

ENERGIAS RENOVÁVEIS: A SUSTENTABILIDADE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO-PISF

ENERGIA RENOVÁVEL NO PISF

HISTÓRICO DAS CONTRATAÇÕES DO ESTUDO

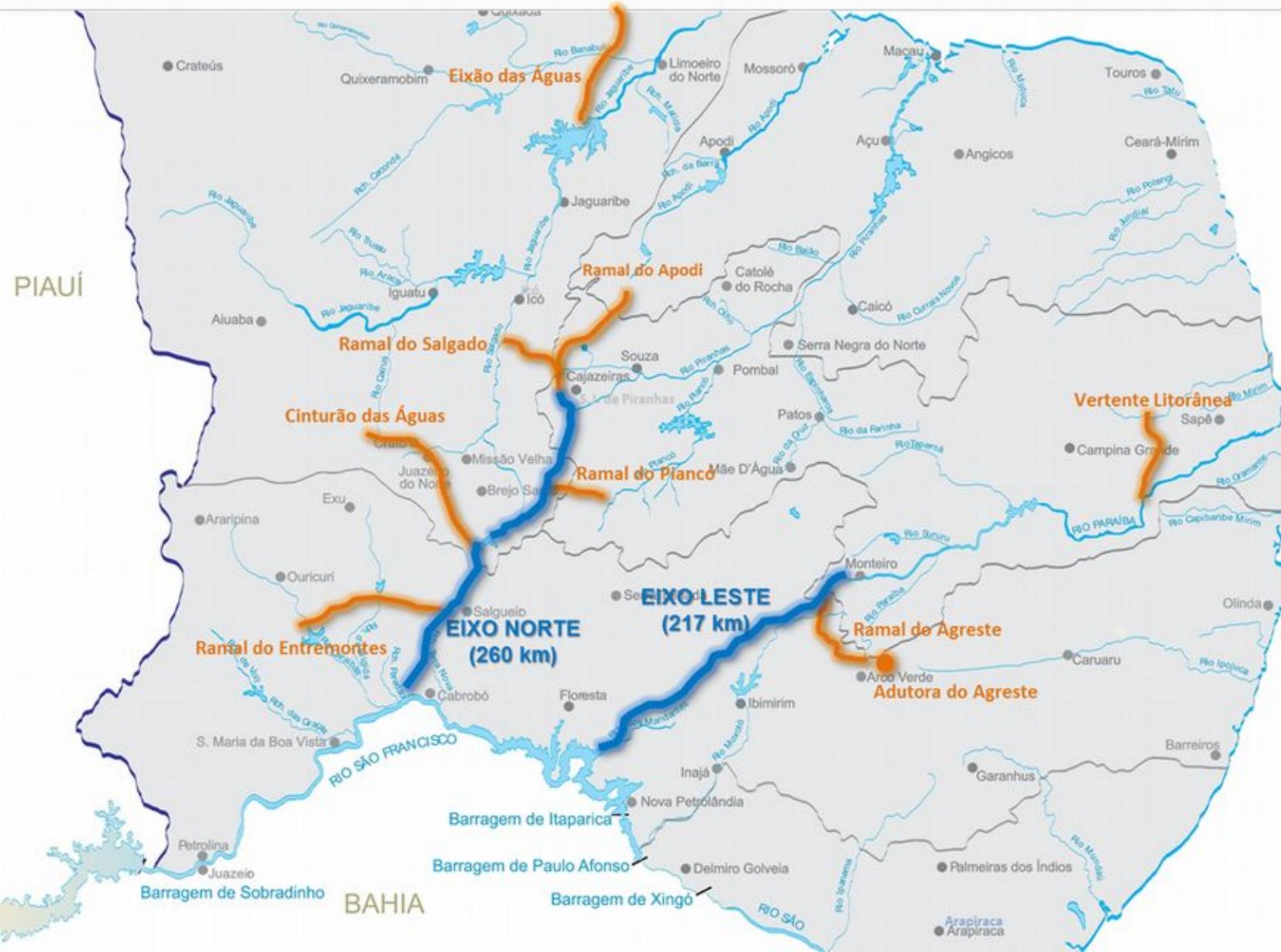
MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



- **2015: Termo de Referência** pelo Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR.
- **2016: Novo Termo de Referência** do MDR com apoio do IICA e do Banco Mundial.
- **2018: EVTEA** para o Uso de Fonte de Energia Renovável no PISF. Estudo contratado com coordenação do MDR, IICA e financiado pelo MDR e Banco Mundial através do programa Interáguas: Consultoria Projconsult/Elementos/Camp.
- **2018-2019:** Proposição de **estratégias regulatórias** para definição dos custos de Energia Elétrica que comporão a tarifa do serviço de adução de água bruta. Consultor: Manoel Eduardo Miranda Negrisolo. Contratado pelo IICA com coordenação da ANA.
- **2018-2020:** Serviços de **modelagem** de empreendimento com vistas à prestação do serviço de adução de água bruta. Consultoria contratada pelo BNDES: Engecorps/Moysés&Pires/Ceres.

