



GUIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE HELIOTÉRMICAS

Subsídios para Avaliação de Impacto Ambiental



Uma publicação do:

Projeto DKTI-CSP - Energia Heliotérmica

Realização e execução:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1402
Edif. Brasília Trade Center
CEP 70711-902, Brasília/DF, Brasil
Telefone: + 55 (61) 3963-7524

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

Esplanada dos Ministérios, Bloco E
CEP 70067-900 / Brasília - DF

Editor:

Marcos de Oliveira Costa (GIZ)

Elaboração:

Maria Angélica Garcia
Frederico Araujo Ramos
Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Coordenação do projeto:

Eduardo Soriano Lousada (MCTIC)
Tina Ziegler (GIZ)

Revisão linguística:

Ana Terra

Projeto gráfico e diagramação:

Clara Cristina Rêgo e Helise Oliveira Gomes

Supervisão gráfica:

Catharina Vale

Janeiro de 2017

É permitida a reprodução parcial ou total deste guia desde que citada a fonte e que não seja para qualquer fim comercial.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 7

APRESENTAÇÃO 8

1. HELIOTÉRMICAS E OUTRAS FONTES DE ENERGIA 9

- 1.1. Matriz energética brasileira 9
- 1.2. Comparação de impactos ambientais entre termoelétricas 12
- 1.3. Comparação entre energia fotovoltaica e heliotérmica 13

2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS HELIOTÉRMICAS 15

- 2.1. Calha parabólica 17
- 2.2. Torre solar 20
- 2.3. Refletor linear Fresnel 21
- 2.4. Comparação entre as tecnologias 22

3. HELIOTERMIA NO MUNDO E NO BRASIL 24

- 3.1. Estados Unidos e Espanha 24
- 3.2. América do Sul 26
- 3.3. Brasil 27

4. ESTRATÉGIAS PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL 29

5. ATIVIDADES DE PROJETO E IMPACTOS POTENCIAIS 33

- 5.1. Fases do empreendimento 33
- 5.2. Avaliação de impactos ambientais 35
- 5.3. Impactos positivos 52

6. DADOS E ASPECTOS NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS 53

GLOSSÁRIO 59

BIBLIOGRAFIA 62

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Sistema Interligado Nacional (SIN) **11**
- Figura 2.** Radiação solar global e suas componentes **14**
- Figura 3.** Mapa da irradiação normal direta (DNI) no Brasil **15**
- Figura 4.** Planta híbrida Shams 1, nos Emirados Árabes, de heliotermia e gás natural **16**
- Figura 5.** Ciclo heliotérmico sem e com armazenamento térmico **16**
- Figura 7.** Imagem de calha parabólica com pessoas **18**
- Figura 6.** Arranjo geral e detalhes da calha parabólica **18**
- Figura 8.** Torres solares Invanpah, na Califórnia, e PS10, em Sevilha **20**
- Figura 9.** Esquema de torre solar utilizando sais fundidos como fluido térmico **21**
- Figura 10.** Concentrador de calha parabólica. **21**
- Figura 11.** Capacidade instalada de heliotérmicas no mundo segundo tecnologia e *status* da planta (em MW) **24**
- Figura 12.** Capacidade instalada de empreendimentos heliotérmicos no mundo **25**
- Figura 13.** Usina heliotérmica na região de Antofagasta, Chile **27**
- Figura 14.** Imagem da torre solar de Pirassununga **28**
- Figura 15.** Processo de Avaliação Ambiental Estratégica. **30**
- Figura 16.** Áreas suscetíveis a desertificação. **31**
- Figura 17.** Áreas prioritárias e unidades de conservação. **31**
- Figura 18.** Zona costeira. **32**
- Figura 19.** Formações dunares. **32**
- Figura 20.** Mata Atlântica. **32**
- Figura 21.** Aves migratórias. **32**
- Figura 22.** Comunidades quilombolas. **32**
- Figura 23.** Comunidades indígenas. **32**
- Figura 24.** Fases de um empreendimento heliotérmico **34**
- Figura 25.** Requisitos mais importantes de uma heliotérmica do ponto de vista ambiental **36**
- Figura 26.** Supressão de vegetação **40**
- Figura 27.** Fundação de torre solar **41**
- Figura 28.** Terraplanagem **42**
- Figura 29.** Calhas parabólicas em central no Deserto do Atacama **48**
- Figura 30.** Aves queimadas e Ivanpah **49**
- Figura 31.** Garças empoleiradas no tubo de absorção **50**
- Figura 32.** Lavagem dos espelhos **51**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Desempenho e parâmetros técnicos para tecnologias heliotérmicas **23**

Quadro 2. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva medida ambiental — fase de planejamento **37**

Quadro 3. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva medida ambiental — fase de instalação **37**

Quadro 4. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva medida ambiental — fase de operação e manutenção **45**

Quadro 5. Aspectos e dados sugeridos para a avaliação de impactos ambientais nas etapas do licenciamento ambiental de uma heliotérmica **56**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Impactos ambientais de termoelétricas de diferentes fontes **12**

Tabela 2. Emissão de CO₂ pelo ciclo de vida de heliotérmicas em substituição a termoelétricas de fontes fósseis **13**

Tabela 3. Consumo de água em heliotérmicas **46**

AGRADECIMENTOS

O Projeto DKTI-CSP agradece a todos os especialistas que contribuíram com o debate de alto nível para referendar este guia no Seminário “Sugestões de Diretrizes para a Adequação do Licenciamento Ambiental – o caso das Heliotérmicas” realizado em 15.03.2016 em Brasília-DF.

Adriana Marques	MEC/IFSP
Alarico Jacomo	Consultor
Andrey Aurélio de Souza Corrêa	MDIC
Cesar Batista	IABS
Denise Ferreira de Matos	CEPEL
Denise Lima	AMMA
Douglas de Oliveira	MCTIC
Eduardo Soriano Lousada	MCTIC
Eliane Ferreira	MCTI
Fabiola Valença	CPRH-PE
Flávia Serran	IABS
Florian Remann	GIZ
Francisco Alexandre Rocha Pinto	Semace – CE
Frederico Ramos	Simbios
Geraldo Francisco da Silva Junior	Prefeitura de Petrolina
Hélade Silva	GIZ
Jairo Coura	MCTI
José Ricardo de Araújo Lima	Semace – CE
José Wilker Freitas Sales	Semace – CE
Josiane do Socorro Aguiar de Souza	UnB
Lucas Dantas	ANEEL
Marcos Costa	GIZ
Marcus Régis	GIZ
Maria Angélica	Simbios
Maria Eugênia de Aquino	MMA
Roberta H. Knopki	GIZ
Roberto Pontes Stanchi	IPHAN
Sandra Echeverry	UnB
Solimar Lacerda Cunha	Simbios
Sueli Kakinami	Arcadis Brasil
Tales Ferreira	GIZ
Tarcísio	PSR
Thiago Gutemberg	CHESF

APRESENTAÇÃO

Este estudo foi elaborado no âmbito do Projeto Energia Heliotérmica, que visa estabelecer os pré-requisitos para a aplicação e disseminação da geração heliotérmica no Brasil. O projeto é gerido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

No Guia de Licenciamento Ambiental de Heliotérmicas são fornecidos subsídios para conferir segurança e agilidade aos procedimentos de análise técnica; ampliar a transparência das informações; e melhor orientar a elaboração dos estudos de **Licenciamento Ambiental Federal (LAF)** de heliotérmicas no território brasileiro. Esses objetivos estão em consonância com o Programa de Fortalecimento do Licenciamento Ambiental Federal (Prolaf), que vem sendo desenvolvido pela Diretoria de Licenciamento Ambiental (Dilic) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama).

A organização dos processos e das normas para o LAF do setor elétrico avançou muito nos últimos anos e fornece excelente oportunidade para que a heliotermia seja introduzida nos estados e municípios, já incorporando esses avanços no Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama).

1. HELIOTÉRMICAS E OUTRAS FONTES DE ENERGIA

Na década de 1980, a empresa Luz International construiu nove plantas de energia solar concentrada (**CSP**, na sigla em inglês), denominadas Solar Electric Generating Systems (SEGS), no deserto de Mojave, na Califórnia, Estados Unidos. Todas as SEGS foram construídas com a tecnologia cilindro parabólico e operam até hoje:

- ▶ SEGS I, com capacidade instalada de 13,8 MW;
- ▶ SEGS II, III, IV, V, VI e VII, com 30 MW cada;
- ▶ e SEGS VIII e IX, com capacidade instalada de 80 MW cada.

Em 1991, a Luz International, que havia investido e construído as primeiras plantas CSP de grande escala no mundo, foi à falência, suscitando dúvidas a respeito das perspectivas econômicas dessa tecnologia. Tal fato foi aventado como uma das causas de um longo período sem novos investimentos e construção de plantas CSP. Aliada a isso, observou-se, no início daquela década nos Estados Unidos, a queda dos preços dos combustíveis fósseis, além da retirada de incentivos e mudanças nos contratos de compra de energia elétrica.

Entre o início da década de 1990 e 2007, não se investiu em heliotérmicas, até que entraram em operação a Planta Solar 10 (PS10), da empresa Solucar — atualmente controlada pelo grupo Abengoa Solar —, na Espanha; e a planta Nevada Solar One (NSO), construída pela Solargenix — subsidiária da empresa espanhola Acciona Energy¹. A PS10 utiliza a tecnologia Torre Solar, com 11 MW, e a NSO utiliza a tecnologia cilindro parabólico, com capacidade instalada de 72 MW. A expectativa para o médio e longo prazo é de crescimento significativo da capacidade instalada e da produção de eletricidade pela tecnologia CSP no mundo, tendo em vista sua baixa emissão de gases do efeito estufa (GEE).

A International Energy Agency (IEA) previu, em 2008, que políticas de incentivo à energia solar concentrada seriam efetivadas em diversos países no médio prazo, possibilitando uma geração de eletricidade por plantas CSP em 2030 em torno de 1.000 TWh. Já segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, para estabilizar a concentração de CO₂ em 450 ppmv na atmosfera, a participação de CSP na geração de eletricidade no mundo poderia contribuir com cerca de 2.500 TWh em 2030.

1.1. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil tem uma matriz interna de geração elétrica com baixa participação de combustíveis fósseis. Da eletricidade gerada no país, 74% vêm de hidrelétricas, que geram energia facilmente despachável, e 4,7% vêm de biomassa. Considerando as importações de energia

¹ No momento de elaboração deste guia, havia incertezas quanto à continuidade da existência do grupo Abengoa Solar, que passava por problemas financeiros.

(6,5%), que são predominantemente hidrelétricas, pode-se afirmar que aproximadamente 85% da eletricidade ofertada no país são originados de fontes renováveis, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2011.

Entretanto, a construção de novos projetos de usinas com grandes reservatórios de regularização está em franco declínio há mais de duas décadas. Assim, durante períodos hídricos desfavoráveis, as termoeletricas convencionais são acionadas para complementar a geração de energia elétrica demandada. Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024, do Ministério de Minas e Energia e da EPE, para atender de forma adequada ao crescimento da carga de energia do Brasil, o parque gerador deve ser expandido com termoeletricas entre 2019 e 2023, totalizando 7.500 MW nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

Uma dificuldade, porém, é que as **termoeletricas movidas a combustíveis fósseis** causam poluição do ar, especialmente em razão da emissão de GEE. Já as usinas termonucleares, por utilizarem materiais radioativos, representam um risco associado permanente.

Tecnologias alternativas, como as que fazem uso de energia eólica, biodiesel e biomassa, estão crescendo. Entretanto, embora utilizem fontes limpas, as duas primeiras não são facilmente despacháveis, e a última também contribui para a emissão de GEE. As fontes fotovoltaicas estão se tornando competitivas do ponto de vista do custo, mas têm **impactos** associados ao ciclo de vida dos componentes.

Dado esse cenário, as usinas de concentração solar (energia heliotérmica) podem vir a representar um enorme avanço tecnológico na produção de eletricidade no Brasil. Elas podem minimizar ainda mais o uso de combustíveis fósseis na matriz elétrica do país e reduzir o consumo de água, bem como diversificar as fontes, garantindo a segurança no suprimento e diminuindo as emissões de GEE. A energia dessas usinas provém de fonte limpa e renovável, o Sol, cuja luz concentrada gera calor suficiente para produzir vapor e mover uma turbina ligada a um gerador elétrico. O calor também pode ser armazenado para a geração no período noturno, aumentando o fator de capacidade e a **despachabilidade** da usina.

As resistências locais e os impactos mais questionados no licenciamento de usinas termoeletricas (UTES) são poluição atmosférica e alto consumo de água. Exemplos:

UTE Araraquara (SP): a bacia atmosférica da UTE já estaria saturada por outras atividades industriais e por usinas de álcool e de produção de cana-de-açúcar. Além disso, questionou-se a retirada de água da bacia do Rio Mogi-Guaçu, uma região que já experimentava conflitos pelo uso da água.

UTE Seropédica (RJ): aumento da demanda por água da bacia do Rio Guandu, que já abastece outras indústrias do Distrito Industrial de Itaguaí, Sepetiba e a cidade do Rio de Janeiro.

UTE Araucária (PR): exacerbação de problemas respiratórios da população causados por atividades poluentes da Refinaria da Petrobras, além do aumento da demanda por água da bacia da Grande Curitiba, já saturada e no limite.

UTE Norte Fluminense — Macaé (RJ): suprimento de água do Rio Macaé, que abastece a cidade e as instalações da Petrobras. Longas negociações se sucederam até um ajuste, com menor consumo de água e obras de ampliação e melhoria na captação da Companhia de Esgotos e Água do Rio de Janeiro (Cedae).

UTE Nuclear de Angra dos Reis (RJ): risco de acidentes com elementos radioativos e dúvidas quanto à eficácia das medidas de emergência, à qualidade da água efluente do sistema de resfriamento na baía de Angra dos Reis e aos resíduos radioativos do processo.

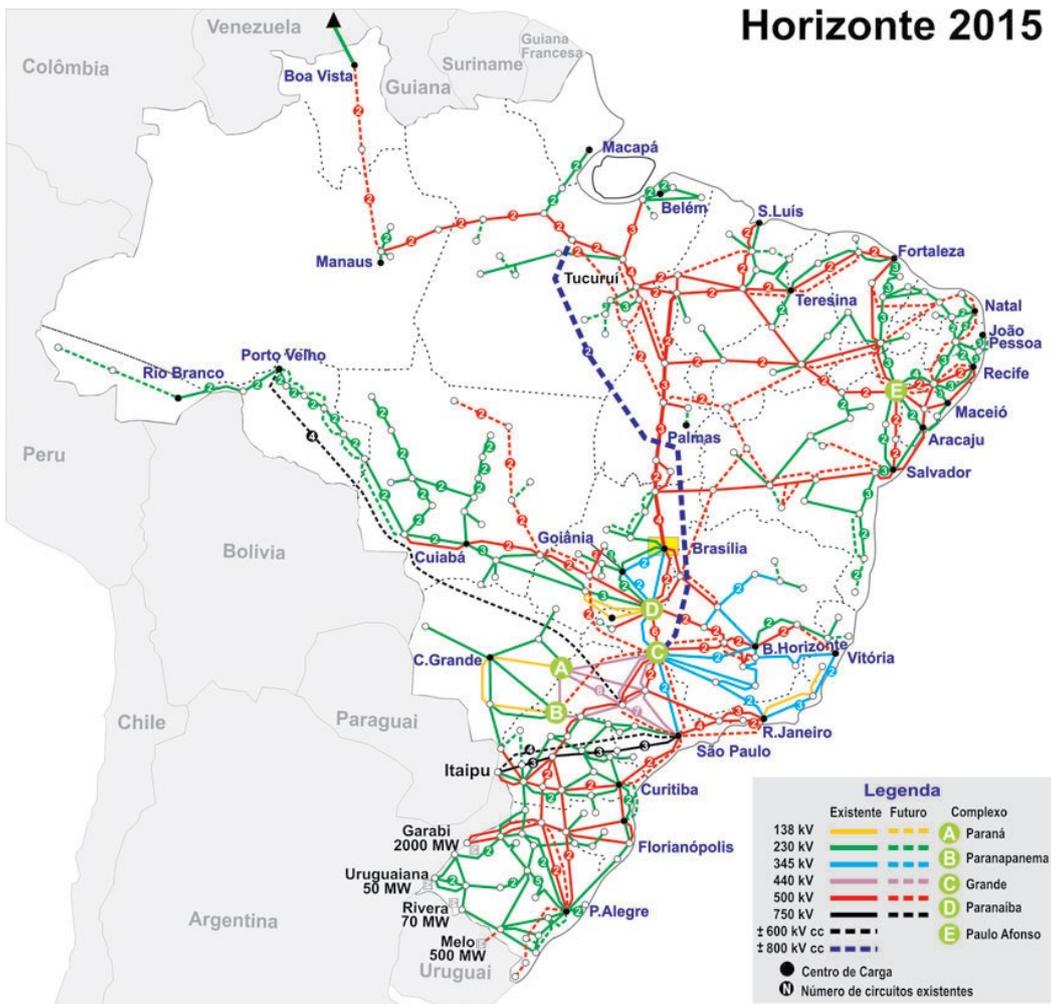
“As centrais geradoras heliotérmicas não estão contempladas no horizonte no Plano Decenal – 2023, porém, deve-se ressaltar as vantagens dessa tecnologia quando associadas a **armazenamento térmico** de energia. Elas podem servir como complemento às fontes renováveis intermitentes, como eólica e fotovoltaica, além da capacidade de atendimento às demandas máximas requeridas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN).”

