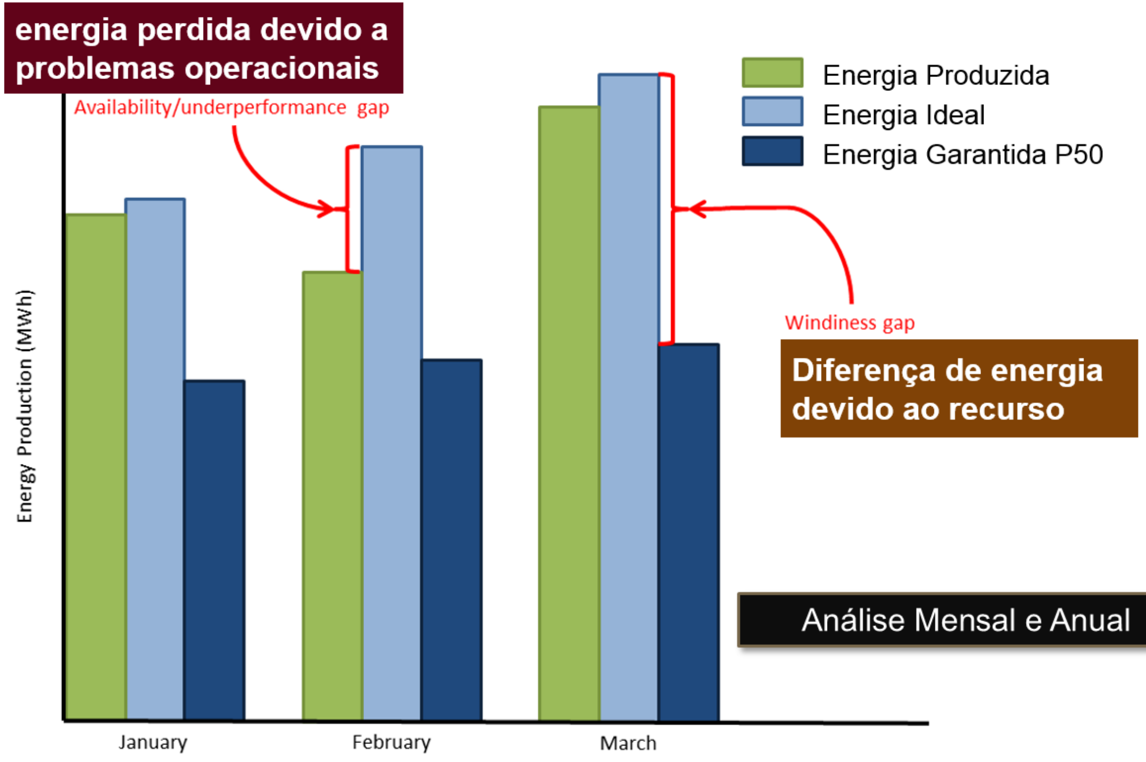
Análise de Produção de Energia

Energia Produzida: Medida através dos contadores de energia

Energia Garantida (P50): Energia esperada por certificação/garantia contratual

Energia “Ideal”: Estimada em função do potencial eólico medido

Análise de Produção de Energia



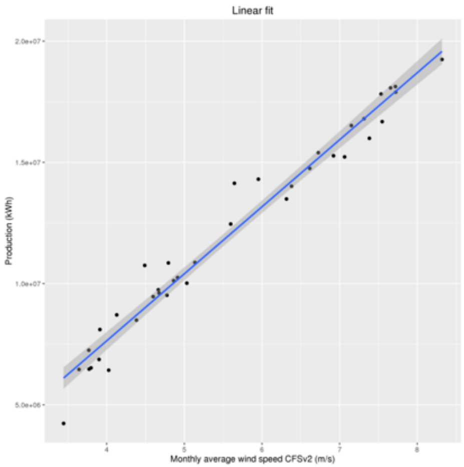
energia perdida devido a problemas operacionais

Diferença de energia devido ao recurso

Análise Mensal e Anual

Energia Ideal

Uma estimativa razoável da
produção mensal Ideal
pode ser obtida utilizando **modelos de re-análisis**



Produção mensal certificada

Regressão linear com velocidade de vento média de CFSv2

Produção mensal Ideal = ax+b

onde x = vel. vento de CFSv2

Cálculo da Energia Ideal

É muito importante calcular a Energia Ideal com precisão para poder separar os efeitos da variação do recurso eólico dos efeitos causados pela turbina eólica e pela operação do parque eólico.

Medições de vento com torres AMA
+ Modelagem do vento na área
+ Curva de Potência
+ Modelagem de esteiras
+ Estimativa de perdas operacionais

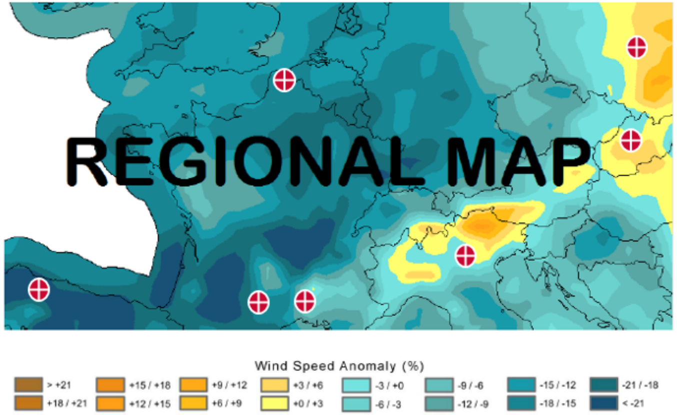
A torre anemométrica de referência do parque eólico é fundamental para realizar o cálculo da energía Ideal

Identificação de Anomalias do Recurso Eólico

A diferença entre a Energia Garantida (P50) e a Energia Ideal corresponde à variabilidade interanual do vento

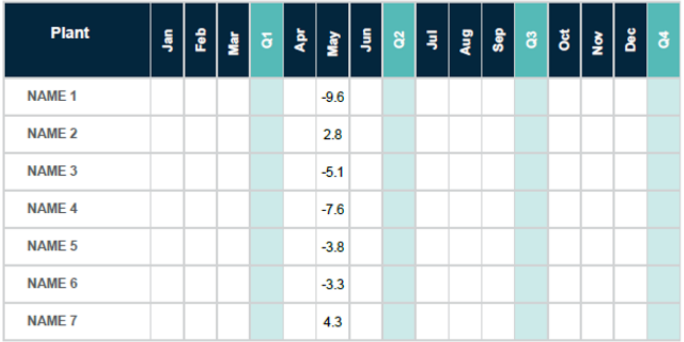
Regional Wind Anomaly Map

MONTH YEAR


REGIONAL MAP
Wind Speed Anomaly (%)
> +21
+15 / +18
+9 / +12
+3 / +6
-3 / +0
-9 / -6
-15 / -12
-21 / -18
+18 / +21
+12 / +15
+6 / +9
+0 / +3
-6 / -3
-12 / -9
-18 / -15
< -21

YEAR Wind Anomaly by Plant

MONTH YEAR



Plant	Jan	Feb	Mar	Q1	Apr	May	Jun	Q2	Jul	Aug	Sep	Q3	Oct	Nov	Dec	Q4
NAME 1						-9.6										
NAME 2						2.8										
NAME 3						-5.1										
NAME 4						-7.6										
NAME 5						-3.8										
NAME 6						-3.3										
NAME 7						4.3										