ENERGIA RENOVÁVEL NO PISF

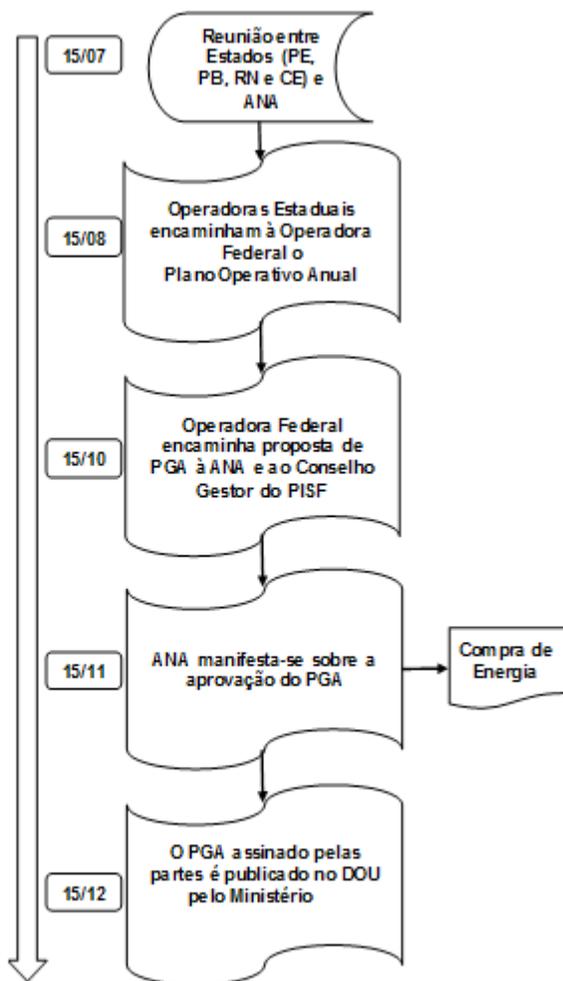
MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



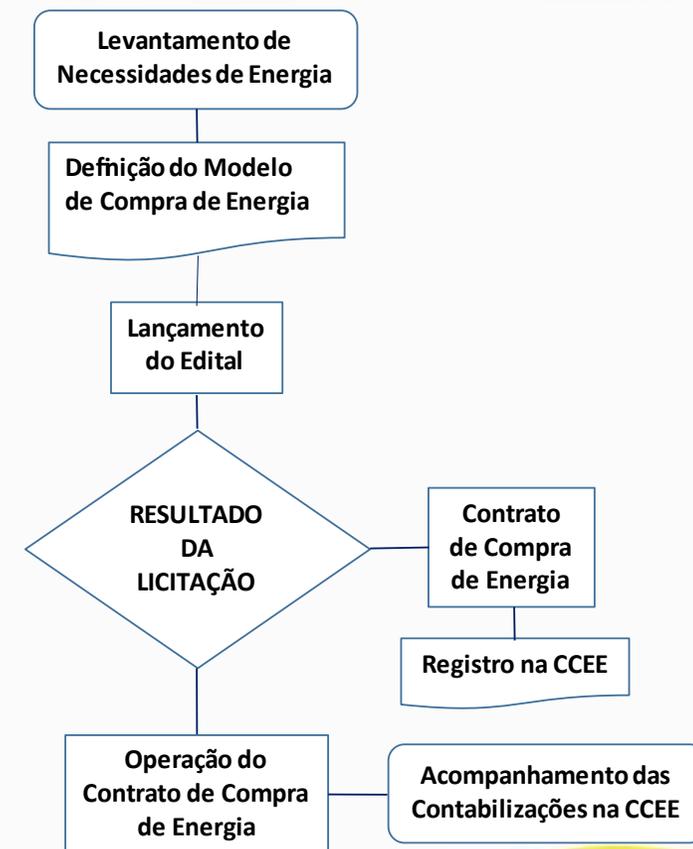
- 17 reservatórios - Eixo Norte
- 13 reservatórios - Eixo Leste
- 267 km de LT em 230 kV
- 3 subestações de energia no Eixo Norte
- 6 subestações de energia no Eixo Leste

ENERGIA RENOVÁVEL NO PISF

DEMANDA DO PROJETO



- 1ª Etapa: 105,02 MW ou 92,26 MWm
- Etapa final do Eixo Leste e Norte: 317,68 MW
- Vazão máxima atual do Eixo Leste = 14 m³/s
- Vazão máxima atual do Eixo Norte = 24,75 m³/s
- Outorga firme – 26,4 m³/s (10 m³/s L, 16,4 m³/s N)
- Demanda considerando a outorga firme: aprox. **72 MWm** ou **632.588,60 MWh/ano**