Plano Decenal de Expansão de Energia 2024

O inegável potencial solarimétrico do Nordeste brasileiro traz à tona as vantagens da geração heliotérmica no Sistema Interligado Nacional (SIN). O sistema de transmissão da Região Nordeste atende aos estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, cuja demanda é suprida parcialmente pela energia gerada na própria região — em dezembro de 2013, o sistema da Região Nordeste contava com uma capacidade instalada de 17.500 MW, sendo 10.900 MW de usinas hidráulicas, 4.500 MW de termelétricas e 2.000 MW

de usinas eólicas. O suprimento é complementado com a energia importada do Sudeste e do Centro-Oeste pela Interligação Norte–Sudeste/Centro–Oeste e pelos excedentes de energia da Região Norte, importados através da Interligação Norte–Nordeste.

Figura 1. Sistema Interligado Nacional (SIN)



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/pop/pop_sistema_transmissao.aspx>

Os maiores centros de consumo da Região Nordeste estão localizados nos estados da Bahia, do Pernambuco e do Ceará. A evolução da carga para aquela região cresceu 30% no decênio 2014–2023, o que representa uma participação de 15% no total do Brasil.

Ainda que o custo da tecnologia heliotérmica seja considerado alto, entre 0,20 e 0,35 USD/kWh em 2014, há uma expectativa de declínio de até 50% até 2025. Assim como no caso da termoeétrica, pressupõe-se que as vantagens da geração heliotérmica tendem a crescer com sua maior participação na matriz energética brasileira.

1.2. COMPARAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ENTRE TERMOELÉTRICAS

A Tabela 1 compara o impacto de usinas de diferentes fontes sobre o meio ambiente. É atribuída uma pontuação para ponderar a intensidade qualitativa de alguns dos mais preocupantes impactos das fontes. Essa pontuação fornece uma visão geral das vantagens e desvantagens da disseminação do uso da energia heliotérmica no país diante de outras opções de geração termoeétrica.

Tabela 1. Impactos ambientais de termoeletricas de diferentes fontes

	Gás natural	Óleo combustível	Carvão	Biomassa	Solar (CSP)	Nuclear
Uso de fonte renovável	0	0	0	1	3	0
Geração de empregos	1	1	1	1	1	3
Geração de resíduos sólidos	-2	-2	-2	-2	-1	-3
Exacerbação de ruídos	-2	-3	-2	-2	-2	-2
Dinamização da economia local	1	1	1	1	1	3
Alteração da qualidade do ar (Nox, Sox)	-3	-3	-3	-2	0	0
Alteração da qualidade do ar (particulados)	-1	-1	-3	-2	0	0
Emissão de dioxinas e furanos	-3	-3	-3	-2	0	0
Emissão de GEE (CO ₂)	-3	-3	-3	-3	0	0
Emissão de GEE (N ₂ O e CH ₄)	-3	-3	-3	-2	0	0
Resíduos radioativos	0	0	0	0	0	-3
Comprometimento da saúde da população local	-3	-3	-3	-3	0	0
Risco de acidentes e morte de seres vivos	0	0	0	0	0	-3
Risco à segurança do trabalhador	-1	-1	-3	-1	-1	-3
Comprometimento da disponibilidade dos recursos hídricos	-2	-2	-2	-2	-1	-2
Deterioração da qualidade da água	-2	-2	-2	-2	-1	-3
Perda de biodiversidade	-1	-1	-1	-2	-2	-1
Relocação da população da área diretamente afetada	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Despachabilidade*	2	2	2	2	2	3
Somatório	-23	-24	-27	-21	-2	-12

Notas: Qualificação do impacto: 0 – desprezível; 1 – baixo; 2 – médio; 3 – alto.

O sinal (-) representa impacto negativo; a ausência de sinal indica impacto positivo.

* A alta despachabilidade da energia heliotérmica só pode ser garantida com armazenamento térmico.

Fonte: Elaboração própria.

Comparativamente a termoeletricas convencionais, a usina heliotérmica é uma alternativa tecnológica que, por utilizar o Sol como combustível, exclui uma série de impactos socioambientais indesejáveis. Preponderantemente, o aproveitamento da energia solar reduz a emissão de substâncias prejudiciais à saúde humana, a emissão de GEE e os riscos de exposição do ambiente a produtos perigosos. Nos Estados Unidos, por exemplo, as heliotérmicas deixam de emitir dois terços do CO₂ que seria emitido por uma termoeletrica convencional (Tabela 2).

Tabela 2. Emissão de CO₂ pelo ciclo de vida de heliotérmicas em substituição a termoeletricas de fontes fósseis

Ação	Emissão de CO ₂ (g CO ₂ /kWh)	
	Melhor situação	Pior situação
Supressão de vegetação	+0.0	+8.6
Respiração da biomassa do solo	+0.0	+1.9
Oxidação da biomassa cortada	+0.0	+35.8
Outras fases do ciclo de vida	+16.0	+40.0
Emissão da planta solar	+16.0	+86.3
Emissão da queima de combustível fóssil eliminada	-850.0	-650.0
Total	-834.0	-563.7

Fonte: Turney e Fthenakis (2011)

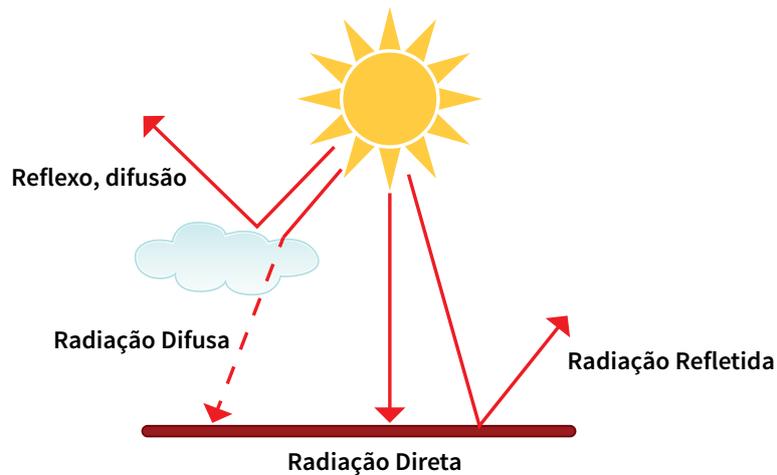
1.3. COMPARAÇÃO ENTRE ENERGIA FOTOVOLTAICA E HELIOTÉRMICA

Como a heliotermia, a geração fotovoltaica usa os raios solares para produzir energia. No entanto, as tecnologias são diferentes: a primeira somente aproveita os raios solares diretos, e a segunda utiliza também a **radiação difusa**.

A atmosfera terrestre absorve parte da radiação que chega à sua camada superior. A parcela que atinge o solo tem uma componente direta e uma componente difusa. A soma dessas parcelas representa a **radiação global** horizontal (*global horizontal irradiation*, GHI), que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal e é de grande importância para a geração fotovoltaica.

A irradiação normal direta (**direct normal irradiation, DNI**) é a parte proveniente diretamente do Sol (sem reflexões) e varia muito ao longo do dia devido às condições atmosféricas, principalmente em áreas de grande nebulosidade. A **radiação direta** é a mais importante para a geração solar térmica. Já a irradiação difusa é a parte dispersa e atenuada pela reflexão nos componentes atmosféricos, como nuvens, poeira e vapor d'água. Além disso, se a superfície do ambiente estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo solo e outros objetos: a radiação refletida, que pode ser inclusa na radiação difusa.

Figura 2. Radiação solar global e suas componentes



Fonte: Bianchini (2013)

Por meio da geração fotovoltaica, converte-se a luz solar diretamente em energia elétrica. Para armazenar essa energia, utilizam-se baterias — cuja eficácia, no entanto, é pequena, pois elas têm custo alto e vida útil reduzida. Outra desvantagem da energia fotovoltaica é a imprevisibilidade de sua produção e impossibilidade de despachar, porque a geração requer uma quantidade de luz estável.

Já a geração de energia heliotérmica acontece em duas etapas. Os raios solares aquecem um líquido que passa pelo **receptor**; o calor armazenado pelo líquido aquece a água, gerando vapor, e este movimenta uma turbina. É possível, portanto, o armazenamento térmico, o que faz da energia heliotérmica uma fonte sempre disponível. Assim, a heliotermia é uma tecnologia que concentra a energia do Sol para gerar calor. É conhecida pela sigla **HLT**, de heliotermia, ou, como visto anteriormente, CSP, do inglês *concentrated solar power*, e ainda por termosolar.

Vale ainda diferenciar a geração heliotérmica do aquecimento solar. Quando a luz do Sol é utilizada para aquecer a água de casas e prédios, o objetivo não é a geração de energia elétrica. Nesses sistemas de aquecimento, placas instaladas nos telhados espalham a água por tubos que recebem a luz solar. Aquecida, a água pode ser armazenada ou utilizada em chuveiros ou piscinas.

Por fim, cabe observar que a tecnologia heliotérmica tem outros usos além da geração de eletricidade. Ela atua, por exemplo, na geração de calor para processos industriais (calcinação, secagem de gesso, secagem de pintura de carros), na refrigeração (ar-condicionado, produção de água gelada, congelamento de produtos agropecuários) e na dessalinização de água do mar.

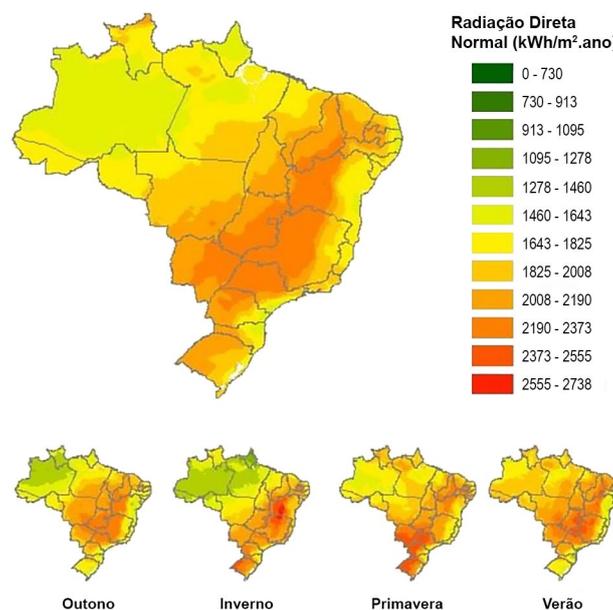
2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS HELIOTÉRMICAS

As heliotérmicas podem ser divididas em **campo solar**, que transforma a radiação solar em energia térmica; e bloco de potência, que, tal como outras usinas termoelétricas, converte a energia térmica em mecânica e, finalmente, a energia mecânica em elétrica.

Para que a planta heliotérmica projetada tenha viabilidade técnico-econômica, os níveis de DNI devem estar acima dos 2.000 kWh/m² por ano. Várias regiões áridas e semiáridas do mundo atendem essa condição, como o sul da Espanha e o oeste dos Estados Unidos, o México, o Chile, a Austrália e a África do Sul.

No Brasil, os dados de sensores remotos indicam que o Semiárido Nordeste e Norte de Minas Gerais possui áreas com até 2.400 kWh/m² por ano de DNI. Outras regiões brasileiras do Centro-Oeste, Sudeste e Sul com DNI acima de 2.000 kWh/m² por ano possuem potencial para a tecnologia (Figura 3).

Figura 3. Mapa da irradiação normal direta (DNI) no Brasil



Fonte: Burgi (2013)

A principal desvantagem das heliotérmicas é a interrupção da geração elétrica à noite e/ou em períodos de nebulosidade (isto é, de pouca luz direta). Como o bloco de potência é similar ao das usinas termoelétricas, uma solução pode ser a hibridização da heliotérmica com uma termoelétrica convencional, a fim de garantir a continuidade da produção e a despachabilidade da energia. Assim, durante a noite, o bloco de potência seria alimentado pelo calor da queima de combustíveis fósseis — o que pode impactar negativamente o meio ambiente.

Figura 4. Planta híbrida Shams 1, nos Emirados Árabes, de heliometria e gás natural

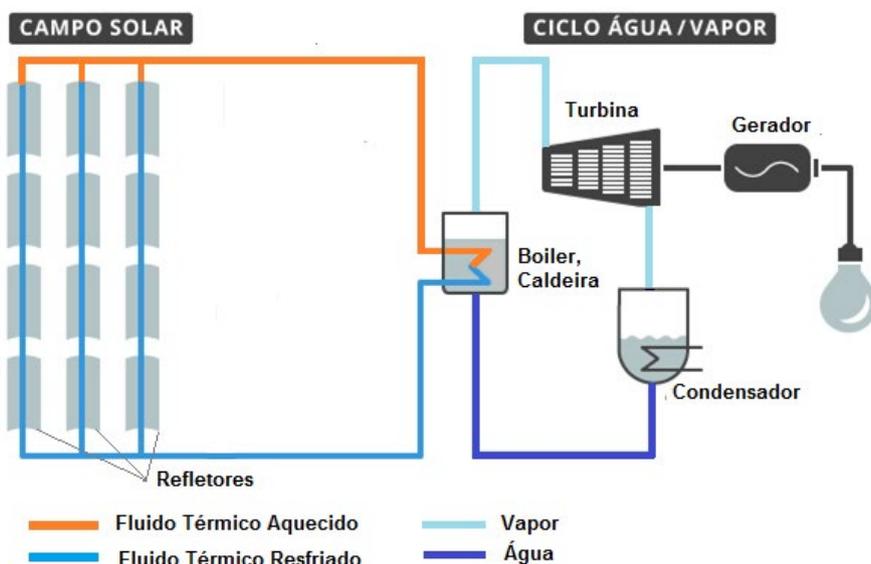


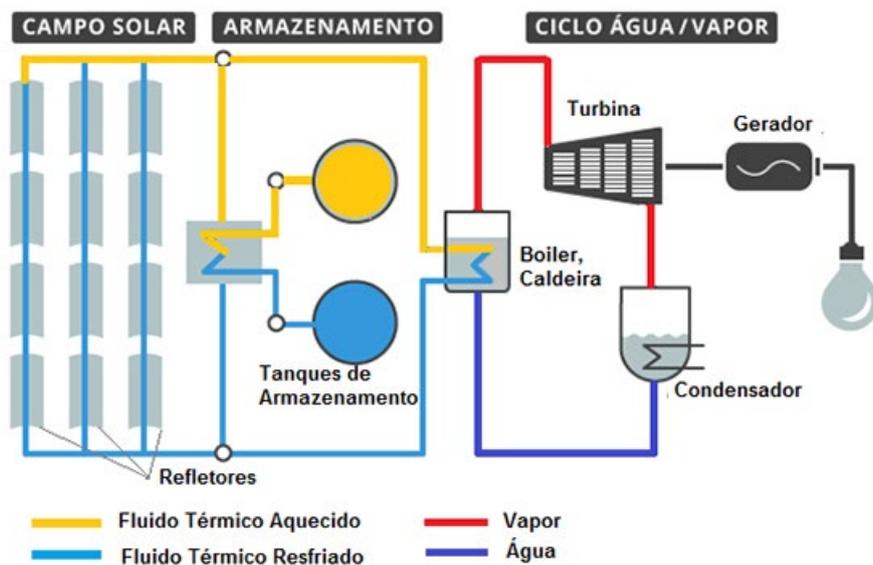
Fonte: Abengoa Solar (2014a)

Uma alternativa importante para a continuidade da geração à noite e sob nebulosidade é o armazenamento térmico. Alguns fluidos com características térmicas especiais, como **sais fundidos**, absorvem o calor concentrado no campo solar e, aquecidos, são armazenados em tanques especiais. Na ausência de radiação solar direta, o **fluido térmico** armazenado é deslocado para o bloco de potência, onde aquece a água para a produção de vapor. Aproximadamente metade das plantas em operação no mundo é equipada dessa forma.