Relatórios mensais de anomalia do recurso eólico por parque eólico permitem comparar os valores medidos nas torres de referência com as observações meteorológicas

Avaliação da Operação

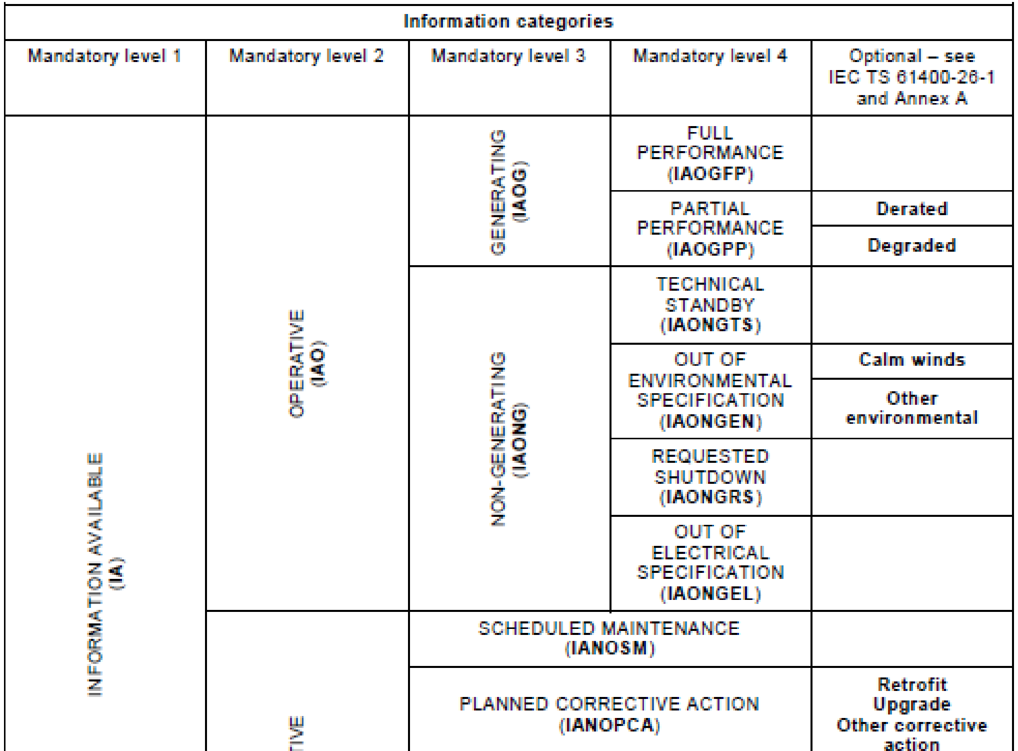
A diferença entre a Energia Ideal e a Energia Produzida corresponde a todos os fatores e eventos que afetaram o funcionamento dos geradores

É essencial atribuir identificações corretas de status para cada dado registrado no sistema SCADA pois assim é possível classificar e analizar as causas de paradas e funcionamento sub-ótimo

Necessita-se de ferramentas específicas para analisar dados SCADA de forma eficiente e rápida

Categorias e Níveis de Informação

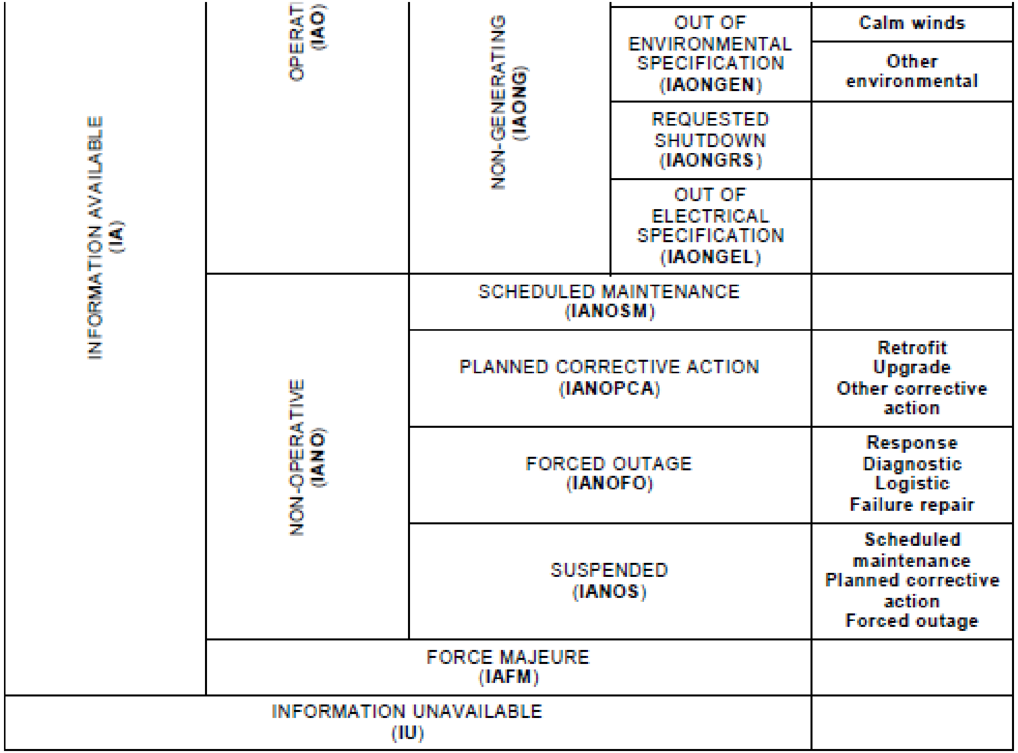
IEC61400-26



Information categories				
Mandatory level 1	Mandatory level 2	Mandatory level 3	Mandatory level 4	Optional – see IEC TS 61400-26-1 and Annex A
INFORMATION AVAILABLE (IA)	OPERATIVE (IAO)	GENERATING (IAOG)	FULL PERFORMANCE (IAOGFP)	
			PARTIAL PERFORMANCE (IAOGPP)	Derated
				Degraded
		NON-GENERATING (IAONG)	TECHNICAL STANDBY (IAONGTS)	
			OUT OF ENVIRONMENTAL SPECIFICATION (IAONGEN)	Calm winds
				Other environmental
			REQUESTED SHUTDOWN (IAONGRS)	
			OUT OF ELECTRICAL SPECIFICATION (IAONGEL)	
	TIVE	SCHEDULED MAINTENANCE (IANOSM)		
		PLANNED CORRECTIVE ACTION (IANOPCA)		Retrofit Upgrade Other corrective action

Categorias e Níveis de Informação

IEC61400-26



INFORMATION AVAILABLE (IA)	OPERAT (IAO)	NON-GENERATING (IAONG)	OUT OF ENVIRONMENTAL SPECIFICATION (IAONGEN)	Calm winds
				Other environmental
			REQUESTED SHUTDOWN (IAONGRS)	
			OUT OF ELECTRICAL SPECIFICATION (IAONGEL)	
	NON-OPERATIVE (IANO)	SCHEDULED MAINTENANCE (IANOSM)		
		PLANNED CORRECTIVE ACTION (IANOPCA)		Retrofit Upgrade Other corrective action
		FORCED OUTAGE (IANOFO)		Response Diagnostic Logistic Failure repair
		SUSPENDED (IANOS)		Scheduled maintenance Planned corrective action Forced outage
	FORCE MAJEURE (IAFM)			
INFORMATION UNAVAILABLE (IU)				