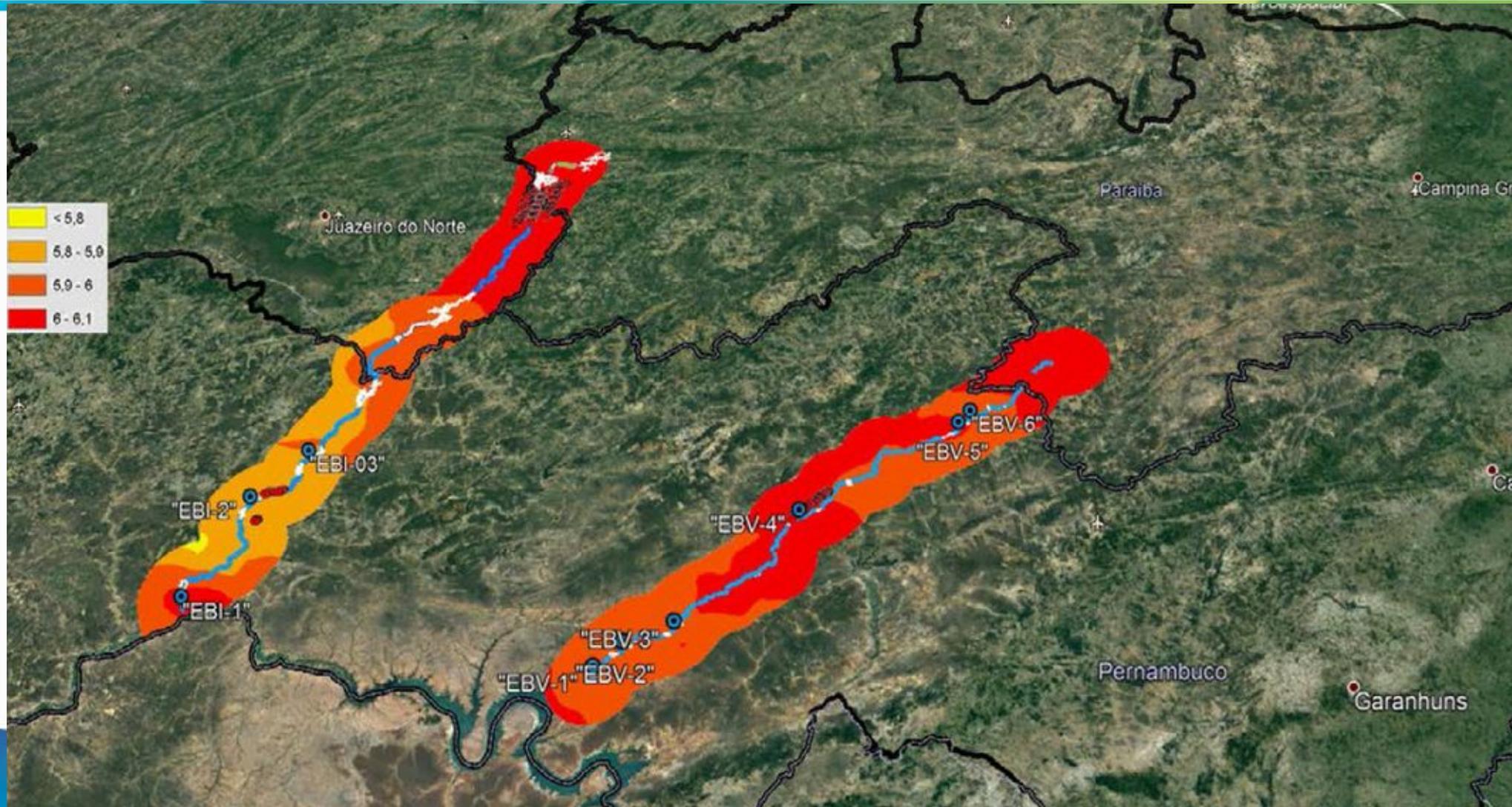


Fluxograma para compra de energia

ENERGIA SOLAR NO PISF

POTENCIAL SOLAR

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Mapa de radiação solar global horizontal (GHI) em kWh/m² dia, para a área do PISF com 12 km de raio dos canais, mostrando o alto potencial na área para o projeto.

Fonte: Proiconsult/Elementos/Camp. RP02.