Outros materiais têm sido testados em projetos demonstrativos e de pesquisa. O armazenamento em colmeias de cerâmicas especiais é aplicado a heliotérmicas que utilizam o ar como fluido de transferência de calor, como a planta Jülich, na Alemanha. Ainda em fase de pesquisa, alguns compostos estão sendo avaliados para o armazenamento termoquímico, no qual o calor provê energia para uma reação química; com a reação reversa, a energia é liberada. Sistemas que utilizam a mudança da fase sólida para líquida para armazenar calor estão sendo testados para alguns materiais, como granito, arenito, tijolo, concreto e alumínio.

Figura 5. Ciclo heliotérmico sem e com armazenamento térmico





Fonte: modificado de Projeto Energia Heliotérmica (2016)

Entre as tecnologias heliotérmicas atualmente em estudo e em aplicação no mundo, as que possuem potencial comercial para aplicação no Brasil são calha parabólica, torre solar e refletor linear Fresnel.

2.1. CALHA PARABÓLICA

A calha parabólica é a tecnologia heliotérmica mais difundida no mundo. Segundo levantamentos do Solar PACES, do National Renewable Energy Laboratory (NREL), a capacidade mundial instalada é de 4.905 MW, a maioria provenientes de plantas em operação na Espanha e nos Estados Unidos, sendo 4.116 MW com tecnologia de calha parabólica.

Por meio dessa tecnologia, a energia do sol é concentrada por refletores curvados em forma de parábola, resultando numa espécie de calha, até um tubo receptor disposto ao longo do interior da superfície curva (concentração em linha). Essa energia aquece um fluido térmico que passa dentro do tubo e transporta o calor até o bloco de potência. Nesse ponto, as trocas de calor são usadas na produção de vapor para mover uma turbina conectada a um gerador de eletricidade.

Figura 6. Arranjo geral e detalhes da calha parabólica



Fonte: The Desertec Foundation, 150 MW de calha parabólica na usina CSP em Kramer Junction, Califórnia, à esquerda; e DLR Using the Sun — calha parabólica de central energética em Almería, Spain (CC-BY 3.0), à direita

O campo solar é composto por várias subunidades, chamadas de elementos coletores, compostas de uma estrutura de suporte, painéis refletores curvados parabolicamente e um tubo de absorção, suspenso na linha focal do refletor por postes. O tamanho do elemento coletor varia, nas plantas atuais, de 8 a 24 m de comprimento.

Figura 7. Imagem de calha parabólica com pessoas



Fonte: Massachusetts Institut of Technology/ Foto de: Sandia National Laboratory, com adaptações.

Disponível em: <<https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-997-direct-solar-thermal-to-electrical-energy-conversion-technologies-fall-2009/>>

A estrutura de suporte sustenta os painéis refletores e o tubo de absorção, enquanto o coletor rastreia o Sol. Essa estrutura deve ser rígida o suficiente para evitar desvios da posição ideal e perdas na eficiência óptica do sistema. O vento, em especial, causa cargas torcionais que limitam o tamanho total do coletor. Os materiais mais utilizados atualmente são o aço ou o alumínio, embora alternativas venham sendo projetadas para as estruturas de suporte, como o concreto, utilizado na Airlight Energy Ait-Baha Pilot Plant, no Marrocos.

O elemento coletor é suportado, em cada extremidade, por pilares equipados com mancais que permitem a rotação do coletor ao longo de seu eixo longitudinal. Vários elementos coletores são conectados em linha, formando uma unidade rígida torsional, que pode ter 300 m de comprimento. Esse arranjo do campo solar exige terrenos planos e nivelados.

Os refletores curvados parabolicamente normalmente são feitos de espelhos, mas outros materiais também são empregados, como filmes de polímeros refletivos. A primeira geração de calhas parabólicas possui coletores relativamente pequenos, com 5 m de abertura. Novos coletores foram projetados nos últimos anos e as dimensões têm aumentado, alcançando desde 7,51 m (Ultimate Trough) até 9,70 m (Airlight) de abertura.

A luz solar refletida pela área dos espelhos, ou de outros materiais refletivos, se concentra na linha focal da parábola, onde se localiza o tubo de absorção com o fluido térmico — elemento condutor de calor. O diâmetro do tubo deve ser largo o suficiente para interceptar a luz refletida, mas é limitado para minimizar as perdas de calor por convecção. Nas plantas, esse diâmetro varia de 70 mm a 140 mm.

O desafio tem sido aumentar o fator de concentração sem perder a rigidez do coletor e a sua eficiência óptica. Uma vez concentrada no tubo de absorção, a radiação solar é transformada em calor, que é então transferido para o fluido térmico que corre dentro do tubo. Atualmente, os tubos de absorção são envelopados a vácuo em um tubo de vidro, diminuindo drasticamente as perdas térmicas para o exterior, a tal ponto que aves já têm sido observadas empoleiradas tranquilamente nessas estruturas.

O elemento condutor de calor normalmente utilizado nas calhas parabólicas é um óleo térmico, que sob pressão pode atingir até 400°C. O fluido é conduzido por uma rede de dutos até o bloco de potência e/ou até os tanques de armazenamento térmico, em um sistema fechado e controlado, não havendo contato com o ambiente ou contato humano em condições normais de operação. Dessa forma, não há estocagem do material. Estima-se que, para uma planta de 50 MW, com sete horas de armazenamento, sejam necessárias 40 mil toneladas de óleo térmico, com uma substituição de 1% a 2% desse fluido a cada cinco anos.

Os fluidos térmicos, em especial os sais fundidos, podem ser armazenados em tanques especiais para que o calor seja utilizado à noite ou em períodos de maior nebulosidade. Embora haja aumento nos custos, principalmente aqueles relacionados ao campo solar e aos tanques, plantas com armazenamento térmico ganham em fator de capacidade e garantem a despachabilidade para alimentar o SIN.

No bloco de potência, o calor contido no fluido térmico é usado em trocadores de calor para gerar vapor d'água. Assim como em outras usinas termoelétricas, o vapor move uma turbina acoplada a um gerador elétrico. O resfriamento do vapor pode ser feito com água, em um circuito aberto (resfriamento úmido), com consumos da ordem de 3 m³/MWh.

Embora menos eficiente para a produção de energia, o sistema fechado (resfriamento seco) é uma alternativa para áreas com baixa disponibilidade hídrica, pois diminui o consumo para a ordem de 0,3 m³/MWh. E ainda, com uma menor eficiência energética, é possível utilizar resfriamento a ar.

A água também é consumida em uma planta heliotérmica durante a limpeza dos espelhos, em uma proporção estimada de 0,6 litro por metro quadrado de campo solar a cada cinco dias. Entretanto, sistemas automatizados, como o desenvolvido pela empresa alemã Novatec Solar, podem reduzir em até 98% o consumo de água de lavagem dos espelhos.

2.2. TORRE SOLAR

A tecnologia de torre solar é recente. Seus primeiros testes de demonstração ocorreram no início da década de 1980 na Espanha, na França, em Israel e nos Estados Unidos. A primeira planta comercial, chamada de PS10, com 11 MW de potência instalada, entrou em operação em 2007, próximo a Sevilha, na Espanha. Atualmente a capacidade dessa tecnologia instalada no mundo é de 617 MW, ainda bem abaixo da capacidade da calha parabólica; apesar disso, 55% dos projetos em construção ou em desenvolvimento de heliotérmicas são de torres solares.

Figura 8. Torres solares Ivanpah, na Califórnia, e PS10, em Sevilha



Fonte: respectivamente, Bechtel e Wikimedia.

Disponíveis em: <<http://www.bechtel.com/projects/ivanpah-solar-electric-generating-system/>> e <https://pt.wikipedia.org/wiki/PS10#/media/File:PS10_solar_power_tower.jpg>

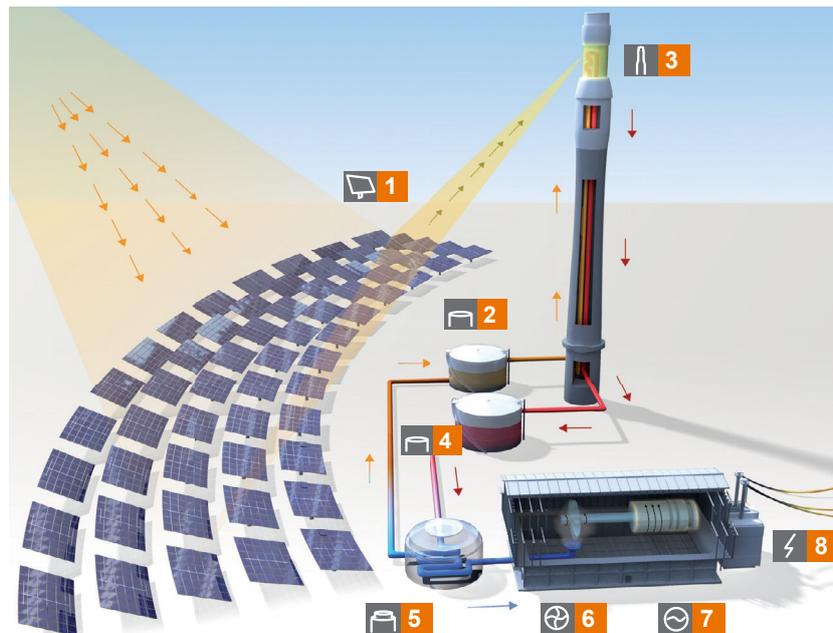
Nessa tecnologia, uma série de superfícies refletoras planas, os **helióstatos**, rastreia o Sol e foca a luz direta em um receptor fixo, localizado em uma torre (concentração em um ponto). O calor absorvido é transferido para um fluido térmico, que, assim como na calha parabólica, alimentará o bloco de potência.

O campo solar, nessa tecnologia de torre solar, é composto por vários helióstatos, que por vezes chegam a dezenas de milhares. Essas estruturas contêm uma ou múltiplas superfícies refletoras, usualmente espelhos com película de nitrato de prata com baixo teor de ferro. Cada helióstato rastreia o Sol em dois eixos, de maneira que os espelhos fiquem apoiados em um pilar a uma altura que permita a livre movimentação da estrutura. Assim, logo abaixo e nas proximidades dos helióstatos, não deve haver obstáculos, como vegetação de grande porte, por exemplo. O tamanho dos helióstatos, movimentados por sistemas hidráulicos, varia entre as plantas, sendo que os maiores atingem 150 m² de superfície refletora.

No receptor, a radiação solar concentrada é absorvida e convertida em calor (ou vapor), que por sua vez é transferido ao fluido térmico e dirigido para o bloco de potência ou armazenado. Nas torres solares, os fluidos térmicos utilizados são água/vapor, sais fundidos e ar. Em Ivanpah e na Planta Solar 10 (PS10), por exemplo, o fluido térmico é a água, de maneira que o vapor utilizado no bloco de potência é gerado diretamente no receptor da torre. Embora nesse arranjo ocorram menos perdas em transferências de calor, a capacidade de armazenamento térmico ainda é baixa, ficando em torno de uma hora.

Para as plantas que utilizam sais fundidos ou ar, o princípio de funcionamento é o mesmo da calha parabólica, ou seja, o fluido térmico aquecido é conduzido ao gerador de vapor, que alimentará o bloco de potência. É importante observar que o sistema de dutos contendo o fluido térmico concentra-se nas proximidades da torre e do bloco de potência e não se espalha pelo campo solar, como no caso das outras duas tecnologias.

Figura 9. Esquema de torre solar utilizando sais fundidos como fluido térmico



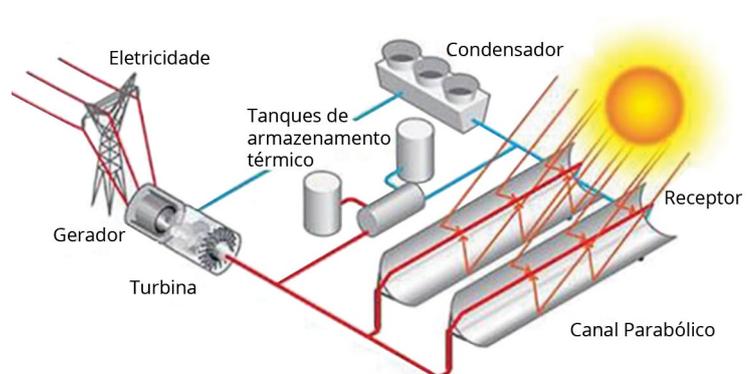
1. Helióstatos; 2. Tanque frio; 3. Torre central; 4. Armazenamento térmico; 5. Trocador de calor; 6. Turbinas; 7. Gerador; 8. Transformador
Fonte: Ficha de funcionamento da usina Gemasolar (Andaluzia, Espanha)

Disponível em: <http://www.torresolenergy.com/EPORTAL_DOCS/GENERAL/SENERV2/DOC-cw4cb709508888d/Ficha_PLANTAGEMASOLAR.pdf>

2.3. REFLETOR LINEAR FRESNEL

Os refletores do tipo linear Fresnel são constituídos por um conjunto de espelhos planos dispostos em filas direcionando a radiação solar para um tubo receptor que fica acima dos espelhos (concentração em linha). Esses tubos receptores são fixos e situam-se em uma estrutura de três faces que não permite passagem de radiação solar, de forma que os raios refletidos pelos espelhos entram somente pela face aberta. Os espelhos refletores efetuam o seguimento solar em um eixo que acompanha a movimentação do Sol, no sentido leste-oeste.

Figura 10. Concentrador de calha parabólica.



Fonte: Maranhão (2014).

Nesse caso, o fluido de trabalho é geralmente água, que vaporiza ao receber calor dos refletores. O vapor aciona o conjunto turbina-gerador, produzindo energia elétrica. Os sistemas lineares Fresnel são capazes de gerar vapor diretamente nos receptores de radiação solar, dispensando a utilização dos trocadores de calor e de um fluido de trabalho.

A vantagem dessa tecnologia é o menor espaço ocupado no terreno da central heliotérmica quando comparada aos sistemas de calha parabólica. O fato de os refletores situarem-se praticamente paralelos ao chão possibilita uma maior estabilidade estrutural devido à menor interferência dos ventos. Essa configuração também reduz perdas óticas, e os vidros quebram com menor frequência quando comparada aos demais sistemas refletores.

As temperaturas do fluido de trabalho podem chegar a 370 °C nas linhas de aquecimento. Outra vantagem dos refletores do tipo Fresnel é o baixo custo dos espelhos planos quando comparados aos espelhos da calha parabólica. A desvantagem é o sombreamento entre os espelhos de uma mesma linha à medida que a incidência da luz solar muda ao longo do dia.

2.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS

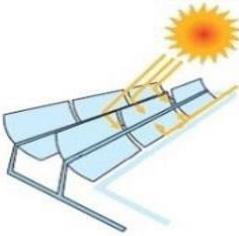
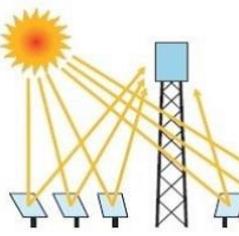
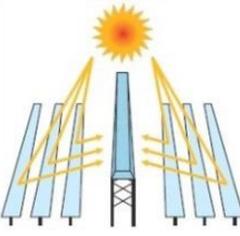
Os impactos ambientais dos empreendimentos de geração de energia elétrica variam conforme a fonte, o combustível e a tecnologia empregada. Como neste caso a fonte solar é fixa, passa-se a comparar os combustíveis que servem de *backup* nas usinas sem armazenamento térmico e a tecnologia empregada — calha parabólica, torre solar e refletor linear Fresnel. Vale ressaltar que os impactos também variam segundo a cadeia produtiva por trás da energia gerada.

Além disso, queimadores auxiliares podem estar presentes em heliotérmicas e usar combustíveis fósseis — por exemplo, para manter uma parte do bloco de potência funcionando, fazer parte da combinação com o armazenamento ou mesmo garantir que os sais fundidos não atinjam menos que 289 °C.