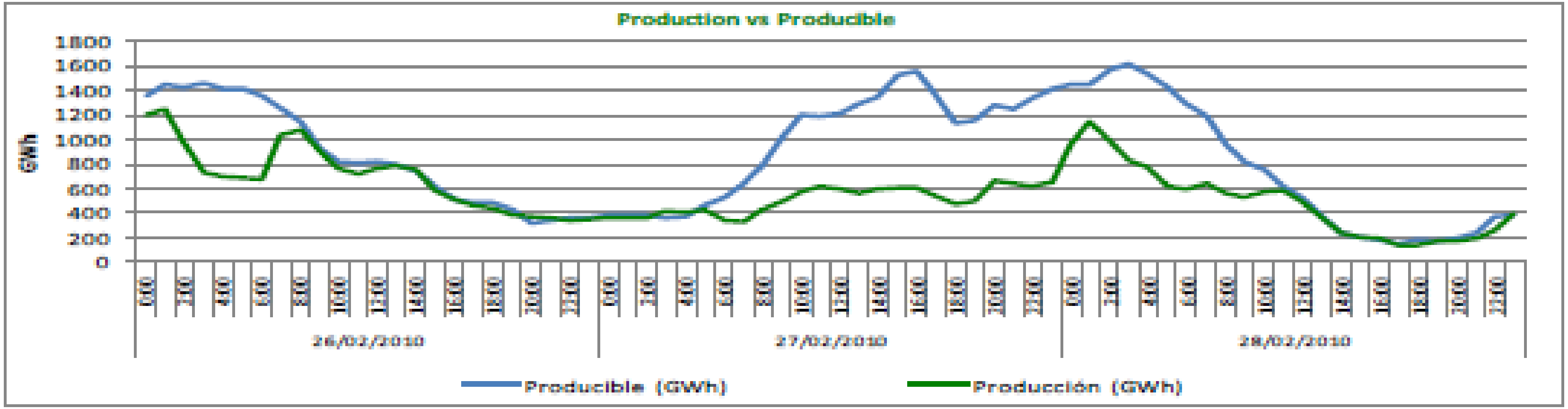
Disponibilidade

Disponibilidade temporal x Disponibilidade energética

- Qual nos interessa? Porque?
- Sabemos monitorar?
- Como são calculadas?

Disponibilidade

Disponibilidade temporal x Disponibilidade energética



Disponibilidade

CUIDADO!!
A DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA
NÃO GARANTE PRODUÇÃO

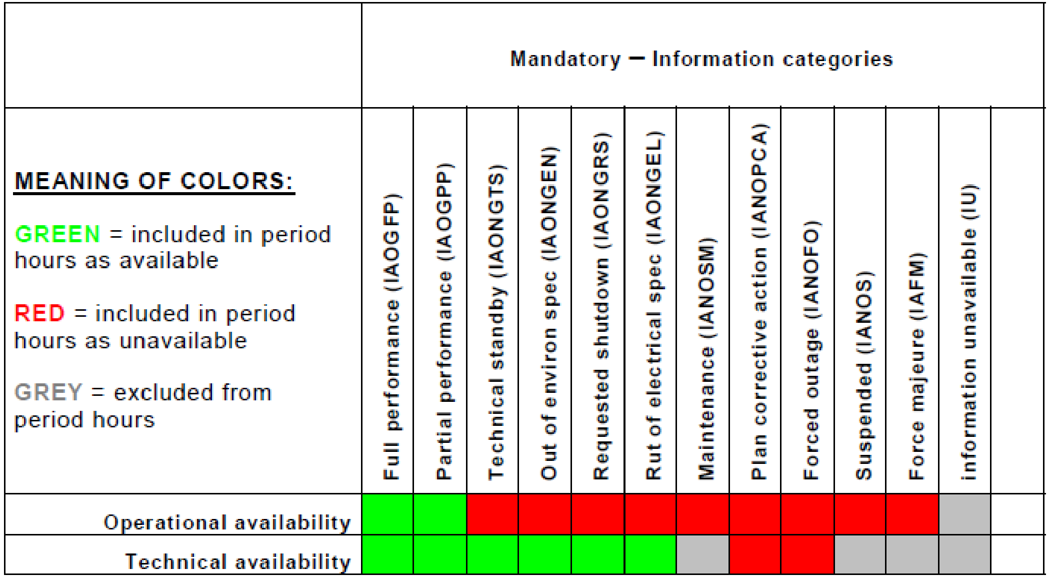
Considerações:

- Tipologia (temporal x energética)
- Definição e Cálculo (de disponibilidade) → **IEC61400-26**
- Garantias e Penalizações
- Bonus (sobre patamar mínimo)

Disponibilidade Temporal – Definição

$$\text{Availability} = 1 - \frac{\text{Unavailable time}}{\text{Available time} + \text{Unavailable time}}$$

IEC61400-26



	Mandatory – Information categories												
MEANING OF COLORS: GREEN = included in period hours as available RED = included in period hours as unavailable GREY = excluded from period hours	Full performance (IAOGFP)	Partial performance (IAOGPP)	Technical standby (IAONGTS)	Out of environ spec (IAONGEN)	Requested shutdown (IAONGRS)	Rut of electrical spec (IAONGEL)	Maintenance (IANOSM)	Plan corrective action (IANOPCA)	Forced outage (IANOFO)	Suspended (IANOS)	Force majeure (IAFM)	information unavailable (IU)	
Operational availability	🟩	🟩	🟥	🟥	🟥	🟥	🟥	🟥	🟥	🟥	🟥	▨	
Technical availability	🟩	🟩	🟩	🟩	🟩	🟩	▨	🟥	🟥	▨	▨	▨	

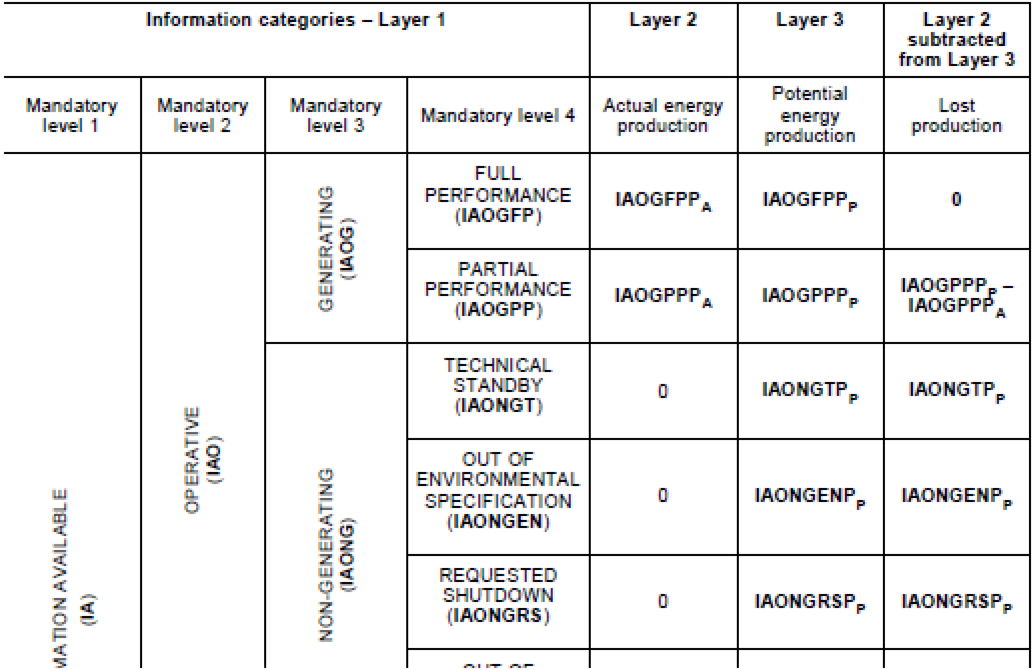
Disponibilidade Energética – Definição

IEC61400-26

$$\text{Production - based availability} = 1 - \frac{\text{Lost production}}{\text{Actual energy production} + \text{Lost production}}$$