ENERGIA SOLAR NO PISF

DEMANDA DO PROJETO

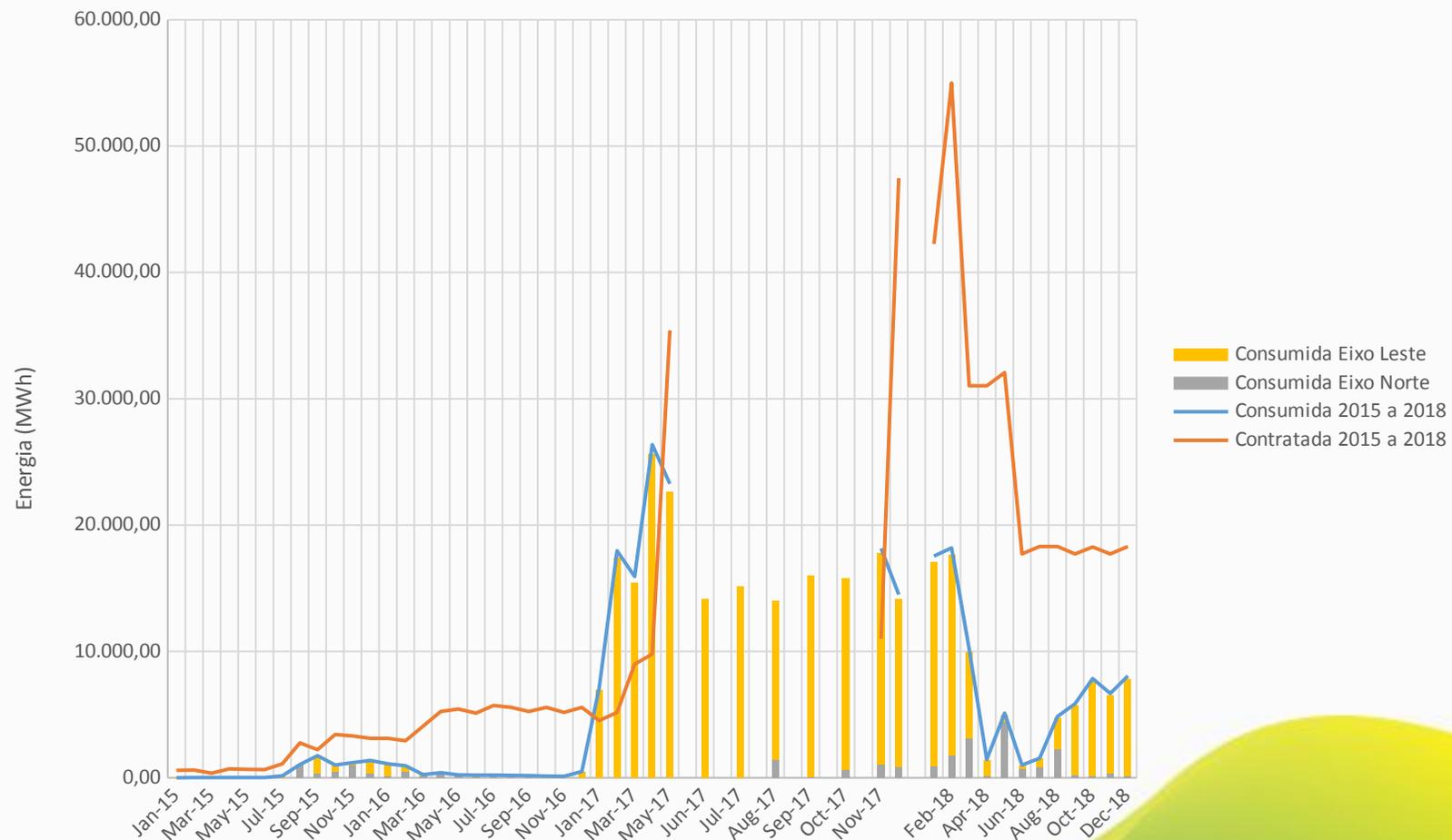
Ano	Energia Consumida (MWh)	Média do Valor Contratado (R\$/MWh) sem ICMS	Valor Total Pago com ICMS (R\$) - Consumo CCEE
2015	6.696,98	286,80	5.806.385,73
2016	4.506,96	197,00	15.456.541,20
2017	200.122,24	310,02	107.841.210,11
2018	88.386,99	378,00	160.114.500,00