Vale ressaltar que, para a produção de combustíveis no caso de hibridização ou *backup*, é necessário extrair a matéria-prima, processá-la, transportá-la e armazená-la. Todas essas etapas, que precedem a geração da energia elétrica nas usinas, provocam impactos ambientais.

Para todas as tecnologias, é preciso considerar o balanço de energia e os materiais utilizados para a produção dos equipamentos e outros impactos que possam ocorrer nas etapas do ciclo de vida (Quadro 1).

Quadro 1. Desempenho e parâmetros técnicos para tecnologias heliotérmicas

Parâmetro técnico	Cilindro parabólico	Torre solar	Refletor linear Fresnel
			
Capacidade típica (MW)	10-300	10-200	10-200
Foco ²	Linear	Pontual	Linear
Tipo de receptor	Móvel	Fixo	Fixo
Requerimento de área (ha/MW)	2	2	2
Temperatura de operação (°C)	350–550	250–565	390
Eficiência da planta (%)	14–20	23–35	18
Eficiência anual solar para eletricidade (%)	11–16	7–20	13
Fator de capacidade anual (%)	25–28 (sem AT) 29–49 (com AT)	55 (10h AT)	22–24
Hibridização	Sim, direta	Sim	Sim, direta (caldeira a vapor)
Concentração	70–80	1000	60–70
Estabilidade do Grid	Média a alta (AT ou hibridização)	Alta (grande capacidade de AT)	Média (queima de <i>backup</i> possível)
Ciclo	Rankine sp./Brayton Combinado	Rankine sp.	Rankine st.
Declividade máxima do campo solar	<1–2	<2–4	<4
Consumo de água (m ³ /MW)	3 (resfriamento úmido) 0,3 (resfriamento a seco)	2 a 3 (resfriamento úmido) 0,25 (resfriamento a seco)	3 (resfriamento úmido) 0,2 (resfriamento a seco)
Aptidão para o resfriamento seco	Baixa a boa	Boa	Baixa
Armazenamento com sais fundidos	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Possível, mas ainda não foi provado

AT — Armazenamento térmico.

* Limite superior se a torre solar estiver operando em ciclo combinado; sp — superaquecido; st — saturado.

Fonte: Adaptado de Irena (2012), Irena (2013) e IEA (2010) citado por Burgi (2013).

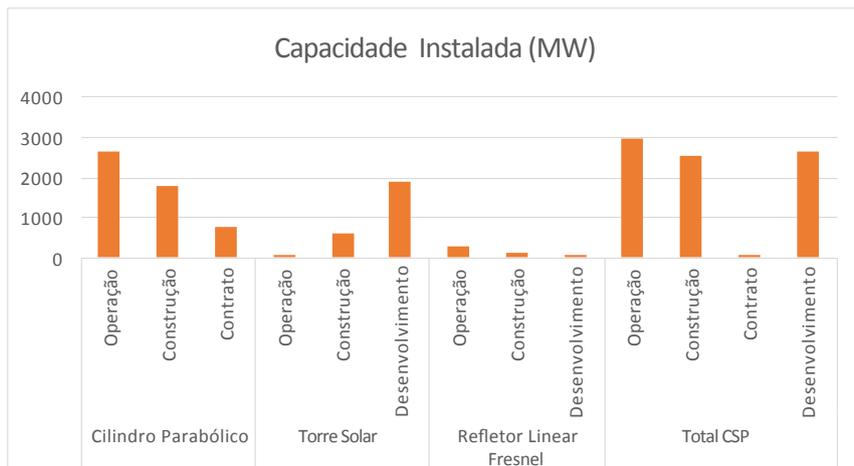
² As tecnologias podem ser classificadas pelo modo como os raios solares são concentrados pelos receptores, que podem ser fixos, como no refletor Fresnel e na torre solar, ou móveis, como na calha parabólica, com formação de linhas ou pontos focais. De modo geral, se os concentradores possuem rastreamento solar em apenas um eixo, de rotação no plano horizontal, tem-se foco linear; e, quando o rastreamento é realizado em dois eixos, obtém-se foco pontual — reflete-se a irradiação incidente sobre um ponto, onde é instalado o receptor.

3. HELIOTERMIA NO MUNDO E NO BRASIL

Como foi dito anteriormente, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 não contempla a inserção da fonte solar como possibilidade complementar às demandas projetadas para o decênio, dada a sua envergadura incipiente. No entanto, as heliotérmicas começam a provocar o interesse dos governos sul-americanos e podem se constituir, de fato, como uma tecnologia de geração de energia proeminente, em especial por causa do grande potencial solarimétrico do Nordeste brasileiro.

Mesmo considerando a ampla vantagem em termos de capacidade instalada das calhas parabólicas, no mundo, os projetos de torres solares emergem como alternativa segura com o desenvolvimento de projetos na ordem de quase 2.000 MW de capacidade instalada. Discos parabólicos têm pouca relevância nesse cenário (4 MW, sendo 2 MW operando e 2 MW em desenvolvimento em 2013).

Figura 11. Capacidade instalada de heliotérmicas no mundo segundo tecnologia e *status* da planta (em MW)



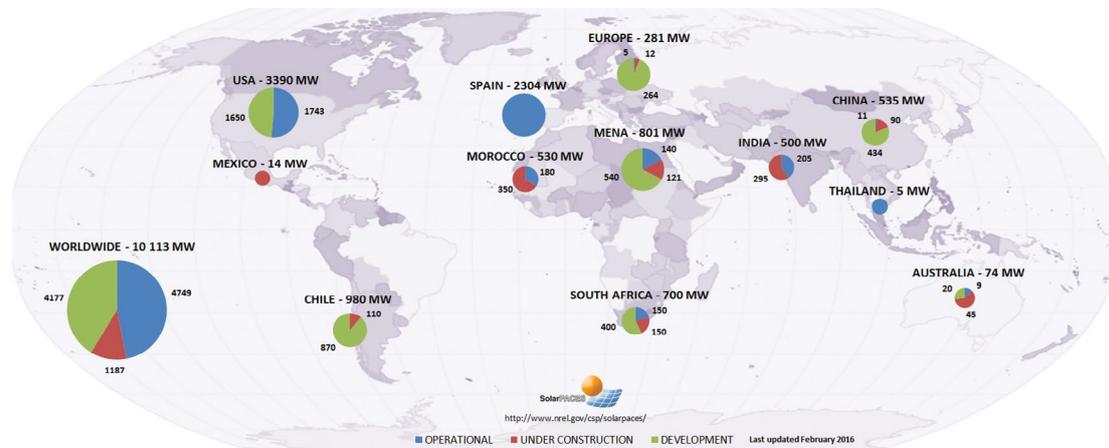
Fonte: Capacidade instalada de HLT no Mundo segundo tecnologia e *status* da planta (em MW).

3.1. ESTADOS UNIDOS E ESPANHA

A aplicação comercial da heliotermia para a geração de energia elétrica é relativamente recente. Embora as primeiras experiências com calhas parabólicas datem de 1880, somente em 1983 foi implantada a primeira planta comercial, na Califórnia. Isso fez dos Estados Unidos uma referência no tema, ampliando o número de plantas comerciais e diversificando as tecnologias heliotérmicas.

Mais recentemente, em 2004, a Espanha promoveu incentivos públicos para a exploração de fontes renováveis de energia, entre elas a solar. A partir de então, houve um rápido e impressionante avanço da tecnologia no mundo. A maioria das usinas heliotérmicas está operando na própria Espanha e nos Estados Unidos, que possuem mais de 80% da capacidade global instalada.

Figura 12. Capacidade instalada de empreendimentos heliotérmicos no mundo



Fonte: HelioSCSP (2013)

A experiência adquirida por esses países permite identificar os aspectos que precisam ser melhorados para aumentar a eficiência e diminuir os custos das plantas comerciais, bem como os principais impactos ambientais associados à tecnologia e as medidas para minimizá-los. Um dos aprendizados que podem ser aproveitados em plantas heliotérmicas que venham a ser instaladas no Brasil é que, para obter permissões ambientais na Espanha e nos Estados Unidos, a avaliação de impactos deve pautar-se em:

- ▶ qualidade do ar — como nesses países a matriz energética possui grande peso de termoelétricas convencionais, deve-se demonstrar que as heliotérmicas evitam ou minimizam os impactos sobre a qualidade do ar;
- ▶ saúde pública — assegurar conformidade com a legislação e minimizar o risco potencial à saúde humana em razão da emissão de contaminantes e da exposição da população;
- ▶ segurança do trabalhador — desenvolver um programa de segurança do trabalhador em conformidade com a legislação, com descrição dos procedimentos a serem adotados durante a construção e operação da planta;
- ▶ manipulação de materiais perigosos — descrever os riscos dos efeitos adversos à população de acidentes envolvendo materiais perigosos que serão usados na construção e operação da planta, tais como fluidos térmicos, óleos, combustíveis, gases de solda, lubrificantes, solventes e tintas;
- ▶ manejo de resíduos — assegurar que os resíduos gerados durante a construção e operação não terão impacto significativo no ambiente e descrever as quantidades, as classificações, a frequência de geração, o método de manejo e a proposta de disposição;
- ▶ recursos biológicos — descrever os recursos biológicos, com o objetivo de evitar ou minimizar os impactos negativos potenciais sobre as espécies e os habitats sensíveis especificados pelas autoridades estaduais e federais;
- ▶ recursos do solo — evitar ou minimizar mudanças nas terras agrícolas;

- ▶ recursos hídricos — avaliar os potenciais impactos da construção e operação da planta heliotérmica sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- ▶ recursos culturais — evitar ou minimizar os impactos sobre o patrimônio arqueológico, histórico, arquitetônico e cultural;
- ▶ perigos e recursos geológicos — analisar o potencial de perigos geológicos que o projeto pode encontrar, como sismicidade e estruturas geológicas, de maneira a assegurar que a planta esteja de acordo com a legislação;
- ▶ recursos paleontológicos — avaliar a sensibilidade paleontológica do sítio e entorno, com o objetivo de proteger e manter os fósseis;
- ▶ uso da terra — demonstrar que o uso da terra é adequado aos propósitos do projeto, de maneira a evitar a grilagem dentro de uma comunidade ou região;
- ▶ tráfego e transporte — desenvolver um modelo de tráfego que revele os impactos da construção e operação da planta sobre o transporte público;
- ▶ efeitos nocivos e segurança da linha de transmissão — assegurar que qualquer linha de transmissão, subestação ou equipamento elétrico entre a planta e as linhas públicas estejam projetadas de acordo com os padrões de saúde pública, segurança e confiabilidade;
- ▶ socioeconomia — demonstrar que não haverá impacto negativo sobre as condições socioeconômicas locais, além de apresentar os benefícios, como a melhoria das condições de vida da população local e o aumento dos investimentos em infraestrutura;
- ▶ recursos visuais — avaliar a influência que a planta pode ter sobre a paisagem em termos de características estéticas e cênicas e qualidade do ambiente.

3.2. AMÉRICA DO SUL

Na América do Sul, Chile, Argentina e Brasil já desenvolvem projetos heliotérmicos. O Chile, com um projeto de usina de 110 MW, lidera o ranking e vem atraindo grande interesse da indústria heliotérmica como mercado emergente. Enquanto isso, o Brasil e a Argentina desenvolvem seus primeiros projetos de energia heliotérmica e se mostram cada vez mais abertos à introdução dessa tecnologia na rede elétrica e, especialmente, em aplicações industriais.

Em outubro de 2013, foi assinada no Chile uma lei que estabeleceu que 20% da geração solar do país deveria utilizar fontes renováveis não convencionais até 2015, incluindo a fotovoltaica e a heliotérmica. A partir de então, o Ministério da Energia e a Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) passaram a promover licitações e a aceitar propostas de projetos na área.

A primeira planta heliotérmica na América do Sul, a Atacama-1, será construída pela empresa espanhola Abengoa Solar na região do Antofagasta, no norte chileno. O projeto terá capacidade de 110 MW e 17,5 horas de armazenamento térmico, possibilitando a distribuição ininterrupta de energia limpa. A aprovação ambiental para construção da Atacama-2, com 110 MW heliotérmicos e 100 MW fotovoltaicos, já foi concedida.

Figura 13. Usina heliotérmica na região de Antofagasta, Chile



Localização:
Comuna de María Elena, Antofagasta, Chile

Capacidade instalada:
210 MW (110 MW torre solar e 100 MW fotovoltaica)

Tecnologia:
saís fundidos, torre solar e fotovoltaica

Status:
em construção

Fonte: Albenga Solar (2014b)

Disponível em: <http://www.abengoasolar.com/web/en/plantas_solares/plantas_propias/chile/>

A Antofagasta é uma das áreas que mais recebem radiação solar direta no continente sul-americano e no mundo. A área é vizinha à província de Salta, na Argentina, onde o primeiro projeto heliotérmico argentino será construído.

Apesar de a Argentina demonstrar interesse em relação às usinas heliotérmicas desde 2010, somente em 2013 o Instituto Nacional de Tecnologia Industrial e o Instituto de Investigação em Energia Não Convencional (INTI e Inenco) anunciaram um projeto no país. A primeira aplicação heliotérmica será uma usina-piloto de 30 kW que utilizará a tecnologia Fresnel linear e desenvolverá o conceito de “cascatas de energia”: após o calor passar pelas turbinas de geração elétrica, o calor residual será novamente aproveitado em ventiladores de uma planta de secagem de pimentões para a fabricação de até cinco toneladas de páprica.

Ainda que a inserção da helioterminia na rede elétrica sul-americana esteja em fase inicial, muitos mercados já se encontram maduros para aplicações na indústria e preparam o terreno para a integração da tecnologia em suas redes elétricas. Com o início das operações dos primeiros projetos no continente, será uma questão de tempo até a helioterminia crescer no mercado sul-americano.

3.3. BRASIL

O mercado brasileiro de energias renováveis também se mostra promissor para a consolidação da helioterminia. O Brasil estabeleceu a meta de ter 3,5 GW de capacidade solar em operação até 2023, produzindo 1,8% da eletricidade do país. Um projeto-piloto de 1 MW já está em andamento em Petrolina (PE). Além disso, em julho de 2014, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) realizou um leilão A-5 para contratar energia, incluindo 240 MW em projetos heliotérmicos espalhados pela região do Semiárido.

“Cabe ainda mencionar o Leilão de Energia de Reserva 2014 (LER 2014), que contou com um produto específico para a energia solar, ou seja, em que essa fonte não concorreu com outras.

O LER 2014 contou com o cadastramento de 400 projetos de geração fotovoltaica, correspondente a 10.790 MW de potência. Foram contratados 31 empreendimentos, representando 889,66 MW de potência e 202,3 MW médios de garantia física, ao preço médio de R\$ 215,12/MWh, deságio de 17,9% frente ao preço máximo fixado (R\$ 262,00/MWh). Os projetos exigirão investimento de R\$ 4,1 bilhões. ►

► A título de comparação, no mesmo leilão, foram contratados 333,40 MW médios de garantia física (769,10 MW de potência) de fonte eólica, ao preço de R\$ 142,34/MWh. Já em 2013, as termelétricas movidas por biomassa, as pequenas centrais hidrelétricas, e as usinas hidrelétricas venderam energia em leilões organizados pelo Poder Executivo aproximadamente a R\$ 115,00/MWh, R\$ 140,00/MWh e R\$ 100,00/MWh, respectivamente.

Antes do LER 2014, o Estado de Pernambuco já havia realizado um leilão específico para a fonte solar, em dezembro de 2013. Foram contratados 6 projetos com 122 MW de potência total, ao preço médio de R\$ 228,63/MWh.”

Rutelly Marques da Silva, *Energia solar no Brasil* (2015, p. 15).

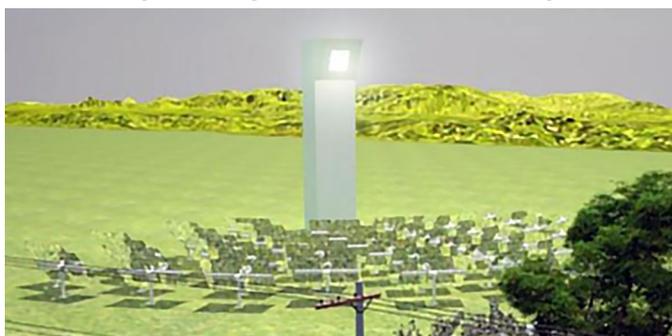
A Petrobras planeja criar uma planta de geração de calor com foco no tratamento e na separação de óleo. A planta, concebida com a tecnologia torre solar, está sendo projetada com capacidade de 3 MW. Outro exemplo importante é o da empresa italiana Archimede Solar Energy, que, em novembro de 2013, anunciou a construção de uma planta de calhas parabólicas com capacidade de 1,4MW para alimentar a fábrica de pneus da Pirelli em Feira de Santana (BA).