Lost production = Potential energy production – Actual energy production

Disponibilidade Energética – Definição



Information categories – Layer 1				Layer 2	Layer 3	Layer 2 subtracted from Layer 3
Mandatory level 1	Mandatory level 2	Mandatory level 3	Mandatory level 4	Actual energy production	Potential energy production	Lost production
MATION AVAILABLE (IA)	OPERATIVE (IAO)	GENERATING (IAOG)	FULL PERFORMANCE (IAOGFP)	IAOGFPP_A	IAOGFPP_P	0
			PARTIAL PERFORMANCE (IAOGPP)	IAOGPPP_A	IAOGPPP_P	IAOGPPP_P – IAOGPPP_A
		NON-GENERATING (IAONG)	TECHNICAL STANDBY (IAONGT)	0	IAONGTP_P	IAONGTP_P
			OUT OF ENVIRONMENTAL SPECIFICATION (IAONGEN)	0	IAONGENP_P	IAONGENP_P
			REQUESTED SHUTDOWN (IAONGRS)	0	IAONGRSP_P	IAONGRSP_P

IEC61400-26

Perdas Energéticas

Identificação de Problemas

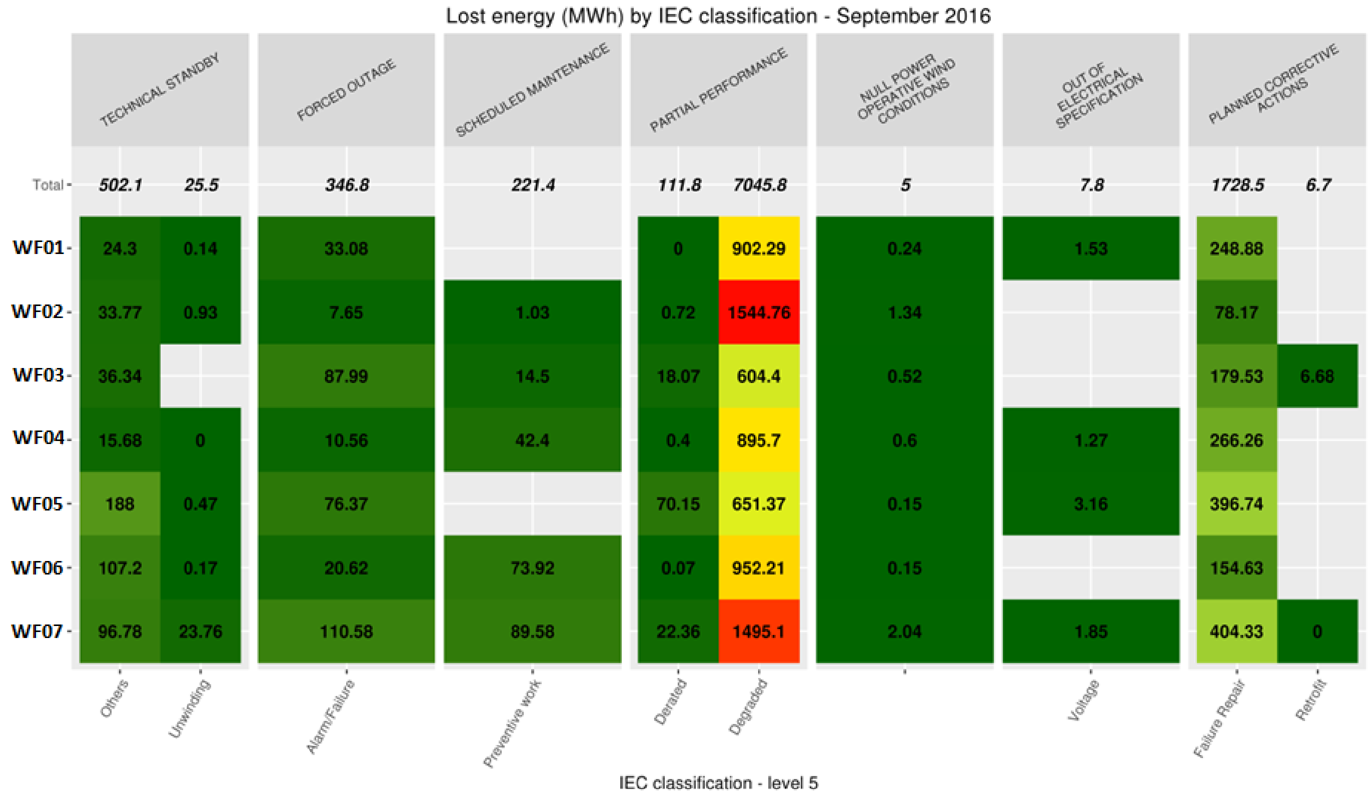
Análise de Produção

Perdas Energéticas

A identificação das perdas energéticas nos permite:

1. ter uma visão muito precisa de onde está o problema
2. qual deve ser o foco das ações para melhorar o funcionamento da usina

Perdas Energéticas



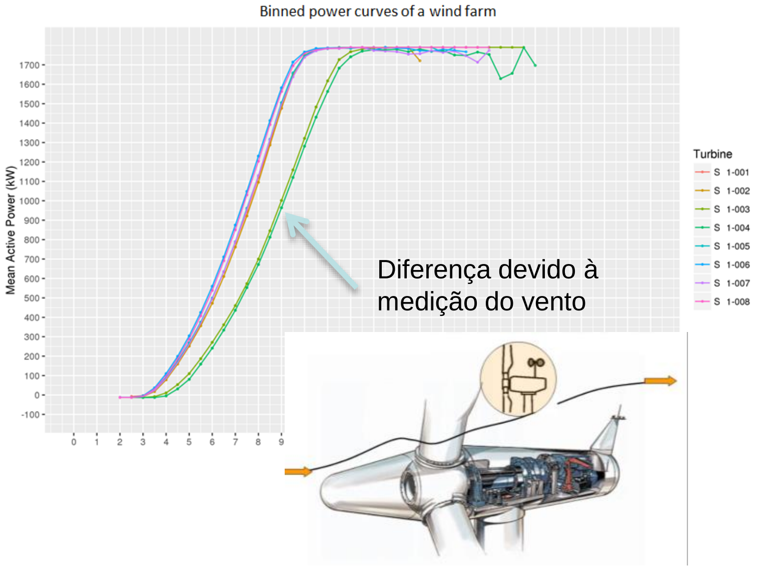
Lost energy (MWh) by IEC classification - September 2016