Média do preço da energia em 2019 = R\$ 300,81/MWh

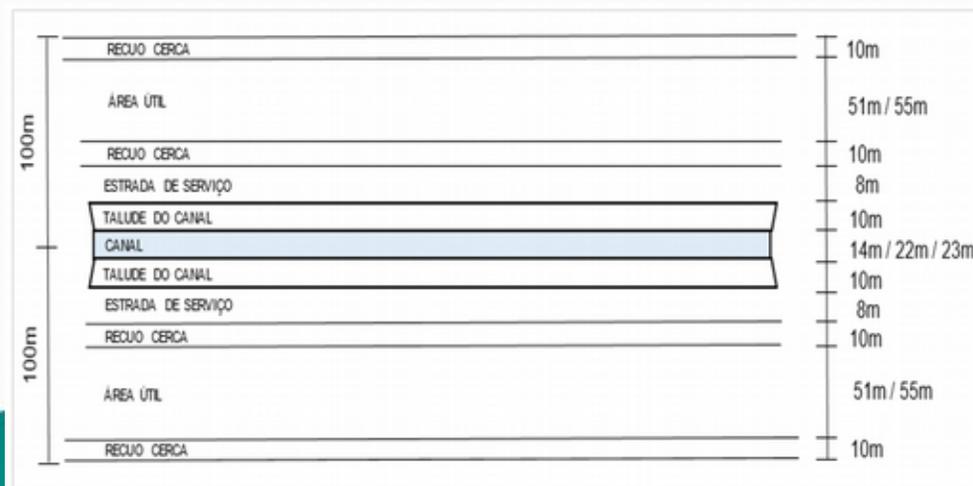
A CODEVASF, operadora do PISF é agente da CCEE.

Eixo Leste inaugurado em março de 2017.

Demanda de Energia no PISF



ENERGIA SOLAR NO PISF



ENERGIA SOLAR NO PISF

Estimativa de Perdas Hídricas por Evaporação nos Reservatórios do PISF: Eixo Norte

Reservatório do PISF	Área inundada (km ²)	Vazão evaporada L/s (media anual)
Tucutu	2,54	234
Terra Nova	0,53	49
Serra do Livramento	1,47	136
Mangueira	1,30	119
Negreiros	2,00	184
Milagres	7,96	572
Jati	1,18	84
Atalho	6,23	447
Porcos	7,62	547
Canabrava	0,76	54
Cipó	0,55	40
Boi	1,52	109
Morros	0,51	35
Boa Vista	11,83	802
Caiçara	0,42	28
Eng. Ávidos	5,77	389
São Gonçalo	1,62	110
Total	53,81	3939

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL), Estimativa de perdas hídricas no PISF: Eixo Norte.⁹

Estimativa de Perdas Hídricas por Evaporação nos Reservatórios do PISF: Eixo Leste

Reservatório do PISF	Área inundada (km ²)	Vazão evaporada L/s (media anual)
Areias	1,67	73
Braúnas	1,31	58
Mandantes	0,95	42
Salgueiro	0,83	37
Muquém	0,77	34
Cacimba Nova	0,88	39
Bagres	0,76	38
Copiti	1,44	72
Moxotó	0,52	31
Barreiro	0,75	45
Campos	0,83	59
Barro Branco	0,08	6
Total	10,79	534

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL), Estimativa de perdas hídricas no PISF: Eixo Leste.¹⁰

17% de Perda Hídrica nos reservatórios, ou seja, de 26,4 m³/s, cerca de 4,5 m³/s são perdidos nos reservatórios.

ENERGIA SOLAR NO PISF

Potencial instalável em cada reservatório do Eixo Leste e a distância à rede do SIN, às subestações mais próximas e à rede de distribuição (CELPE). Fonte: RP03.

EIXO LESTE		POTENCIAL (MW)		DISTÂNCIA AO PONTO DE CONEXÃO (KM)						
RESERVATÓRIOS	EB PRÓXIMA	25%	50%	LT 230 kV PISF	LT 500 kV LUIZ GONZAGA - MILAGRES	LT 230 kV (3) ***	SE FLORESTA (230kV)	SE IBIMIRIM (69kV)	SE CUSTÓDIA (69kV)	SE SERTÂNIA (69kV)
Areias	EBV-2	33,0	67,0	0,30		2,30	2,90			
Braúnas	EBV-2	26,0	53,0	0,10	8,40	8,40				
Mandantes	EBV-3	19,0	38,0	0,50	18,20	18,20				
Salgueiro	EBV-3	19,0	38,0	0,10	23,60	23,60				
Muquém	EBV-4	15,0	31,0	3,60				28,90		
Cacimba Nova	EBV-4	17,0	35,0	0,70				26,30		
Bagres	EBV-4	16,0	32,0	0,37				23,40		
Copiti	EBV-4	30,0	61,0	1,3					19,00	
Moxotó	EBV-5	10,0	20,0	0,10					23,40	19,00
Barreiro	EBV-6	15,0	30,0	0,10						11,00
Campos	EBV-6	18,0	36,0	0,75						7,10
Barro Branco	EBV-6	1,0	3,0	0,50						5,90
TOTAL (MW)		219,0	444,0							