Devido à excelente localização geográfica e aos valores potencialmente altos de DNI, a Região Nordeste representa grande potencial para a utilização de tecnologias heliotérmicas. Além disso, as capacidades industriais brasileiras, especialmente de termoelétricas, oferecem boas condições para a integração com essas alternativas.

Ainda não há empreendimentos heliotérmicos para geração de energia elétrica em nível comercial no Brasil. Em 2013, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) lançou o primeiro edital de pesquisa em heliotermia, via Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Há atualmente três projetos em fase de implantação, demonstrando o alto nível da pesquisa científica brasileira, capaz de absorver as tecnologias hoje associadas a países industrializados, como a Alemanha, a Espanha e os Estados Unidos:

- **Pirassununga (SP)** — Torre solar. Plataforma exclusivamente de pesquisa de propriedade da Universidade de São Paulo (USP) dentro do projeto Smile (Sistema Solar Híbrido com Microturbina para Geração de Eletricidade e Cogeração de Calor na Agroindústria). Trata-se de duas torres, cada uma com 100 kW de potência instalada, que serão utilizadas para suprir as necessidades elétricas e de calor em atividades agroindustriais de laticínios e matadouro. A princípio, as torres não terão armazenamento técnico, mas foram projetadas para tal. A região de Pirassununga apresenta níveis de DNI de 2.065 kW/m²/a e a área da usina ocupará 0,7ha;

Figura 14. Imagem da torre solar de Pirassununga



Fonte: Energia Heliotérmica Brasil.

Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/noticias/489-duas-torres-solares-serao-construidas-no-brasil-em-2016>>

- ▶ **Caiçara do Rio dos Ventos (RN)** — Torre solar. Planta comercial de propriedade da Solinova, empresa nascida na USP, em 2008, para desenvolver tecnologia nacional de geração hibridizada de energia elétrica e térmica em alta temperatura. A DNI da região é de 1.999 kW/m²/a. A planta ocupará um hectare e terá 75 heliostatos;
- ▶ **Petrolina (PE)** — a fim de explorar o potencial heliotérmico do Brasil, em 2010, o MCTIC e o Ministério de Minas e Energia (MME) assinaram um acordo para a construção de uma plataforma de pesquisa no Semiárido brasileiro. A princípio, será viabilizado um projeto de calhas parabólicas e capacidade instalada de 1 MW em Petrolina. Executado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) e pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), o projeto pretende inserir a tecnologia solar no mercado brasileiro e avaliar o potencial da região Nordeste. Não se prevê armazenamento no projeto inicial; no entanto, em fases posteriores, um tanque de armazenamento poderá ser acoplado ao sistema.

Várias pesquisas estão em curso em universidades do Distrito Federal, de Santa Catarina, do Rio de Janeiro, de São Paulo, da Paraíba, do Pernambuco e do Ceará. Em outro edital, aberto pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e pela GIZ, representando a cooperação alemã, foram selecionados três projetos de pesquisa em cooperação com institutos brasileiros e alemães³.

4. ESTRATÉGIAS PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Algumas ações são capazes de levar a um processo de licenciamento mais seguro e parametrizado. O instrumento de gestão **Avaliação Ambiental Estratégica (AAE)**, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), tem como vantagens na atual discussão sobre a implantação da energia heliotérmica no país:

- ▶ visão abrangente das implicações ambientais, implementando uma política de redução das desigualdades sociais e dos impactos ambientais da tecnologia;
- ▶ segurança de que as questões ambientais são tratadas adequadamente;
- ▶ facilitação do encadeamento de ações ambientalmente estruturadas;

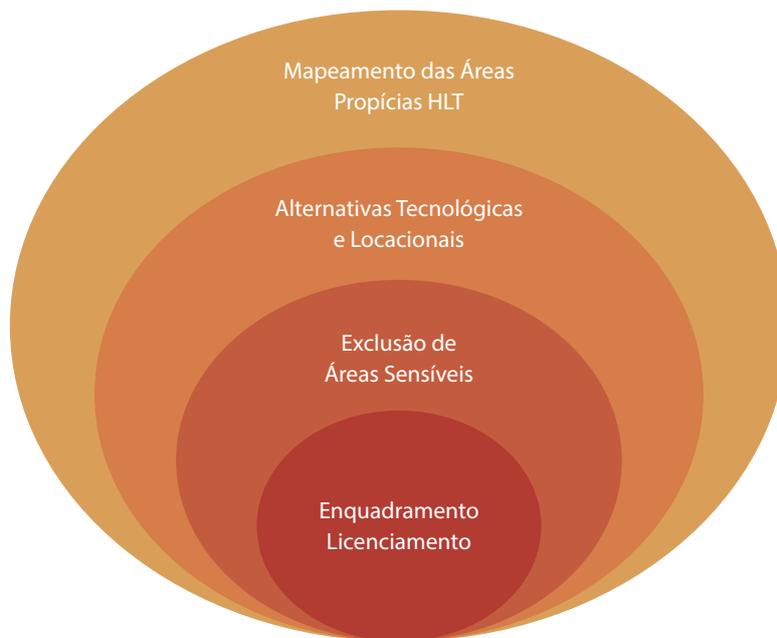
“**Avaliação Ambiental Estratégica** é o procedimento sistemático e contínuo de avaliação da qualidade do meio ambiente e das consequências ambientais decorrentes de visões e intenções alternativas de desenvolvimento, incorporadas em iniciativas tais como a formulação de políticas, planos e **programas** (PPP), de modo a assegurar a integração efetiva dos aspectos biofísicos, econômicos, sociais e políticos, o mais cedo possível, aos processos públicos de planejamento e tomada de decisão.”

Partidário, 1999 citado por Ministério do Meio Ambiente, *Avaliação ambiental estratégica* (2002, p. 15)

³ Ver <www.nopa-brasil.net/pt/index.html>.

- ▶ antecipação de prováveis impactos das ações e dos projetos necessários à implementação dos planos e programas que estão sendo avaliados; e
- ▶ contextualização para a avaliação dos impactos ambientais cumulativos potencialmente gerados pelos projetos.

Figura 15. Processo de Avaliação Ambiental Estratégica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela AAE, faculta-se ao Estado reverter quadros de declínio socioeconômico — por exemplo, priorizando áreas em processos de desertificação — e mapear áreas mais sensíveis do ponto de vista socioambiental, o que levaria a uma fase de triagem locacional e tecnológica mais substantiva, equilibrada e sustentável. Assim, como instrumento indissociável de uma política de desenvolvimento sustentável, a AAE possibilita integrar elementos estratégicos para enquadrar o empreendimento e para definir os dados e **aspectos** que devem ser reunidos para a **avaliação de impacto ambiental** e o consequente licenciamento ambiental.

Recomenda-se que os estados brasileiros com maior potencial solarimétrico realizem estudos prévios para a integração de critérios locacionais excludentes e/ou preferenciais para a instalação da geração heliotérmica. São critérios que podem ser apostos a planos de ordenamento territorial e/ou de zoneamento ecológico-econômico:

- ▶ áreas afetadas por processos de desertificação (núcleos, graves e/ou moderados estados) — a preferência por áreas desertificadas pode ser uma excelente opção para reabilitar áreas com baixo potencial produtivo (Figura 16);
- ▶ espaços legalmente protegidos, como unidades de conservação de proteção integral e suas respectivas zonas de amortecimento ou áreas prioritárias para a conservação (Figura 17);

Figura 18. Zona costeira.



Fonte: Wikimedia Commons, sob licença Creative Commons 4.0
Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Litoral_Potiguar.jpg>

Figura 19. Formações dunares.



Fonte: Wikimedia Commons, sob licença Creative Commons 3.0
Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dunas_e_lagoas_dos_Len%C3%A7ois_Maranhenses_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dunas_e_lagoas_dos_Len%C3%A7ois_Maranhenses_(cropped).jpg)>

Figura 20. Mata Atlântica.



Fonte: Wikimedia Commons, sob licença Creative Commons 3.0
Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capara%C3%B3_e_a_Mata_Atl%C3%A2ntica.jpg>

Figura 21. Aves migratórias.



Fonte: Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil - ICMBIO/2016

Figura 22. Comunidades quilombolas.



Fonte: Wikimedia Commons, sob licença Creative Commons 3.0
Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Povoado_remanescente_de_quilombos_-_Engenho_Il.jpg>

Figura 23. Comunidades indígenas.



Fonte: Wikimedia Commons, sob licença Creative Commons 3.0
Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parque_Ind%C3%ADgena_do_Xingu.jpg>

5. ATIVIDADES DE PROJETO E IMPACTOS POTENCIAIS

O desenvolvimento da heliotermia no Brasil passa pelas mesmas fases de qualquer empreendimento do setor elétrico, que resultam de atividades comuns envolvendo obras civis e causam impactos diferenciados a depender da tecnologia. Considerando as ponderações feitas nos capítulos anteriores e a nítida vantagem do uso de energia solar, processos simplificados de licenciamento devem ser pensados pelos tomadores de decisão.

Tendo como premissas a sustentabilidade do uso da fonte solar e a adoção de estratégias prévias para a seleção do sítio, a atenção pode ser direcionada para aqueles impactos negativos realmente preocupantes. Esses impactos, quando submetidos aos critérios qualificativos previstos na Resolução do Conama 1, de 23 de janeiro de 1986, podem e devem ser ponderados no sentido de propiciar um processo simplificado de licenciamento. Assim, a avaliação de impacto ambiental de uma heliotérmica deve ser menos complexa e demorada que a de termoelétricas com fontes de combustíveis fósseis.

Neste capítulo, para parametrizar os dados e aspectos que devem ser diagnosticados, parte-se de uma lista preliminar de atividades de projeto e seus impactos. Três perguntas basilares permitem estabelecer elementos decisivos para a elaboração de Termos de Referência coerentes com uma visão processual mais simples:

- a. as heliotérmicas podem ser consideradas de baixo impacto?
- b. quais são os impactos mais significativos de uma heliotérmica?
- c. quais são os aspectos mais importantes para as etapas de licenciamento prévio, instalação e operação?

As seções a seguir oferecem subsídios para a resposta a essas perguntas por parte dos agentes tomadores de decisão.⁴

5.1. FASES DO EMPREENDIMENTO

Para estabelecer os aspectos e dados que devem ser extraídos dos estudos para fundamentar a avaliação de impacto ambiental, faz-se necessário compreender as fases de construção, seus impactos ambientais e as medidas ambientais capazes de evitá-los ou minimizá-los, bem como de potencializar os impactos positivos. A Figura 24 apresenta as principais atividades por fase do empreendimento.

⁴ Essas três perguntas serão retomadas no capítulo 6.

Figura 24. Fases de um empreendimento heliotérmico



Fonte: Elaborado pelos autores.

5.1.1. PLANEJAMENTO

A fase de planejamento é a fase em que se programam e se organizam as atividades do Estudo de Alternativas Tecnológicas e Locacionais, discriminando os levantamentos e estudos necessários e estimando duração e custos. O produto final deve ser um Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental, elaborado concomitantemente aos estudos ambientais que subsidiarão o licenciamento prévio do empreendimento.

Nesta fase, são consultados órgãos ambientais e de recursos hídricos (quando do uso de água no sistema), bem como comitês, associações ou outras instituições relacionadas ao licenciamento ambiental. É nessa fase, também, que se avaliam os benefícios e custos de engenharia e meio ambiente.

A duração do planejamento depende das necessidades das obras propostas quanto a: prazos, recursos financeiros, disponibilidade de fornecimento por parte dos fabricantes e fornecedores, capacidade dos projetistas para produzir os documentos técnicos, obras, os próprios empreiteiros e, precedentemente, o licenciamento ambiental, com os programas propostos e condicionantes da Licença Prévia.

5.1.2. INSTALAÇÃO

A fase de instalação inicia-se com a Licença de Instalação e, portanto, depois da aprovação de um plano de controle ambiental que contemple todos os programas ambientais propostos nos estudos ambientais, com base nas medidas mitigadoras e compensatórias.

Com a aprovação desse plano e de posse das condicionantes das licenças, podem ser iniciadas as obras, que devem se pautar no projeto básico de engenharia. Esse projeto detalha as ações das obras, as dimensões finais das estruturas, o Canteiro de Obras, o tratamento de efluentes líquidos e sólidos, os acessos, o abastecimento de água e energia, as jazidas de

materiais, bem como os fabricantes e fornecedores de equipamentos e suas especificações finais, além do cronograma das atividades e ações do plano de controle ambiental.

As obras serão desenvolvidas de forma mais adequada na medida em que houver integração entre as equipes de meio ambiente e engenharia.

5.1.3. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A fase de operação e manutenção é iniciada tão logo se dispõe da Licença de Operação, mediante constatação, pelo órgão ambiental, do cumprimento dos programas, das medidas mitigadoras e dos condicionantes das licenças precedentes.

Nessa fase, iniciam-se os testes de operação das máquinas e estruturas da usina, e é feito o comissionamento das instalações, isto é, a verificação final da planta. Realizados esses testes, as usinas podem começar a gerar energia comercialmente. Nesta fase, em especial em se tratando de heliotermia, uma tecnologia relativamente desconhecida no Brasil, é essencial que o gerenciamento ambiental forneça, a partir da execução dos programas ambientais, um *feedback* para a correção de desvios dos objetivos de conservação e preservação ambiental, para a relatoria dos impactos reais e possíveis danos ambientais que venham a ocorrer com a operação.

Nas novas plantas heliotérmicas, alguns programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação podem ser incentivados pela ANEEL de maneira a garantir um acúmulo de conhecimento e a transmissão das lições aprendidas no Brasil. O intuito é fortalecer e garantir os princípios de sustentabilidade ambiental das plantas solares.

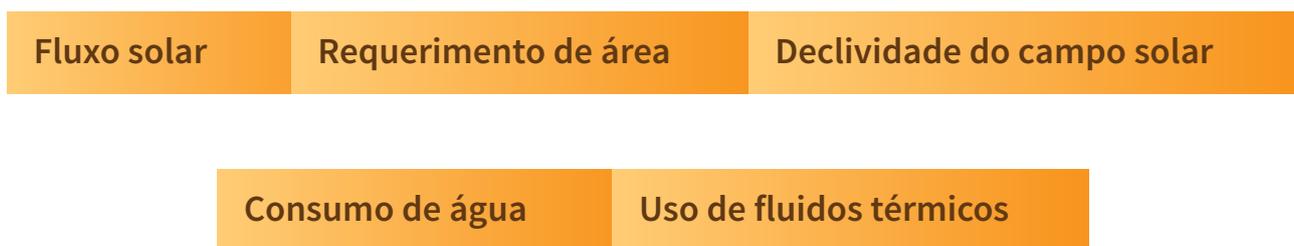
5.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Do ponto de vista ambiental, os quesitos que mais chamam a atenção quando se comparam as heliotérmicas são:

- ▶ foco: sistemas com focos pontuais atingem temperaturas mais elevadas, podendo provocar maiores impactos sobre as condições microclimáticas e consequências de difícil mitigação para a fauna alada e para o conforto ambiental local;
- ▶ requerimento de área: há uma relação boa entre dimensão e energia gerada (a maioria das hidrelétricas instaladas no Brasil apresentam relações bem maiores que 10 ha/MW), especialmente em se tratando de áreas que têm potencial solarimétrico interessante e menor potencial de aproveitamento produtivo do solo;
- ▶ hibridização: arranjo no qual, em vez de um sistema de armazenamento de calor, há uma caldeira auxiliar para complementar o calor gerado nos coletores. A caldeira geralmente utiliza combustível fóssil (gás natural é o mais frequente), o que pode ser um componente importante da avaliação de impactos da planta heliotérmica;

- ▶ declividade máxima do campo solar: para atender a esse critério, são necessárias ações para a reconformação topográfica, a exemplo de cortes e aterros, com seus consequentes impactos ambientais;
- ▶ consumo de água: as áreas com melhor potencial para a implantação de heliotérmicas são aquelas que apresentam menor disponibilidade hídrica, o que pode ser um complicador para a seleção do sistema de resfriamento da planta;
- ▶ aptidão para o resfriamento a seco: pela mesma razão que o item anterior, esta opção implica menor pressão sobre os recursos hídricos escassos nas regiões atrativas para a heliotermia;
- ▶ armazenamento térmico com sais fundidos: apesar de não implicar grandes riscos em condições normais de temperatura e pressão, a natureza química desses sais fundidos pode representar atenção redobrada quanto à saúde ocupacional durante a operação e manutenção dos sistemas. Ao mesmo tempo, pode ser positiva para a confiabilidade na despachabilidade da usina.