	TECHNICAL STANDBY		FORCED OUTAGE	SCHEDULED MAINTENANCE	PARTIAL PERFORMANCE		NULL POWER OPERATIVE WIND CONDITIONS	OUT OF ELECTRICAL SPECIFICATION	PLANNED CORRECTIVE ACTIONS	
	Others	Unwinding	Alarm/Failure	Preventive work	Derated	Degraded		Voltage	Failure Repair	Retrofit
Total	*502.1*	*25.5*	*346.8*	*221.4*	*111.8*	*7045.8*	*5*	*7.8*	*1728.5*	*6.7*
WF01	24.3	0.14	33.08		0	902.29	0.24	1.53	248.88	
WF02	33.77	0.93	7.65	1.03	0.72	1544.76	1.34		78.17	
WF03	36.34		87.99	14.5	18.07	604.4	0.52		179.53	6.68
WF04	15.68	0	10.56	42.4	0.4	895.7	0.6	1.27	266.26	
WF05	188	0.47	76.37		70.15	651.37	0.15	3.16	396.74	
WF06	107.2	0.17	20.62	73.92	0.07	952.21	0.15		154.63	
WF07	96.78	23.76	110.58	89.58	22.36	1495.1	2.04	1.85	404.33	0

IEC classification - level 5

Como Calcular as Perdas Energéticas

É necessário usar um **bom método de cálculo das perdas energéticas** para obter valores precisos e coerentes



Diferença devido à medição do vento

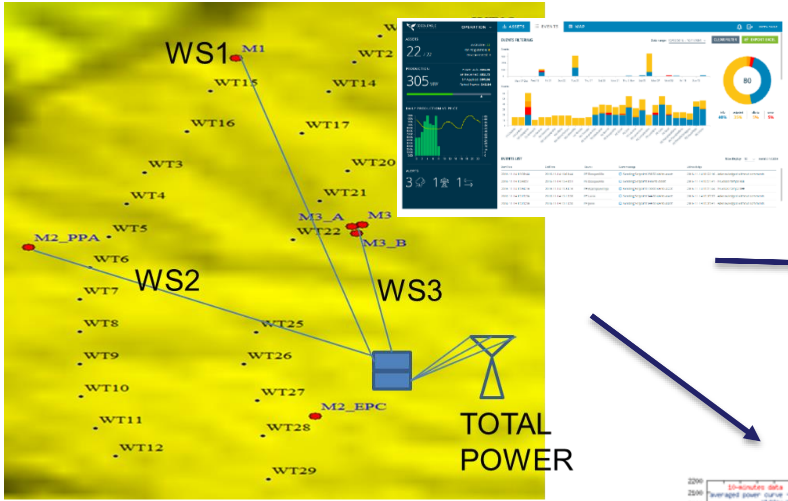
CUIDADO

Usar a velocidade de vento da nacele e a curva teórica do fabricante ou a curva garantida contratual pode levar a erros grandes

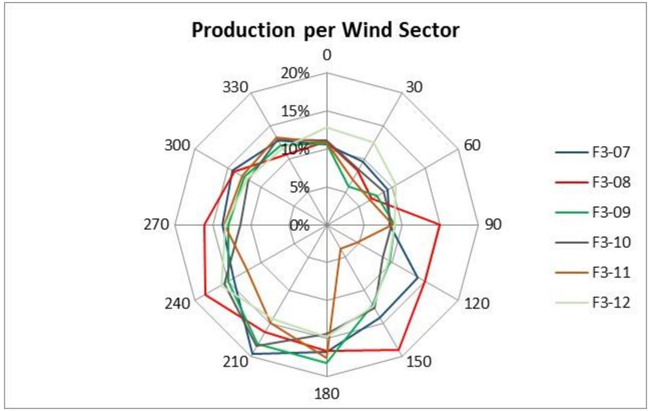
Como Calcular as Perdas Energéticas

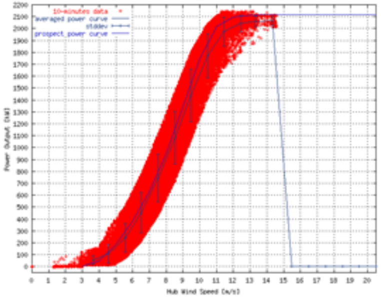
A **IEC 61400-26-2** descreve várias metodologias para o cálculo das perdas energéticas em um parque eólico sem a utilização da velocidade de vento da nacele e sem a curva teórica

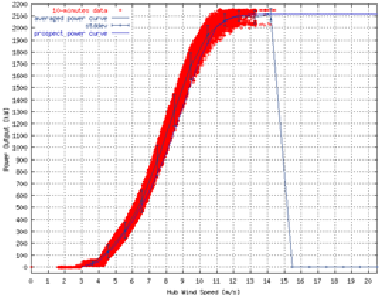
Avaliação da Curva de Potência


WS1
M1
WT2
WT15
WT14
WT16
WT17
WT3
WT20
WT4
WT21
M3_A
M3
WT5
WT22
M2_PPA
M3_B
WT6
WS2
WS3
WT7
WT8
WT25
WT9
WT26
WT10
WT27
M2_EPC
WT11
WT28
WT12
WT29
TOTAL
POWER
22
305
80