ENERGIA SOLAR NO PISF

EIXO NORTE		POTENCIAL (MW)		DISTÂNCIA AO PONTO DE CONEXÃO (EM KM)												
RESERVATÓRIOS	EB PRÓXIMAS	25%	50%	LT 230KV – PISF	LT 69 KV CELPE	SE BRÍGIDA (69 KV)	SE CABROBÓ (69KV)	SE MONTE SANTO (69KV)	LD 138KV CABROBÓ-SALGUEIRO	SE SALGUEIRO (138KV)	SE SERRITA (138 KV)	LT 500 KV MILAGRES II – QN II (2021)	LT 500 KV SL GONZAGA- MILAGRES	LT 230KV BOM NOME-MILAGRES	LT 230 BOM NOME – COREMAS	LT 500 KV – AÇU III 0 MILAGRES II
Terra Nova	EBI-2	47,0	94,0	0,50				15,0								
Serra do Livramento	EBI-2	31,0	63,0	0,10				14,5								
Mangueira	EBI-3	65,0	131,0	0,50					6,5							
Negreiros	EBI-3	50,0	100,0	0,10	0,15				4,0	4,0						
Milagres	EBI-3	228,0	457,0	15,0	15,0				15,0		22,0	24,6				
Jati	EBI-3	26,0	53,0									11,0				
Atalho	EBI-3	113,0	227,0									11,0	9,0	9,0		
Porcos	EBI-3	164,0	329,0									17,0	6,3	6,3		
Cana Brava		17,0	34,0									20,0	3,0	3,0		
Cipó		13,0	26,0										1,2	1,2		
Boi		36,0	73,0										0,15	0,15		
Morros		19,0	38,0												5,2	20,0
Boa Vista		340,0	680,0												7,5	4,5
Caiçara		10,0	21,0												15,1	5,3
TOTAL		1.231,0	2.470,0													

Potencial instalável em cada reservatório do Eixo Norte e a distância à rede do SIN, às subestações mais próximas e à rede de distribuição (CELPE).
Fonte: RP03.

ENERGIA SOLAR NO PISF

Resumo do Potencial de Energia Solar Instalável no PISF. Fonte: Projconsult/Elementos/Camp - RP03

PISF – ENERGIA SOLAR		<u>TOPO DO CANAL</u>		<u>ENTORNO DO CANAL</u>		<u>RESERVATÓRIOS</u>			
						25%		50%	
EIXO NORTE	Potencial Instalável (MW)	185,00		848,0		1.231,0		2.470,0	
	Máx de energia (MWh/ano)	397.182,85		1.969.212,10		2.733.291,64		5.007.674,92	
EIXO LESTE	Potencial Instalável (MWh/ano)	149,98		912,0		219,0		444,0	
	Máx energia (MWh/ano)	332,897,16		2.038.241,80		529.148,50		1.061.168,20	
PISF POTENCIAL TOTAL	Potencial Instalável (MW)	334,98		1.760,0		1.450,0		2.914,0	
	Máx de energia (MWh/ano)	730.080,01		4.007.453,90		3.262.440,14		6.068.843,12	
Etapa do PISF		I	II	I	II	I	II	I	II
% DE ENERGIA GERADO C/ RESPEITO A DEMANDA DO PISF		90,33%	29,79%	495,83%	163,50%	<u>403,65%</u>	133,11%	750,88%	247,60%

ENERGIA SOLAR NO PISF

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Alternativas de geração e escoamento no Eixo Leste. Fonte: Projconsult/Elementos/Camp - RP04

<i>Alternativa de Geração - eixo Leste</i>	<i>Opção de Escoamento</i>	<i>Pot. Instalável (MW)</i>	<i>PAE (MWh/ano)</i>	<i>F.C. (%)</i>	<i>Investimento em Geração (R\$)</i>	<i>Investimento em Conexão (R\$)</i>	<i>Custos Geração/ MW Instalado</i>	<i>Custos Conexão / MW instalado</i>	<i>LCOE R\$/MWh</i>
UFV2: Entorno dos Canais	Trafos de 69/230 kV	56	153.510	31,29%	191.382.240	5.036.931	3.417.540	89.945	141
UFV2: Entorno dos Canais	Trafos de 6,9/230 kV	62	167.431	30,83%	211.887.480	5.036.931	3.417.540	81.241	143
UFFV3: Reservatórios - Flutuantes	Trafos de 69/230 kV	34	82.825	27,81%	107.708.600	9.809.574	3.167.900	288.517	157
UFV2: Entorno dos Canais	Rede de 230 kV	251	678.594	30,86%	857.802.540	117.732.004	3.417.540	469.052	157
UFFV3: Reservatórios - Flutuantes	Trafos de 6,9/230 kV	42	100.802	27,40%	133.051.800	19.260.128	3.167.900	458.574	166
UFFV3: Reservatórios - Flutuantes	Rede de 230 kV	196	474.674	27,65%	620.908.400	104.120.511	3.167.900	531.227	168
UFV1: Sobre os Canais	Rede de 230 kV	134	311.571	26,54%	586.243.153	3.472.243	4.374.949	25.912	204
UFV1: Sobre os Canais	Trafos de 6,9/230 kV	28	62.749	25,58%	122.498.569	8.366.467	4.374.949	298.802	224
UFV1: Sobre os Canais	Trafos de 69/230 kV	56	128.441	26,18%	244.997.138	26.269.191	4.374.949	469.093	226

CAPM = 10,61% a.a.