Figura 25. Requisitos mais importantes de uma heliotérmica do ponto de vista ambiental



Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale ressaltar que essas características técnicas permitem especificar os impactos próprios de cada tecnologia, a qual se apresenta sob sistemas diferenciados de refrigeração e/ou propicia armazenamento térmico.

Os impactos ambientais potenciais das heliotérmicas são entendidos como: aqueles comuns a qualquer empreendimento gerador de energia elétrica em suas fases de planejamento e construção; e aqueles exclusivos, que resultam em medidas mitigadoras (impactos negativos) e potencializadoras (impactos positivos). A seguir, são apresentados impactos referentes às três fases descritas anteriormente: planejamento; instalação; operação e manutenção.

5.2.1. FASE DE PLANEJAMENTO

O Quadro 2 apresenta os impactos ambientais das atividades de planejamento e as respectivas medidas ambientais para seu controle e monitoramento. Ainda não há, nessa fase, impactos mais preocupantes e/ou exclusivos de uma heliotérmica.

Quadro 2. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva **medida ambiental** — fase de planejamento

Atividade e impacto	Medida
<p><i>Atividade:</i> divulgação da possibilidade de implantação de heliotérmicas no município</p> <p><i>Impacto:</i> conflito da destinação para geração heliotérmica do solo com uso e ocupação previstos em zoneamentos e planos diretores municipais.</p>	<p>Realizar adequação prévia às limitações fundiárias e/ou de ordenamento territorial das áreas alternativas, cotejando com as exigências mínimas: DNI, proximidade a linhas de transmissão, acessos e declividade.</p>
<p><i>Atividade:</i> interação com a população local durante levantamentos de campo para os estudos</p> <p><i>Impacto:</i> geração de expectativas e dúvidas na sociedade pelo fato de se tratar de uma tecnologia nova — o desconhecimento pode levar à criação de mitos e incertezas.</p>	<p>Campanha prévia de comunicação e participação social com os atores locais diretamente envolvidos, de maneira a disseminar a tecnologia e seus impactos positivos e negativos, bem como as repercussões positivas (alta despachabilidade) no SIN. O objetivo é reduzir as incertezas da população quanto à heliotermia.</p>
<p><i>Atividade:</i> estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • comprometimento da suficiência dos estudos prévios, em razão da ausência de metodologia padronizada para usinas heliotérmicas no Brasil; • e maior probabilidade de excluir locais e ambientes com alta suscetibilidade socioambiental. 	<p>Buscar a criação de padrões, na Apresentação de Estudos de Viabilidade e Projeto Básico de Usinas Termoelétricas, referentes às condições específicas para heliotérmicas.</p> <p>Integrar às áreas com potencial para geração heliotérmica os fatores socioambientais de restrição e de maior sensibilidade para subsidiar os estudos de alternativas locais.</p> <p>Atender, no caso dos estados com maior potencial solarimétrico, às estratégias prévias (descritas no capítulo 4) e realizar estudos para a sobreposição de critérios locais excludentes e preferenciais para a instalação de heliotérmica.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.2.2. FASE DE INSTALAÇÃO

O Quadro 3 apresenta os impactos ambientais comuns da instalação e construção de uma heliotérmica e as respectivas medidas ambientais para seu controle e monitoramento.

Quadro 3. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva medida ambiental — fase de instalação

Atividade e impacto	Medida
<p><i>Atividade:</i> ocupação da área para a instalação, cujos impactos são comuns a todas as ações subjacentes</p> <p><i>Impacto:</i> afetação de sítios históricos, arqueológicos e culturais.</p>	<p>Realizar levantamentos prévios para a identificação de evidências arqueológicas, históricas e culturais que tenham que ser prospectadas e, se for o caso, resgatadas.</p>

Atividade e impacto	Medida
<p><i>Atividade:</i> aquisição de terras — estima-se que, para cada MW instalado, sejam necessários 3ha. de terra, com uma tendência de maior uso da terra na torre solar e menor uso no refletor linear Fresnel.</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • geração de especulação imobiliária, pois proprietários, arrendatários e posseiros devem deixar as terras e/ou compatibilizar suas atividades com o que for permitido dentro do campo solar e sua área de influência direta; • e relocação compulsória de pessoas e/ou comunidades. 	<p>Incluir, na campanha de comunicação social, as restrições de uso das áreas que receberem plantas heliotérmicas.</p> <p>Manter atualizado o levantamento socioeconômico das condições de vida dos afetados.</p> <p>Manter a transparência nas negociações com a divulgação dos critérios da Pauta de Valores, quando da realização do Cadastro Socioeconômico e Fundiário (LI).</p> <p>Definir critérios para a relocação de comunidades respeitando relações de vizinhança e parentesco.</p> <p>Buscar medidas que garantam restabelecer as relações produtivas, culturais, religiosas e artísticas dos grupos relocados.</p>
<p><i>Atividade:</i> contratação de mão de obra e de subcontratadas — estima-se que são necessárias 10 a 15 pessoas/MW para a construção e 1 pessoa/MW na operação de uma planta comercial</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • geração de empregos diretos e indiretos; • e pressão sobre os serviços básicos, principalmente de pequenos municípios, devido ao aumento populacional. 	<p>Divulgar, selecionar e capacitar a mão de obra.</p> <p>Treinar e capacitar pessoas da localidade para a instalação da planta.</p> <p>Preparar o município para receber excedente populacional, no caso de a mão de obra necessária para a construção ser maior que 10% da população residente.</p>
<p><i>Atividade:</i> abertura e/ou pavimentação de acessos e vias</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • geração de áreas de empréstimo e bota-fora; • e aumento da suscetibilidade ao arraste de solo pela ação do vento e da água (processos erosivos). 	<p>Recuperar as áreas degradadas (PRAD).</p> <p>Empreender ações para o controle de erosão.</p> <p>Aplicar as boas práticas de construção civil.</p>
<p><i>Atividade:</i> implantação do canteiro de obras</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • geração de trânsito de pessoas e veículos pesados; • aumento de ruídos e poeira (material particulado); • geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos; • aumento de riscos de acidentes com pessoas e produtos perigosos; • ocorrência de processos de erosão/sedimentação em solos e cursos d'água; • e geração de conflitos entre a população local e pessoas vindas de outras localidades (saúde, abusos, prostituição, hábitos perniciosos). 	<p>Manter controle ambiental da obra, bem como gerenciar e fiscalizar subcontratadas para regular o uso e a ocupação do canteiro de obras, que deve estar sob a total responsabilidade do empreendedor.</p> <p>Recuperar as áreas degradadas quando da desconstituição do canteiro.</p> <p>Implantar sistemas adequados de destinação de resíduos e efluentes.</p> <p>Realizar o gerenciamento específico de resíduos perigosos.</p> <p>Empreender ações para o controle de erosão.</p> <p>Manter controle social dos funcionários envolvidos na obra por meio de ações educativas (sobre temas como doenças sexualmente transmissíveis e aids, por exemplo) e fazer reconhecimento dos possíveis conflitos comuns em obras de maior porte.</p>

Atividade e impacto	Medida
<p><i>Atividade:</i> transporte de equipamentos e materiais pesados</p> <p><i>Impactos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • transtorno no trânsito local em função do aumento do tráfego de veículos pesados; • incômodos na vizinhança por causa do ruído; • aumento do risco de atropelamento de pessoas e da fauna; • e aumento do risco de acidentes, em especial com cargas perigosas. 	<p>Adequar as vias locais.</p> <p>Sinalizar e restringir horários para o trânsito de veículos pesados.</p> <p>Sinalizar e disciplinar o trânsito de veículos.</p> <p>Traçar plano de emergência para cargas perigosas.</p> <p>Traçar plano de contingência do empreendimento.</p>
<p><i>Atividade:</i> desmobilização da mão de obra</p> <p><i>Impacto:</i> aumento da disponibilidade de mão de obra capacitada na montagem de componentes do sistema elétrico.</p>	<p>Divulgar os novos empreendimentos solares, habilitando-os para absorção em outros empreendimentos, o que normalmente ocorre com outras fontes de energia (por exemplo, os “barrageiros”).</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além dos impactos ambientais comuns, há na fase de instalação impactos mais preocupantes e/ou exclusivos de uma heliotérmica. Esses impactos são comentados a seguir e acompanhados de suas respectivas medidas ambientais.

- ▶ Supressão da vegetação para abertura de acessos, instalação do canteiro e construção da planta, bem como da adutora linha de transmissão ou outra estrutura acessória necessária para o funcionamento da usina heliotérmica.

Essas ações, comuns a qualquer projeto de infraestrutura, podem comprometer a biodiversidade local, com a morte de animais e plantas, e a biodiversidade regional, devido à fragmentação de habitats e perda de nichos.

Como praticamente todo o campo solar é ocupado, o impacto da supressão da vegetação se prolonga para a fase de operação. A magnitude do impacto sobre a biodiversidade depende do estado de conservação da área e da região, da diversidade de espécies e da presença de espécies ameaçadas. No sudoeste dos Estados Unidos, por exemplo, a instalação de usinas solares impactou o habitat da tartaruga do deserto de Agassiz (*Gopherus agassizii*), uma espécie ameaçada, demandando ações de translocação de tartarugas e de conservação de ambientes.

Nas áreas previstas para a instalação de usinas heliotérmicas, por serem preferencialmente situadas em regiões áridas e semiáridas, acredita-se que os impactos das usinas possam ser prevenidos com a adoção de critérios ambientais para seleção da área, atividade que é desenvolvida durante os Estudos de Alternativas Locacionais e Tecnológicas. Um zoneamento ambiental prévio que una o potencial solarimétrico e as sensibilidades ambientais da área de projeto, por estado, pressupõe evitar áreas com maior biodiversidade.

A principal medida mitigadora deve, portanto, ser adotada na fase de planejamento, quando da seleção das alternativas locacionais — deve-se evitar áreas com vegetação nativa, próximas a unidades de conservação ou de outras áreas de importância biológica,

e priorizar áreas desertificadas e degradadas. Mesmo depois da seleção da área, ajustes e otimizações do projeto podem contribuir para evitar locais mais vegetados ou com ocorrência comprovada de espécies especiais (endêmicas, em extinção, raras).

Ainda considerando que a área selecionada contenha importantes fragmentos de vegetação e/ou fauna nativa associada e que o impacto tenha alta magnitude e grande importância, respeitando a legislação/normatização de cada estado, a compensação florestal será necessária como medida mitigadora. Para áreas em bom estado de conservação, requerem-se condicionantes adicionais, como a compensação ambiental e o resgate de germoplasma vegetal e da fauna associada.

► **Comprometimento de populações tradicionais locais;**

A medicina popular é uma prática milenar de manutenção do bem-estar, prevenção, diagnóstico, tratamento e cura de doenças utilizando minerais, rituais mágicos e religiosos, e empregando comumente animais e plantas. No Nordeste, por exemplo, há mais de 300 espécies medicinais. A instalação de heliotérmicas pode comprometer as populações tradicionais e seus conhecimentos.

Recomenda-se que sejam investigadas as plantas utilizadas como medicinais em comunidades que porventura venham a ser afetadas com a supressão, buscando o entendimento da relação tradicional do homem e da flora, com perspectivas de valorização desses saberes e levando em conta a dimensão educacional. Meios para a propagação e perpetuação desses saberes deverão ser considerados nas medidas e nos programas.

Figura 26. Supressão de vegetação



Fonte: <<http://www.ricardobanana.com/wp-content/uploads/2014/10/imagem35.jpg>>

► **Comprometimento do patrimônio arqueológico e paleontológico local;**

Durante a supressão de vegetação e, posteriormente, na terraplanagem e nas escavações, a atividade das máquinas pode afetar o patrimônio arqueológico e

paleontológico porventura existente na área. Achados paleontológicos importantes impõem investigações prévias para evitar tais áreas.

Avaliar os possíveis impactos sobre o patrimônio e, quando for o caso, promover o resgate e a educação patrimonial, conforme previsto na legislação. A anuência do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) é necessária em tal processo.

► Alteração da paisagem;

A paisagem será alterada desde a supressão da vegetação até as fases seguintes de construção e operação da planta heliotérmica. Elementos verticais construídos em um terreno plano tendem a quebrar a linha de apreciação do observador e causar um impacto visual negativo, cuja importância e magnitude serão maiores quando o local estiver próximo a locais de beleza cênica.

O brilho e o reflexo dos espelhos também alteram a paisagem e chamam a atenção. A torre solar pode ter um impacto visual maior que o das outras tecnologias, pois a estrutura verticalizada da torre pode ultrapassar os 100 m. Além disso, o intenso brilho na região do receptor no alto da torre contribui para o destaque da estrutura na paisagem.

Ainda na fase de planejamento, quando do estudo de alternativas locais, deve-se evitar áreas próximas a nucleações, unidades de conservação, monumentos naturais ou locais de reconhecida beleza cênica, ou aquelas que tenham um apelo visual para a comunidade. Em algumas situações, o plantio de árvores na linha de observação pode minimizar tanto o impacto visual como os impactos de ventos no campo solar.

Embora o impacto de alteração na paisagem seja, em princípio, negativo, muitos observadores consideram determinadas construções humanas belas, principalmente quando trazem novidades tecnológicas e arquitetônicas. O aspecto futurista das instalações heliotérmicas pode gerar essa empatia no observador e ser potencializado, quando for o caso, com visitas guiadas e apoio ao turismo local.

► Terraplanagem;

Para aproveitar melhor a radiação solar direta, o campo solar das usinas heliotérmicas deve ser construído em terrenos planos, com declividade inferior a 4%. As tecnologias calha parabólica e refletor linear Fresnel, cujos elementos coletores são dispostos em longas linhas, exigem terrenos ainda mais planos, com menos de 2% de declividade. Para atender a

Figura 27. Fundação de torre solar



Fonte: <<https://www.technologyreview.com/s/428009/in-pictures-the-worlds-largest-solar-thermal-power-plant/>>

esses critérios, o terreno deverá ser nivelado por terraplanagem, o que tem como impactos: a geração de áreas de empréstimo e bota-fora; a eliminação e alteração das drenagens naturais perenes ou intermitentes; a alteração do nível hidrostático subsuperficial; e a aceleração dos processos de erosão e sedimentação.

As alterações físicas na drenagem do sítio podem gerar impactos nos ecossistemas aquáticos. No sudoeste americano, por exemplo, as usinas solares ocasionaram a perda, fragmentação e seca prolongada de cursos d'água efêmeros. Essa situação pode ocorrer no Brasil, em especial na caatinga, cujos cursos d'água intermitentes são importantes para a manutenção da biodiversidade aquática do bioma.

Na fase de planejamento, quando da seleção de áreas potenciais para instalação da planta, devem ser excluídas áreas de maior declividade, normalmente aquelas com inclinação acima de 4%. A escolha de terrenos naturalmente mais planos, por si só, minimiza a necessidade de movimentação de solo (cortes e aterros) e os impactos ambientais e financeiros decorrentes. Assim mesmo, devem ser aplicadas medidas comuns às ações de terraplanagem de outros empreendimentos: controlar a erosão; monitorar os níveis de lençol freático na área de influência; recuperar as áreas degradadas nas áreas de empréstimo e bota-fora e nas zonas lindeiras, em razão da movimentação de máquinas pesadas, quando da conclusão da preparação do campo solar; e, caso seja necessário o uso de material de empréstimo, obtê-lo de jazidas licenciadas.

Figura 28. Terraplanagem



► **Fundação;**

As fundações são necessárias para a instalação dos helióstatos ou elementos coletores em todo o campo solar, que devem ser rígidos o suficiente para suportar os ventos e manter a precisão do foco. O tamanho da fundação e a quantidade de solo removido dependem do tamanho da estrutura a ser instalada e das características geotécnicas do local. A torre solar, que pode ultrapassar os 100 m, necessita de uma maior fundação. Os tanques de armazenamento de sais fundidos, quando existentes, também necessitam de fundações especiais para suportar as altas temperaturas. Por fim, as fundações do bloco de potência são típicas de uma planta industrial. Os impactos esperados dessa ação são: geração de bota-fora; alteração do nível hidrostático subsuperficial e subterrâneo; e surgimento de processos erosivos e consequente possibilidade de sedimentação subjacente.