Dados Operacionais







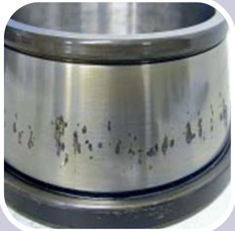
Identificação de Problemas

Situações de baixo desempenho

Falhas, sujeira ou gelo nas pás

Desalinhamento do Sistema de yaw

Desalinhamento das pás

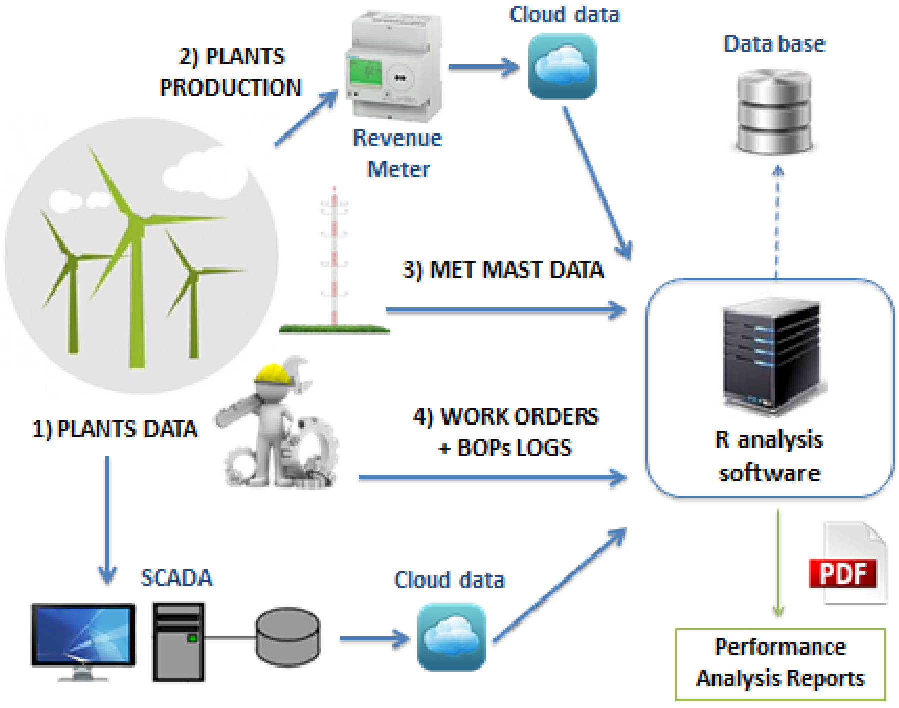


Falhas nos rolamentos

Falhas nos sistemas de refrigeração

Dados SCADA Utilizados na Análise

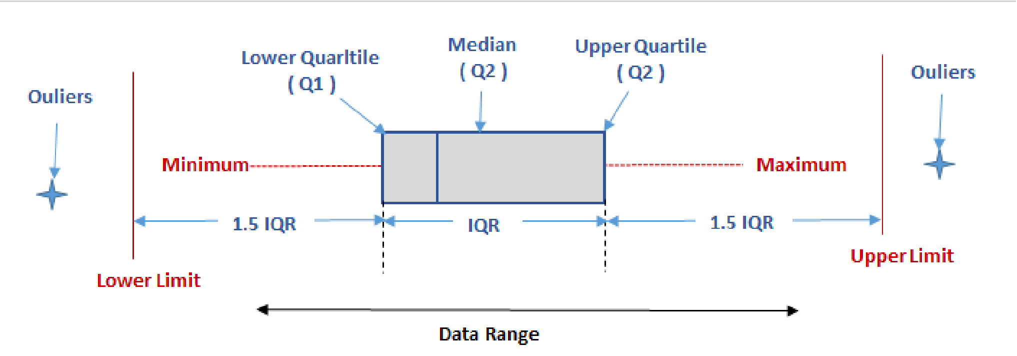
Environmental	Electrical characteristics	Part temperatures	Control variables
wind speed	active power output	gearbox bearing	pitch angle
wind direction	power factor	gearbox lubricant oil	yaw angle
ambient temperature	reactive power	generator winding	rotor shaft speed
nacelle temperature	generator voltages	generator bearing	generator speed
	generator phase current	main bearing	fan speed / status
	voltage frequency	rotor shaft	cooling pump status
		generator shaft	number of yaw movements
		generator slip ring	set pitch angle / deviation
		inverter phase	number of starts / stops
		converter cooling water	operational status code
		transformer phase	
		hub controller	
		top controller	
		converter controller	
		grid busbar	


2) PLANTS PRODUCTION
Revenue Meter
Cloud data
Data base
3) MET MAST DATA
1) PLANTS DATA
4) WORK ORDERS + BOPs LOGS
R analysis software
SCADA
Cloud data
PDF
Performance Analysis Reports

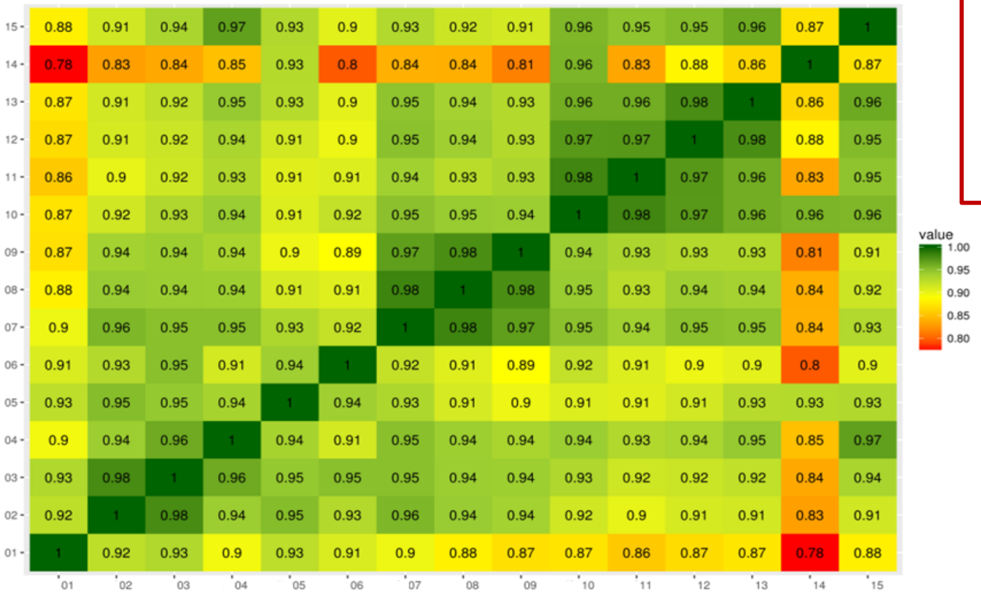
Identificação de Problemas

O **metodo Tukey** é usado para a identificação de **outliers.**

O objetivo é identificar aquelas turbinas que têm um comportamento diferente das turbinas vezinhas.


Ouliers
Lower Quarltile
(Q1)
Median
(Q2)
Upper Quartile
(Q2)
Ouliers
Minimum
Maximum
1.5 IQR
IQR
1.5 IQR
Lower Limit
Upper Limit
Data Range

Identificação de Problemas



Wiind direction correlation coeficient by turbine

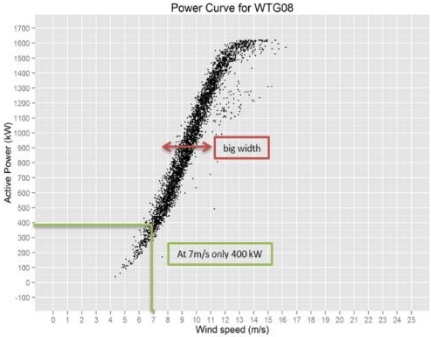
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
15	0.88	0.91	0.94	0.97	0.93	0.9	0.93	0.92	0.91	0.96	0.95	0.95	0.96	0.87	1
14	0.78	0.83	0.84	0.85	0.93	0.8	0.84	0.84	0.81	0.96	0.83	0.88	0.86	1	0.87
13	0.87	0.91	0.92	0.95	0.93	0.9	0.95	0.94	0.93	0.96	0.96	0.98	1	0.86	0.96
12	0.87	0.91	0.92	0.94	0.91	0.9	0.95	0.94	0.93	0.97	0.97	1	0.98	0.88	0.95
11	0.86	0.9	0.92	0.93	0.91	0.91	0.94	0.93	0.93	0.98	1	0.97	0.96	0.83	0.95
10	0.87	0.92	0.93	0.94	0.91	0.92	0.95	0.95	0.94	1	0.98	0.97	0.96	0.96	0.96
09	0.87	0.94	0.94	0.94	0.9	0.89	0.97	0.98	1	0.94	0.93	0.93	0.93	0.81	0.91
08	0.88	0.94	0.94	0.94	0.91	0.91	0.98	1	0.98	0.95	0.93	0.94	0.94	0.84	0.92
07	0.9	0.96	0.95	0.95	0.93	0.92	1	0.98	0.97	0.95	0.94	0.95	0.95	0.84	0.93
06	0.91	0.93	0.95	0.91	0.94	1	0.92	0.91	0.89	0.92	0.91	0.9	0.9	0.8	0.9
05	0.93	0.95	0.95	0.94	1	0.94	0.93	0.91	0.9	0.91	0.91	0.91	0.93	0.93	0.93
04	0.9	0.94	0.96	1	0.94	0.91	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.94	0.95	0.85	0.97
03	0.93	0.98	1	0.96	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.84	0.94
02	0.92	1	0.98	0.94	0.95	0.93	0.96	0.94	0.94	0.92	0.9	0.91	0.91	0.83	0.91
01	1	0.92	0.93	0.9	0.93	0.91	0.9	0.88	0.87	0.87	0.86	0.87	0.87	0.78	0.88