ENERGIA SOLAR NO PISF

ESTUDO DO POTENCIAL

- **Potencial escalonável de mais de 3,5 GW**
- Possibilidade de um projeto mais rápido para suprir a demanda atual de energia do PISF e **exportar até 500MW**
- **Vantagens para a União:**
 - Gerar renda para o PISF e reduzir custos de operação para os Estados
 - Redução das perdas por evaporação
 - Ocupação da área trará mais segurança e conservação do bem público
 - Oportunidade de trabalho para pessoas da região
- **Vantagens para o empreendedor:**
 - Alto potencial energético solar
 - Pontos de conexão próximos (dentro e fora do PISF)
 - Áreas desapropriadas com situação socioambiental desembaraçada
 - Licença Ambiental simplificada, extensão da L.O.

ENERGIA SOLAR NO PISF

Exemplo de planta no EL

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



- Topo do canal → 9 MW
- Entorno do canal → 72 MW
- UFFV 50% Areias → 67 MW
- UFFV 50% Braúnas → 53MW

- Cerca de 14km.

- Total = 201MW

Trecho entre Res. Itaparica e o Reservatório Braúnas com potencial para 201 MW de solar.
A SE Floresta II seria uma solução de escoamento. Fonte: Projconsult/Elementos/Camp - RP03

ENERGIA SOLAR NO PISF



- UFFV 50% Mangueira = 131 MW
- UFFV 50% Negreiros = 100 MW
- Topo + entorno dos canais (4.000m) = 30 MW

- Total = 261 MW

ENERGIA SOLAR NO PISF

Cenários considerados para avaliação da viabilidade econômica

- 1º cenário: geração de energia para atender exclusivamente às necessidades do PISF na Fase 1 (105,02 MW) e Fase 2 (317,68 MW);
- 2º cenário: considerou-se apenas o potencial escoável pelas linhas de transmissão existentes (230 kV, 69 kV e 6,9 kV);
- 3º cenário: considerou-se o potencial total de geração de energia solar em toda extensão dos canais (sobre e no entorno) e nos reservatórios em ambos os eixos.

Área	Custo de Geração (R\$ '000/MW)	Custo de Geração (R\$ '000/MW) *	Tecnologia
Entorno dos Canais	4.326	3.418	Estrutura com seguidor de 1 eixo
Sobre os Canais	5.538	4.375	Estrutura fixa
Reservatórios	4.010	3.168	Tecnologia de flutuantes

* Possível ganho de escala de 21%.

ENERGIA SOLAR NO PISF

Eixo Leste: Sumário dos resultados dos cenários estudados

Cenário	Detalhe	MW Instalável	F.C. %	CAPEX Geração (R\$ mil/MW)	CAPEX Conexão (R\$ mil/MW)	CAPEX (R\$ milhões)	LCOE (R\$/MWh)	VPL (R\$ milhões)	TIR (% a.a.)	Payback desconta do (anos)
1	Necessidade PISF Fase I - Canais	199	25,5	3.550	181	744	183	57	16%	11
1	Necessidade PISF Fase II - Canais	399	25,5	3.550	262	1.519	187	90	15%	13
1	Necessidade PISF Fase I - Reservatórios	161	27,6	3.168	461	584	165	101	22%	7
1	Necessidade PISF Fase II - Reservatórios	352	28,9	3.262	467	1.313	162	255	23%	7
2	Potencial Escoável	302	30,6	3.389	299	1.113	151	295	27%	6
3	Potencial de Geração Total	1.281	25,9	3.487	701	5.365	201	-	10%	21

Referência do preço da energia = R\$ 215 / MWh

Custo da energia contratada pelo PISF em 2018 (sem ICMS) = R\$ 378 / MWh

Taxa de juros real do BNB = 2,22% a.a.