As recomendações para mitigar os impactos das fundações são semelhantes àquelas da terraplanagem. Incluem recuperar as áreas e destinar adequadamente os resíduos da construção, monitorar os níveis de lençol freático na área de influência e empreender ações para o controle de erosão.

► Montagem eletromecânica e obras civis;

Nesta fase, ocorre grande movimentação no canteiro de obras e na área diretamente afetada, pois os suprimentos chegam e as subcontratadas e os fornecedores instalam suas unidades para apoiar a montagem das estruturas do campo solar e do bloco de potência. As principais matérias-primas requeridas para as heliotérmicas são o aço, o vidro, o concreto, o fluido térmico e o cobre. Um primeiro impacto disso é a geração de resíduos da construção. Esses resíduos são os mesmos da construção de outras plantas industriais, mas incluem espelhos do campo solar, que podem quebrar durante o transporte ou a montagem.

A adoção de ações para a correta gestão dos resíduos gerados durante a construção da heliotérmica, conforme previsto na legislação, é uma exigência para garantir a qualidade ambiental da obra.

► Poluição por resíduos perigosos

Durante a construção, até o final da montagem da planta, são utilizadas substâncias perigosas, como combustíveis, lubrificantes, tintas, solventes e soldas, comuns na construção de termoelétricas. É também na fase de montagem que ocorre a instalação do fluido térmico na planta.

Alguns dos fluidos térmicos utilizados nas heliotérmicas são específicos dessa tecnologia de geração de energia elétrica, embora utilizados em outras aplicações industriais que necessitam de calor. São instalados em sistemas fechados e rigorosamente controlados e, em geral, não entram em contato com o ambiente, a não ser em caso de acidentes no transporte, na instalação ou na manutenção. A substituição parcial pode ser necessária em alguns casos.

Várias plantas de torre solar e refletor linear Fresnel utilizam a própria água ou vapor como fluido térmico, alimentando diretamente o ciclo térmico do bloco de potência. Entretanto, essas são plantas com pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento térmico. Nesses casos, mesmo que haja acidentes ou vazamentos, os riscos para a saúde humana e o ambiente são insignificantes.

Outros fluidos térmicos estão sendo estudados, desenvolvidos, testados e utilizados nas centrais heliotérmicas, podendo ser gasosos (ar, hélio, CO₂), líquidos (óleos térmicos, sais fundidos, metal líquido) ou sólidos (partículas de cerâmica). Entre aqueles com amplo uso comercial, destacam-se o óleo térmico e os sais fundidos.

Os óleos térmicos, amplamente utilizados nas calhas parabólicas, são fluidos sintéticos compostos de fenil. A maioria dos produtos disponíveis no mercado é composta de bifenil e óxido de difenil. Segundo as informações contidas em suas fichas de segurança, esses produtos podem causar irritação ocular e dérmica e problemas respiratórios. Eles apresentam toxicidade aguda moderada para organismos aquáticos.

Embora mais raros, existem óleos térmicos com outras formulações, como uma mistura aromática metiletilada utilizada na planta canadense City of Medicine Hat ISCC Project. Misturas dessa natureza são mais preocupantes, pois podem conter hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH) carcinogênicos.

Já os sais fundidos são compostos de nitrato de sódio (NaNO_3) e nitrato de potássio (KNO_3), extraídos de salinas naturais (por exemplo, no Chile) ou manipulados na indústria de fertilizantes. Esses sais podem causar irritação na pele, nas membranas e, se ingeridos em grande quantidade, infecção gastrointestinal. Uma vez que são utilizados como fertilizantes, podem levar à eutrofização de corpos d'água. Não são inflamáveis, mas podem aumentar o fogo quando em contato com substâncias redutoras.

Do que se depreende até o momento das pesquisas, os principais fluidos térmicos utilizados nas heliotérmicas não oferecem grandes perigos. Os riscos à saúde humana tendem a ficar mais restritos aos trabalhadores que transportam e manipulam essas substâncias, sendo uma questão de saúde ocupacional. Já no caso de grandes acidentes, em especial no transporte, os impactos podem se estender para além dos limites da planta, atingindo um maior número de pessoas, os solos e os ecossistemas aquáticos. A depender do local e da quantidade derramada, deve-se avaliar a possibilidade de a substância atingir o lençol freático.

As medidas para minimizar os riscos dos fluidos térmicos para a saúde humana e o ambiente não vão além daquelas previstas na legislação que rege o controle de substâncias químicas, de maneira a garantir o correto transporte, armazenamento, manipulação e destinação final da substância.

O sistema de gestão de qualidade, saúde e meio ambiente deve incluir uma análise de riscos para avaliar os perigos e promover a prevenção, a proteção individual, o controle e o treinamento dos funcionários. Também deve ser detalhado o Plano de Ação Emergencial (PAE) no caso de acidentes com o fluido térmico e o Plano de Contingência, incluindo medidas de contenção para evitar a poluição ambiental. O PAE deve ser submetido ao órgão licenciador quando da solicitação da Licença de Instalação e, posteriormente, modificado para atender às ações próprias da manutenção do campo solar.

No caso de vazamentos ou acidentes, o fluido térmico deve ser recolhido e ter destinação adequada como resíduo. O recolhimento dos sais fundidos é mais simples, pois eles

normalmente cristalizam em temperatura ambiente, diminuindo as chances de percolação no solo e o escoamento para as drenagens.

Como a heliotermia é uma tecnologia nova, pode-se esperar que novos fluidos térmicos sejam desenvolvidos, devendo-se avaliar os riscos à saúde humana e ao ambiente em razão das substâncias químicas constituintes. Em todos os casos, devem-se adotar todas as medidas de segurança e realizar periodicamente a manutenção, limpeza e substituição dos componentes, conforme preconizam as boas práticas de engenharia.

5.2.3. FASE DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Os impactos da fase de operação e manutenção de uma heliotérmica são bem mais específicos do que os das fases anteriores em comparação com outras termoelétricas. A primeira diferença é que o insumo solar não necessita de estocagem e é autóctone. Os impactos restantes decorrem de o circuito de refrigeração do ciclo térmico ser aberto ou fechado e, também, da opção pelo armazenamento térmico. O Quadro 4 descreve os impactos comuns dessa fase e as medidas para lidar com eles.

Quadro 4. Impactos ambientais comuns por atividade e respectiva medida ambiental – fase de operação e manutenção

Atividade e impacto	Medida
<p><i>Atividade:</i> operação da planta solar</p> <p><i>Impacto:</i> incômodo de comunidades vizinhas com o ruído causado pelo bloco de potência.</p>	<p>Na fase de planejamento, a escolha do local da heliotérmica deve evitar a proximidade com áreas densamente habitadas e respeitar o ordenamento territorial do município, quando existente.</p> <p>Estabelecer um raio de restrição de uso residencial ou de equipamentos de saúde e educação suficiente para minimizar o impacto, distanciando-se o suficiente a depender de legislação específica ou como resultado de pesquisas que identifiquem o nível do incômodo⁵. Outra medida seria determinar uma distância mínima do bloco gerador para a instalação de atividades humanas, a exemplo do que ocorre para usinas eólicas (Resolução Conama 462/2014).</p> <p>Os recursos disponíveis para amortecimento desses ruídos são poucos, dada a dificuldade de lidar com uma gama de frequências e intensidades variadas. A solução mais adotada é o enclausuramento dos equipamentos em contêiner com as paredes revestidas com material atenuador, o que possibilita reduzir o nível de ruído até o atendimento às normas da ABNT (NBR 10.151, especialmente).</p>
<p><i>Atividade:</i> transmissão e geração de energia</p> <p><i>Impacto:</i> aumento da confiabilidade do SIN.</p>	<p>Incentivar a ampliação da oferta de energia heliotérmica.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além dos impactos ambientais comuns, há na fase de operação e manutenção impactos mais preocupantes e/ou exclusivos de uma heliotérmica. Esses impactos são comentados a seguir e acompanhados de suas respectivas medidas ambientais.

⁵ Acima de 75 dB, acontece um desconforto acústico, em qualquer situação ou atividade. Nessas condições, há uma perda da inteligibilidade da linguagem e a comunicação fica prejudicada, passando a ocorrer distrações, irritabilidade e diminuição da produtividade no trabalho. Acima de 80 dB, as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição, o que se generaliza para níveis superiores a 85 dB.

► Comprometimento da disponibilidade hídrica local

A transferência de calor inerente a uma planta termoelétrica é uma questão diretamente ligada aos recursos hídricos, uma vez que se utiliza água no ciclo do vapor, que irá mover a turbina, assim como na condensação desse vapor.

Os cálculos de disponibilidade da água e balanço hídrico associados à demanda de água de refrigeração nessas usinas são fundamentais para a tomada de decisão técnica e ambiental da solução de engenharia a ser adotada. O uso da água nos sistemas de refrigeração torna essas plantas mais eficientes, mas acarreta maiores impactos ao meio ambiente. Esse aspecto é mais relevante ou limitante em projetos localizados em climas semiáridos e/ou áridos, portanto deve ser prioritário em qualquer projeto e obedecer aos padrões legais.

A escolha do tipo de sistema de resfriamento está diretamente ligada à disponibilidade de água. A Tabela 3 mostra o consumo de água em L/MWh nas centrais heliotérmicas conforme o sistema de resfriamento. Observa-se que os sistemas resfriados a água (WCC) consomem maior quantidade de água do que os demais sistemas.

Tabela 3. Consumo de água em heliotérmicas

Sistemas de resfriamento*	Tipo de heliotérmica	Volumes captados (l/Mwh)		
		Mínimo	Médio	Máximo
Água (WCC)	Calha parabólica	2.744,42	3.372,80	4.001,18
	Torre solar	2.801,20	3.028,33	3.255,45
	Linear Fresnel	3.785,41	3.785,41	3.785,41
Ar (ACC)	Calha parabólica	162,77	230,91	299,05
	Torre solar	98,42	98,42	98,42
Híbrido	Canal parabólica	397,47	851,72	1.305,97
	Torre solar	340,69	643,52	946,35

* WWC: *water-cooled condenser*; ACC: *air-cooled condenser*
Fonte: Martins (2014, adaptado de MACKNICK *et al.*, 2011).

Para esclarecer tal impacto, é fundamental entender como funcionam esses sistemas de troca de calor.

Sistemas refrigerados a água abertos acarretam mais impactos ambientais e dificuldades para obter a Outorga de Água e Licença em regiões onde a água é um fator limitante, apesar de essa solução representar uma melhor eficiência na geração elétrica.

Sistemas fechados resultam em menos impactos ambientais, maior custo e menor eficiência para a geração elétrica, mas garantem mais agilidade na aprovação da Outorga de Água e no licenciamento.

Sistemas híbridos aumentam a eficiência na geração elétrica, mas têm alto custo de implantação. Paralelamente, têm mais facilidade de obtenção da Outorga do que o sistema fechado.

Os sistemas refrigeradores são de três tipos: de **circuito aberto**, de **sistema fechado** e de **sistema híbrido**. No *circuito aberto* (resfriamento úmido), com consumos da ordem de $3 \text{ m}^3/\text{MWh}$, a água entra no condensador, absorve o calor dos vapores e sai do condensador, não retornando ao sistema. Esse circuito pode causar os seguintes impactos: aumento da temperatura da água após a saída do condensador, atingindo os ecossistemas aquáticos do corpo d'água receptor; redução do oxigênio dissolvido no corpo receptor em resposta às altas temperaturas, provocando morte de peixes e mudança do metabolismo

de macrófitas aquáticas, dada a desnaturação de certas proteínas essenciais ao crescimento; e concentração de sais dos efluentes líquidos.

Deve-se avaliar o uso de produtos químicos para a prevenção de incrustações, o controle do pH da água e a inibição de ferrugem. Substâncias químicas devem ser avaliadas qualitativa e quantitativamente quanto ao seu potencial de periculosidade ambiental.

No *sistema fechado* (resfriamento seco), o ar é forçado a passar em torno de tubos pelos quais os vapores que saem da turbina circulam para reduzir a temperatura do vapor, fazendo com que este retorne à fase líquida. Isso diminui a eficiência do sistema, especialmente quando a temperatura do ar que entra nele é elevada — o que ocorre, notadamente, em climas tropicais e semiáridos (como no Nordeste) — e reduz substantivamente o consumo de água ($0,3 \text{ m}^3/\text{MWh}$).

Já no *sistema híbrido*, a refrigeração a ar opera em paralelo com o sistema a água. Com isso, garante-se eficiência do sistema similar à do sistema refrigerado a água, e reduz-se o consumo de água.

Independente do sistema, devem ser atendidos os padrões de qualidade da água para a proteção da saúde, a garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida (Resolução Conama 357, de 17 de março de 2005, ou normativa local).

► **Risco de colisão de aves com as estruturas do campo solar**

Painéis e janelas de vidro usados em instalações humanas oferecem riscos de colisão para as aves, em especial os passeriformes, pois refletem árvores e outros habitats atrativos. As condições que contribuem para os eventos de colisão incluem a posição da vegetação e as propriedades refletivas da janela.

Os espelhos do campo solar normalmente estão voltados para o céu, mas, em alguns momentos, podem assumir uma posição mais vertical — por exemplo, em sua instalação

ou lavagem. Dados da usina de Ivanpah indicaram que a maioria das observações de aves nos helióstatos ocorreu quando os espelhos estavam nessa posição.

Os monitoramentos realizados nas plantas já instaladas mostram que as aves colidem com as superfícies refletoras, causando traumas como fraturas, hemorragias e outros danos que levam o animal à morte ou o debilitam a ponto de não conseguir obter alimento ou fugir de predadores. Esse é um impacto de todas as tecnologias heliotérmicas, assim como de **painéis fotovoltaicos**. Entretanto, diferente dos painéis fotovoltaicos e algumas superfícies escuras, os espelhos das heliotérmicas não causam polarização da luz, fenômeno que pode desorientar insetos e, em menor grau, aves. Acredita-se que esse efeito não tenha magnitude maior do que a das colisões com janelas. O monitoramento de aves é fundamental para melhor entender e quantificar esse impacto, ainda pouco estudado em heliotérmicas.

O impacto das colisões pode ser minimizado com a instalação de elementos visuais ou marcas — pinturas feitas em janelas de vidro, por exemplo — que quebrem a ilusão de continuidade do ambiente causada pela superfície refletora dos espelhos. Entretanto, essas marcas diminuem a superfície refletora e, portanto, a eficiência do sistema óptico que concentrará a energia solar. Trata-se de um desafio para o setor, que, no âmbito de pesquisa, desenvolvimento e inovação, deverá testar superfícies refletoras mais “amigáveis”.

Outra medida é evitar o posicionamento totalmente vertical dos espelhos durante os eventos de manutenção e lavagem.

Figura 29. Calhas parabólicas em central no Deserto do Atacama



Fonte: <<http://www.ricardobanana.com/wp-content/uploads/2014/10/imagen35.jpg>>

► **Comprometimento de rotas, voo e pouso de aves migratórias**

Há uma hipótese de que o reflexo do céu, em grandes extensões de terra cobertas pelo campo solar, possa impactar as aves durante o processo migratório.

Até que se possa esclarecer essa hipótese e para evitar impactos sobre as aves migratórias, a locação da planta heliotérmica nunca deve ser próxima a áreas de concentração ou rotas migratórias de aves⁶.

► Morte de insetos e aves decorrente do fluxo solar

Especificamente na torre solar, insetos e aves que passam no fluxo solar — local próximo à torre onde estão concentrados os feixes de luz refletida por milhares de helióstatos — experimentarão os efeitos de temperaturas extremamente altas. As primeiras observações desse fenômeno ocorreram na planta Solar One, nos Estados Unidos, e os recentes monitoramentos e perícias realizados em Ivanpah mostram que o principal efeito do fluxo solar sobre as aves é a queima das penas e a consequente perda da habilidade de voo, resultando em colisão. Ao que parece, as aves podem sobreviver ao calor do fluxo solar, uma vez que foram observadas aves vivas com penas queimadas; entretanto, podem perder a capacidade de alimentação e escape de predadores. Os grupos mais afetados por esse impacto são as aves insetívoras.

Outro efeito observado é o aparecimento de trilhos de fumaça quando algum objeto atravessa o fluxo solar. Alega-se, pela quantidade de fumaça, que seja formado pela combustão de detritos soltos e insetos ou até mesmo de aves. Entretanto, pouco ainda é conhecido.