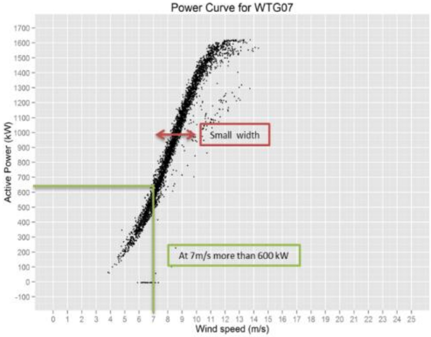
A análise de correlações entre as turbinas do parque eólico permitem **identificar problemas de produção de energia**

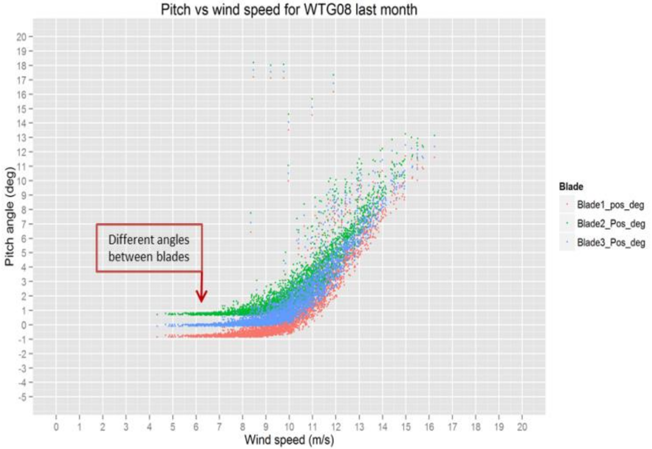
A maioria das correções são de baixo custo e podem causar uma grande melhora no rendimento

Identificação de Problemas

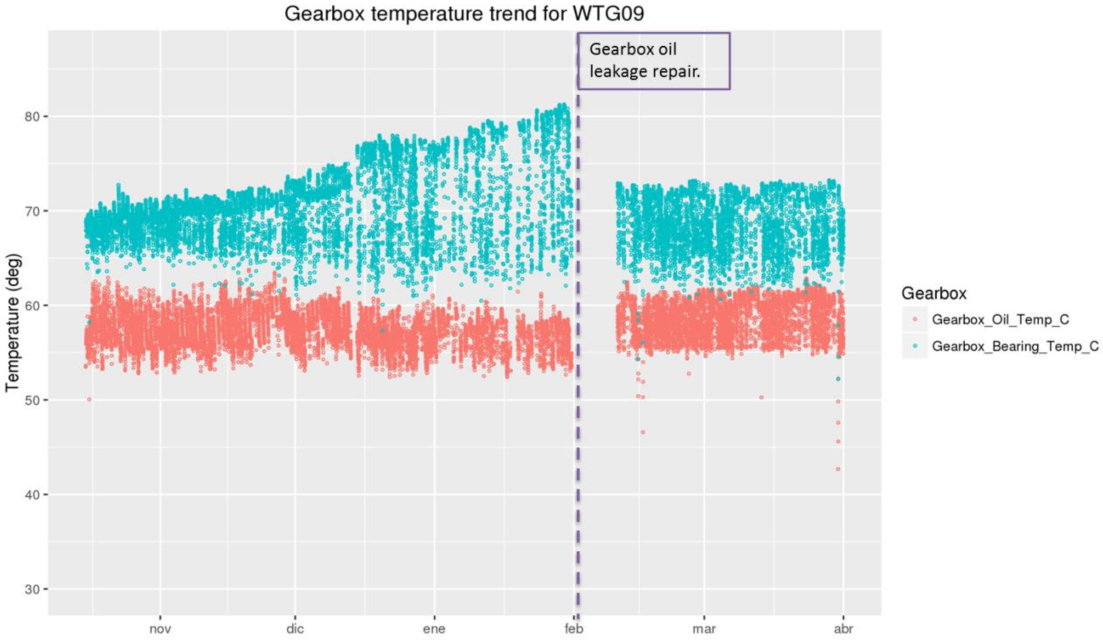
	Wind speed (m/s) - average power (kW)		
Turbine	**3.5-4.5**	**7.5-8.5**	**10.5-11.5**
WTG01	76.30	742.92	1436.26
WTG02	118.10	915.61	1503.56
WTG03	108.57	818.66	1503.50
WTG04		598.32	1366.06
WTG05	141.94	902.98	1493.91
WTG06	137.84	851.44	1464.84
WTG07	91.10	836.87	1462.45
WTG08	38.73	590.87	1288.74
WTG09	83.31	649.29	1337.98
WTG10	118.52	841.93	1464.83
WTG11	106.93	884.14	1484.98
WTG12	119.51	773.00	1321.77
WTG13		729.99	1421.11
WTG14		712.58	1414.37
WTG15	95.72	765.94	1422.35
WTG16	96.02	783.70	1431.23
WTG17	106.36	752.40	1415.24
WTG18	83.55	680.57	1355.81
WTG19	107.03	822.71	1441.72
WTG20	105.71	802.59	1432.49