Eixo Norte: Sumário dos resultados dos cenários estudados

Cenário	Detalhe	MW instalável	F.C. %	CAPEX Geração (R\$ mil/MW)	CAPEX Conexão (R\$ mil/MW)	CAPEX (R\$ milhões)	LCOE (R\$/MWh)	VPL (R\$ milhões)	TIR (% a.a.)	Payback desconta do (anos)
1	Necessidade PISF Fase I - Canais	208	26,1	3.591	211	791	182	64	16%	11
1	Necessidade PISF Fase II - Canais	832	26,1	3.591	419	3.335	205	132	13%	14
1	Necessidade PISF Fase I - Reservatórios	170	28,0	3.168	423	611	161	121	23%	7
1	Necessidade PISF Fase II - Reservatórios	719	26,5	3.168	558	2.678	176	303	18%	9
2	Potencial Escoável	305	30,6	3.418	266	1.124	151	301	27%	5
3	Potencial de Geração Total	2.390	26,4	3.405	665	9.729	191	377	13,17%	14

ENERGIA SOLAR NO PISF

Modelos de Gestão (EVTEA)

- Concessão de bem público
- Decreto nº 2.003/96: Produtor Independente de Energia Elétrica - **PIE** e Autoprodutor de Energia Elétrica - **APE**
- Foram avaliadas 5 alternativas:
 1. Autoprodução
 2. Leilão para Exploração do Potencial de Energia Escoável do PISF
 3. Leilão para Exploração Integral do Potencial do PISF
 4. SPE com a CHESF Utilizando Recursos do FEN
 5. Participação em Leilão de Energia Nova
- Alternativa 1 - **Autoprodução**
 - Eixo Norte: Jati (8,2 MW) + Solar (96,4 MW)
 - Eixo Leste: Solar (117 MW)
 - Preço da energia para o PISF de R\$ 152/MWh
 - CAPM 10,61% a.a. TIR de 31,74%. Investimento de R\$ 814 milhões

ENERGIA SOLAR NO PISF

Modelos de Gestão (EVTEA)

▪ Alternativa 2 - Leilão para Exploração do Potencial de Energia Escoável do PISF

- Eixo Norte: 300 MW sendo 35,93 MWmed para este Eixo
- Eixo Leste: 300 MW sendo 36,29 MWmed para este Eixo
- Participação do PISF na SPE de cerca de 22,3% → Redução de 6,87% no F.C. → 365.348 MWh/ano (PISF)
- Preço da energia para o investidor de R\$ 208/MWh. CAPM 10,61% a.a.
- Resta 267.240 MWh/ano para consumo do PISF. R\$ 96,90/MWh para o PISF



ENERGIA SOLAR NO PISF

Modelos de Gestão (EVTEA)

- Alternativa 3 - **Leilão para exploração integral do potencial do PISF**
 - Cerca de 3,5 GW de Solar. Eixo Norte: 2.264 MW. Eixo Leste: 1.281 MW
 - Leilão Estruturante fracionado em lotes
 - Participação do PISF na SPE de cerca de 7,9% → Redução de 2,04% no F.C. → 633.606 MWh/ano (PISF)
 - Preço da energia para o investidor de R\$ 229/MWh. CAPM 10,61% a.a.
 - Supre todo o consumo do PISF na 1ª Etapa. R\$ 0/MWh para o PISF
 - Será consagrado vencedor o investidor/gerador que mais valorizar a **contrapartida** do PISF e ofertar o menor **preço de energia**

ENERGIA SOLAR NO PISF

Modelos de Gestão (EVTEA)

- **Alternativa 4 - SPE com a CHESF Utilizando Recursos do FEN**
 - Lei 13.182/2015 criou o fundo denominado Fundo de Energia do Nordeste – FEN
 - SPE entre PISF, Chesf e um 3º investidor
 - SPE seria a responsável pela implementação e operação da usina
 - Mas a lei que criou o FEN ainda depende de regulamentação

- **Alternativa 5 - Participação em Leilão de Energia Nova**
 - SPE entre PISF e um parceiro investidor para participação nos leilões regulares do setor elétrico
 - Problemas:
 1. PISF precisaria se capacitar para o chamamento e seleção de parceiro
 2. A seleção de parceiros pode demandar prazo elevado, sobretudo se forem muitas as alternativas a serem avaliadas
 3. Diferentes parceiros poderão se interessar por diferentes conjuntos de usinas
 4. Não há qualquer garantia de que uma parceria constituída *ex-ante* de um processo de leilão se sagrará vencedora

ENERGIA SOLAR NO PISF

Modelos de Gestão (EVTEA)

- Comparação entre as alternativas:

Alternativas	Potência Instalada (MW)	Energia (MWmed)	Preço da Alternativa (R\$/MWh)	Preço Efetivo para o PISF (R\$/MWh)
I - Autoprodução	221,4	72,2	152	152
II - Leilão Estruturante para Exploração do Potencial de Energia "Escoável" do PISF	607,0	186,9	208	96,9
III - Leilão Estruturante para Exploração Integral do Potencial do PISF	3.545,0	913,3	229	00



OBRIGADO!

O MDR fica à disposição para disponibilizar mais informações
E-mail: cgep@mdr.gov.br
Telefone: 61 2034 4251