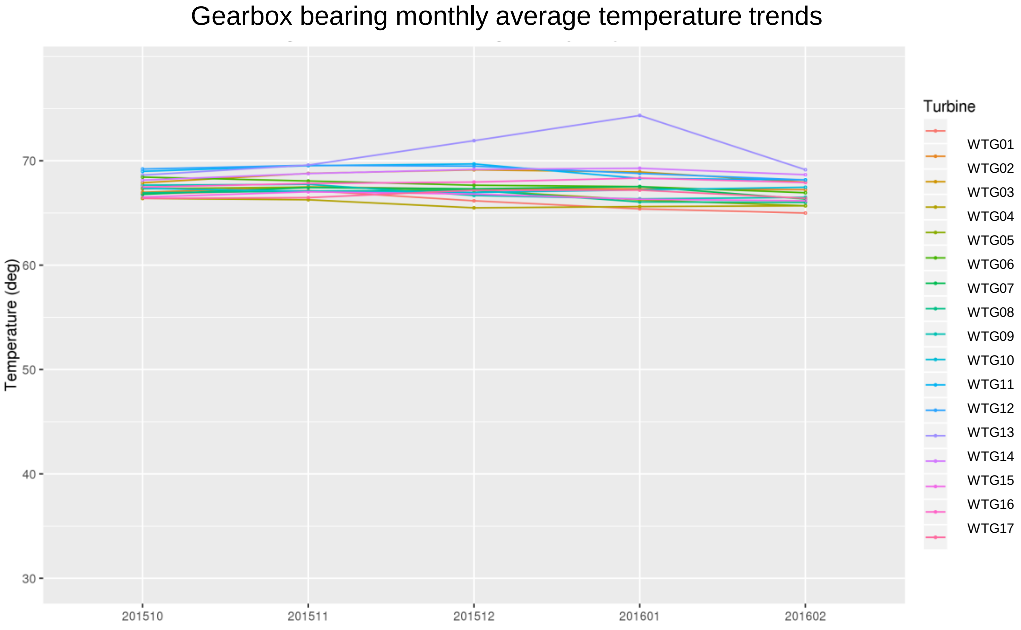




Identificação de Problemas



Identificação de Problemas

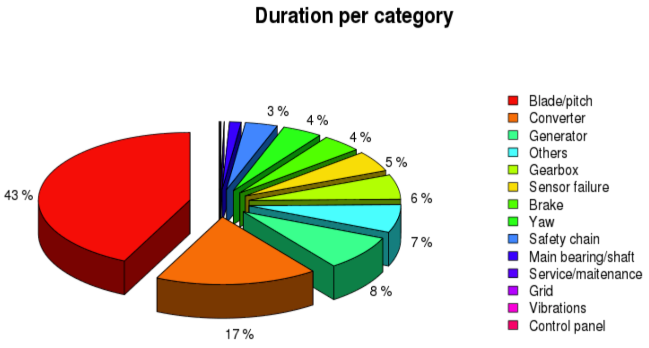

Gearbox bearing monthly average temperature trends

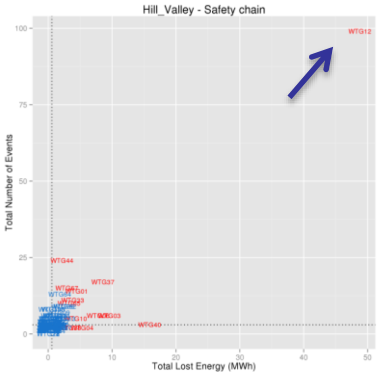
Análise de Alarmes e Paradas

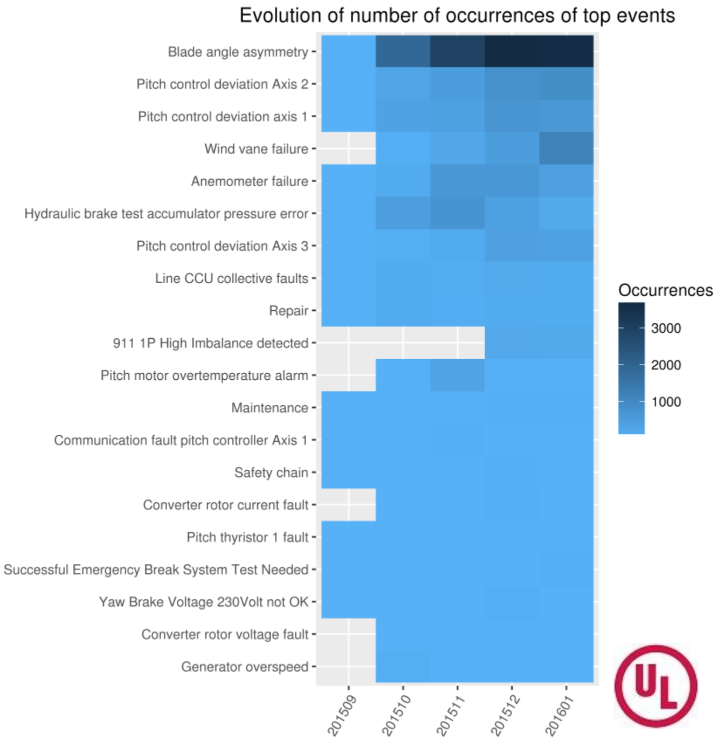
Problemas identificáveis

- Defeitos de fabricação
- O&M inadequados
- Condições de operação inapropriadas

- Detecção de turbinas com funcionamento anormal comparado ao esperado para o projeto ou em relação ao grupo de turbinas


Duration per category


Hill_Valley - Safety chain

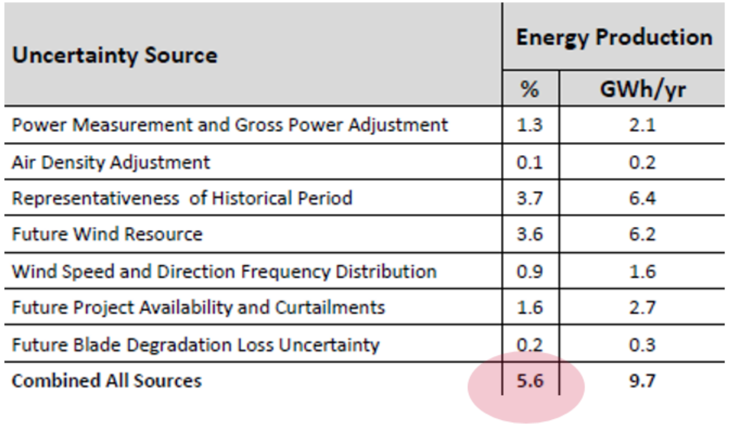

Evolution of number of occurrences of top events

Estimativas de Produção P50/P90

Incertezas da estimativa de produção de energia de longo prazo **pré-construção**

- Erro de medição do recurso eólico (anemometria)
- Erro do recurso eólico histórico (MCP)
- Erro do recurso eólico futuro
- Erro do ajuste do perfil vertical do vento
- Erro da modelagem do fluxo de vento
- Erro da curva de potência
- Erro da modelagem de esteiras
- Erro das perdas de desempenho consideradas
- Erro do fator de indisponibilidade

Incerteza da estimativa com **dados operacionais**



Uncertainty Source	Energy Production	
	%	GWh/yr
Power Measurement and Gross Power Adjustment	1.3	2.1
Air Density Adjustment	0.1	0.2
Representativeness of Historical Period	3.7	6.4
Future Wind Resource	3.6	6.2
Wind Speed and Direction Frequency Distribution	0.9	1.6
Future Project Availability and Curtailments	1.6	2.7
Future Blade Degradation Loss Uncertainty	0.2	0.3
Combined All Sources	5.6	9.7

Redução de incerteza da ordem de 50%

Resulta em P90 mais próximo do P50

Conclusões

- A revisão minuciosa da produção de energia é necessária para explorar o potencial energético de forma otimizada.
- É importante contar com uma ferramenta SCADA própria que registre, formate e normalize os dados para análises operacionais.
- Categorizar e calcular as perdas energéticas ajuda a determinar ações para melhorar o desempenho do parque eólico e requerer eventuais compensações devidas contratualmente.
- A disponibilidade, seja temporal ou energética, não garante a produção. Sua definição e aplicação não é direta requerendo monitoramento e inspeções para melhor avaliar o impacto da operação no modelo financeiro.

Soluções UL para Análise Operacional

- Event Log Analysis Report – ELAR
- Performance Diagnostic and Optimizatin Report – PDOR
- Monthly Performance Analysis Report – MPR
- Operational Energy Assessment Report – OEPR
- UL digital tool for SCADA data analysis
- Wind turbine inspection

Apresentadora

Claudia Puyals
UL
Claudia.Puyals@ul.com