Ainda em Ivanpah, os peritos observaram uma grande movimentação de insetos em volta da área de intenso brilho luminoso do receptor, assim como carcaças de insetos no chão, como libélulas e borboletas. Também foram observadas aves se alimentando de insetos, algumas até utilizando a torre de poleiro. Especula-se que a torre solar possa funcionar como uma grande armadilha luminosa para os insetos, que, por sua vez, atraem aves insetívoras e seus predadores, gerando perdas em vários níveis da cadeia alimentar.

A partir dos resultados de monitoramentos sistemáticos de Solar One e Ivanpah, estimou-se a mortalidade total de 10 aves/MW/ano (por colisão, queima no fluxo solar e causas desconhecidas), uma taxa ligeiramente menor, mas muito próxima da mortalidade em usinas eólicas.

Figura 30. Aves queimadas e Ivanpah



Fonte: Kagan et al., 2014

⁶ Podem ser utilizadas, por exemplo, as áreas mapeadas para o caso das usinas eólicas no *Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil*, publicado em 2016 pelo ICMBio.

O impacto do fluxo solar ainda é pouco conhecido, por isso uma das recomendações nos Estados Unidos é a melhoria dos monitoramentos, como a instalação de câmeras na torre voltadas para o espaço do fluxo solar e a intensificação na busca de carcaças. O conhecimento detalhado das condições físicas do fluxo solar também é importante para observar o impacto.

A medida mitigadora recomendada até o momento é diminuir a negativa atratividade dos habitats do campo solar, com a retirada da vegetação próxima à torre e a instalação de dispositivos que desencorajam a aproximação e o empoleiramento de aves.

► **Uso inadequado das estruturas da planta por aves, morcegos e outros animais**

Figura 31. Garças empoleiradas no tubo de absorção



Fonte: <www.cspservices.de/about-us/our-philosophy>

Assim como em outras construções humanas, as estruturas de uma heliotérmica podem vir a ser utilizadas pela fauna como local de descanso, abrigo e nidificação. Registros desses comportamentos incluem o uso dos tubos de absorção das calhas parabólicas como poleiros de descanso de garças e, em Ivanpah, do prédio do condensador como abrigo por morcegos.

A presença de animais dentro de uma planta heliotérmica não é desejável, pois certas espécies podem prejudicar a operação — além do risco de morte, elas podem, por exemplo, sujar os espelhos com fezes. O acúmulo de fezes e outros detritos contribui com a corrosão e obstrução de equipamentos, como observado em torres de transmissão de energia elétrica.

A medida mitigadora recomendada é, assim como para o impacto anterior, desencorajar a presença de certas espécies aladas nas proximidades do campo solar. Os monitoramentos durante a operação das heliotérmicas instaladas no mundo e, futuramente, no Brasil, além das análises da mortalidade por colisão e pelo fluxo solar, devem indicar as estruturas utilizadas pela fauna, as espécies que fazem esse uso e os riscos para a fauna e para o funcionamento da planta. Na verificação de altos riscos, poderão ser desenvolvidas estruturas para desencorajar ou repelir as aves, a exemplo dos mecanismos adotados em torres de transmissão e aeroportos.

► **Piora nas condições microclimáticas**

Embora se pretenda utilizar ao máximo o calor gerado pela concentração solar, a transformação não é totalmente eficiente. As altas temperaturas dos fluidos térmicos, do sistema água/vapor do bloco de potência, dos condensadores e da região próxima ao receptor da torre solar dissipam parte do calor para o ambiente. Esse processo pode levar a um aumento da temperatura local, mas ainda não está clara a

significância de tal impacto. Por outro lado, a mudança do albedo e o sombreamento do solo no campo solar podem alterar a temperatura e a evapotranspiração local.

Realizar o monitoramento das condições micrometeorológicas locais com a instalação de estações climatológicas.

► **Poluição e/ou contaminação por fluidos térmicos**

Os riscos de poluição por resíduos perigosos durante a montagem podem se estender para a fase de operação, em especial os riscos de vazamentos e acidentes com os fluidos térmicos. Os óleos térmicos, mais preocupantes que os sais fundidos, possuem alta inflamabilidade dentro do sistema. Estima-se que, para uma planta de 50 MW, com sete horas de armazenamento, são necessárias 40 mil toneladas de óleo térmico, com uma substituição de 1% a 2% desse fluido a cada cinco anos.

Figura 32. Lavagem dos espelhos



Fonte: <<http://www.solaripedia.com/images/large/363.jpg>>

É importante prever sistemas de controle (válvulas de bloqueio/retenção, por exemplo) especialmente na calha parabólica e no refletor Fresnel, onde há maior espriamento dos tubos que levam o calor até o bloco de potência ou até os tanques de armazenamento.

Estabelecer planos de emergência para garantir a segurança do trabalhador, devido à alta inflamabilidade do fluido térmico.

Aplicar todas as normas de transporte e manuseio de produtos perigosos, conforme a legislação brasileira.

► **Comprometimento hídrico pela lavagem dos espelhos**

Pode haver comprometimento quali-quantitativo da água de corpos d'água receptores dos efluentes pelo uso de tensoativos e em função da frequência de ações de manutenção dos espelhos.

Estabelecer estruturas de pré-tratamento dos efluentes da lavagem dos espelhos. Usar sistemas automatizados para a redução do consumo de água.

► **Poluição e contaminação no controle da vegetação sobre o campo solar**

Os helióstatos e os coletores do campo solar devem estar livres para se movimentar ao seguir o Sol, de maneira que não deve haver vegetação ou qualquer outro objeto que dificulte o movimento das estruturas ou intercepte a radiação direta que será concentrada. Por isso, a vegetação do campo solar deve ser mantida baixa, por meio de controle mecânico ou químico. O uso de herbicidas, porém, pode gerar poluição e contaminação.

No caso de uso de herbicidas no controle da vegetação, recomenda-se adotar todas as normas de transporte, estocagem, manuseio, aplicação e descarte de embalagens, conforme reza a legislação brasileira de agrotóxicos. Devem ser respeitadas as restrições de uso contidas no rótulo e na bula do agrotóxico.

5.3. IMPACTOS POSITIVOS

A geração heliotérmica tem também impactos positivos, cuja maximização requer estratégias tecnológicas, políticas e econômicas.

► **Uso de fonte energética limpa**

Diferente de outras termoelétricas, que utilizam combustíveis fósseis, nucleares ou biomassa, o principal insumo das heliotérmicas é a radiação solar, cuja obtenção não tem impacto ambiental e cujo uso não gera resíduos. Este talvez seja o aspecto mais positivo e significativo da heliotermita: o uso de uma fonte totalmente limpa.

A maximização do impacto reside no nível estratégico, na medida em que o governo brasileiro, signatário do Protocolo de Kyoto e comprometido com a redução da emissão de GEE, passa a incentivar e disseminar a tecnologia heliotérmica e a preparar o mercado e os agentes para recebê-la.

Um bom exemplo da redução dos GEE é a planta Shams 1, da Abengoa, nos Emirados Árabes, híbrida com termoelétrica a gás natural, gerando 100 MW. Uma planta como essa evita a emissão de aproximadamente 175.000 toneladas de CO2 por ano, o equivalente a plantar um milhão e meio de árvores ou eliminar o uso de 15.000 carros. Já na planta de Andasol, na Espanha, estima-se que cada metro quadrado de captação solar evita a emissão de 286 kg de CO2 por ano.

► **Aceleração do desenvolvimento tecnológico no país e incorporação na cadeia produtiva local e regional**

Outro impacto da heliotermita que alcança um nível estratégico e de médio e longo prazo diz respeito ao desenvolvimento tecnológico e seus desdobramentos para a região e para o país. À medida que novas usinas heliotérmicas vão sendo projetadas

e implantadas, a cadeia produtiva dos componentes tende a se desenvolver para atender à crescente demanda. Esse é um impacto cumulativo que tem como consequências a geração de empregos, a formação de mão de obra especializada, e a melhoria dos serviços e da infraestrutura local e regional.

O desenvolvimento das tecnologias ligadas à heliotermia também leva ao aumento da eficiência das plantas e à redução nos custos de capital. Aliado aos ganhos em economia de escala, isso tornará a heliotermia mais barata e mais competitiva com o passar dos anos.

A recomendação para potencializar esse impacto é alinhar as políticas dos vários setores — elétrico e educacional (universidades, sistema S), por exemplo.

► **Aumento da despachabilidade da usina heliotérmica**

Esse impacto decorre do uso de um sistema de armazenamento térmico, que permite a geração de energia elétrica em momentos de alta nebulosidade ou à noite.

Estabelecer políticas públicas para incentivar a instalação de sistemas de armazenamento térmico.

Na ausência ou insuficiência de armazenamento térmico e/ou na falta de uma fonte híbrida complementar, a usina não consegue gerar energia elétrica continuamente. Assim, todo dia, após o nascer do Sol, a planta deve ser religada, o que normalmente é feito por um gerador movido a combustível fóssil. Embora esse equipamento tenha um uso pontual e muito pequeno, suas emissões de GEE devem ser controladas.

6. DADOS E ASPECTOS NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Neste capítulo, são respondidas as **perguntas feitas** no capítulo 5 e, na sequência, listados os principais aspectos e dados que devem subsidiar a elaboração do Termo de Referência. O intuito é antecipar lições e contribuições de grande valia no marco regulatório da heliotermia no Brasil.

De posse dos impactos e das medidas ambientais para minimizá-los, controlá-los e monitorá-los, pode-se elencar os requisitos para cada etapa do licenciamento ambiental: prévio, de instalação e de

Heliotérmicas podem ser consideradas de baixo impacto?

Sim, desde que atendidas as estratégias prévias: não incluir combustível fóssil, não utilizar fluidos térmicos poliaromáticos ecotoxicologicamente perigosos e observar as condições de operação e manutenção de maior segurança ambiental, humana e ocupacional.

Quais são os impactos mais significativos de uma heliotérmica?

- Utilização de áreas (condições de solo, uso e ocupação) cuja escolha deve atender às estratégias prévias; ►



- comprometimento quali-quantitativo dos recursos hídricos, a depender da disponibilidade hídrica e do sistema de refrigeração selecionado;
- uso de fluidos térmicos, a depender da formulação química adotada — aromáticos são mais problemáticos;
- comprometimento da fauna alada (aves e insetos), em especial na torre solar, a depender da biodiversidade local.

Quais são os aspectos mais importantes para as etapas de licenciamento ambiental?

Isso depende do enquadramento inicial do processo de licenciamento, que definirá os dados e aspectos a serem levantados para a avaliação de impactos ambientais.

operação. No caso de licenciamento simplificado, com apenas uma licença, a depender da legislação estadual ou municipal, pode-se considerar a etapa prévia como aquela que antecede a emissão da licença e, após o ato, todas as exigências de instalação e operação. Alguns desses requisitos podem ser iniciados em uma fase e se prolongar para a fase seguinte. Já outros são adotados em um nível estratégico e não se aplicam a fases específicas do licenciamento ambiental, como é o caso das estratégias prévias elencadas no capítulo 4.

O Quadro 5, a seguir, apresenta as informações necessárias à avaliação de impactos ambientais nas etapas do licenciamento ambiental de uma heliotérmica. Três conceitos que aparecem nele

são importantes: enquadramento da heliotérmica, estudo de alternativas locais e tecnológicas e caracterização do empreendimento.

- ▶ Enquadramento da heliotérmica — o enquadramento permite definir o estudo ambiental que subsidiará a Licença Prévia, bem como os aspectos que devem ser abordados ou que necessitam de maior detalhamento nos levantamentos e na avaliação de impactos ambientais de uma heliotérmica. Em outras palavras, o enquadramento permite a elaboração de um Termo de Referência.
- ▶ Estudos de alternativas locais e tecnológicas — talvez esse seja o aspecto mais importante na fase de planejamento. Nessa fase, é escolhido o local onde será implantada a heliotérmica, abrindo a oportunidade de evitar ou minimizar uma série de impactos sobre fatores como o uso da terra e da água, a biodiversidade, o patrimônio, as comunidades tradicionais e a paisagem.
- ▶ Aos critérios de engenharia para seleção do sítio — como DNI, topografia, proximidade de linhas de transmissão —, devem ser sobrepostos os critérios ambientais, já abordados no capítulo 4. As alternativas locais, por sua vez, levam a diferentes alternativas tecnológicas. Por exemplo, locais ligeiramente mais declivosos podem levar à escolha de torre solar, em vez de calha parabólica ou refletor Fresnel, que exigem terrenos mais planos. Áreas com baixa disponibilidade hídrica levam à escolha de resfriamento a ar em detrimento do resfriamento úmido, que consome mais água.

- ▶ Caracterização do empreendimento — esse é um item que requer atenção especial para o licenciamento das heliotérmicas. Como essa é uma tecnologia recente, ainda em desenvolvimento, sem nenhuma planta comercial instalada no Brasil, é natural que a maioria dos analistas tenha dificuldade para entender a heliotermia e, mais importante, não alcance os potenciais impactos do empreendimento. O empreendimento deve, portanto, ser descrito de forma clara, didática e objetiva.

As informações do projeto de engenharia da heliotérmica, até então reunidas no Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica (EVTE), devem ser traduzidas e resumidas no estudo ambiental, assim como em outros empreendimentos de infraestrutura. Devem permitir, em um primeiro momento, a compreensão dos condicionantes de projeto; posteriormente, o conhecimento das fases construtivas, os materiais e quantidades utilizados, os processos, as estruturas de apoio, a mão de obra e o cronograma da obra; por fim, o entendimento dos testes pré-operacionais, bem como das regras de operação e manutenção.

Quadro 5. Aspectos e dados sugeridos para a avaliação de impactos ambientais nas etapas do licenciamento ambiental de uma heliotérmica

Enquadramento	Licença prévia	Licença de instalação	Licença de operação
Estudo preliminar de alternativas locacionais e tecnológicas	Estudo de alternativas locacionais e tecnológicas	Monitoramento das possíveis interferências em áreas sensíveis	Gerenciamento ambiental
	Caracterização do empreendimento com base no EVTE	Apresentação do projeto básico de engenharia e do canteiro	<i>As built</i> simplificado dos sistemas de controle e de atendimento a emergências
Seleção da tecnologia (calha parabólica, torre solar, refletor Fresnel)	Seleção da tecnologia (calha parabólica, torre solar, refletor Fresnel)	Tecnologia adotada	
Capacidade instalada (MW)	Capacidade instalada (MW)	Capacidade instalada (MW)	
Áreas: total (ha), diretamente afetada (ha), abertura do campo solar (m ²)	Áreas: total (ha), diretamente afetada (ha), abertura do campo solar (m ²)	Áreas: total (ha), diretamente afetada (ha), abertura do campo solar (m ²)	
Fluido térmico (tipo)	Fluido térmico (tipo e quantidade)	Caracterização ecotoxicológica	
Altura da torre (quando for o caso)	Altura da torre (quando for o caso)	Componentes	
Armazenamento térmico (sistema, fluido)	Armazenamento térmico (sistema, fluido, quantidades)	Detalhamento	
Bloco de potência: unidades geradoras, tipo de resfriamento, hibridização e <i>back up</i> a combustível fóssil	Bloco de potência: unidades geradoras, tipo de resfriamento, hibridização e <i>back up</i> a combustível fóssil	Monitoramento e tratamento de efluentes gasosos/atmosféricos (incluindo NO _x , SO _x , VOC, MP) e líquidos (no caso de hibridização, <i>back up</i> e/ou refrigeração a água)	Gerenciamento e tratamento de efluentes gasosos/atmosféricos (incluindo No _x , Sox, VOC, MP) e líquidos (no caso de hibridização, <i>back up</i> e/ou refrigeração a água)
	Outorga do Uso da Água	Outorga do Uso da Água atualizada	Renovação da Outorga
Proximidade ao SIN	Linha de transmissão/SIN		
Mão de obra: qualificação e quantidade por fase do empreendimento	Mão de obra: qualificação e quantidade por fase do empreendimento	Ações de capacitação da mão de obra local (se houver)	Gerenciamento da desmobilização da mão de obra local
Canteiro de obras: localização e leiaute geral	Canteiro de obras: localização e leiaute geral	Destinação e tratamento dos resíduos (PGRS) e efluentes líquidos do canteiro	Destinação e tratamento dos resíduos (PGRS) e efluentes líquidos

Enquadramento	Licença prévia	Licença de instalação	Licença de operação
	Mapeamento e caracterização das fontes de abastecimento de água, incluindo: estudo das demandas ou dos usos consuntivos da água na bacia —abastecimento urbano e rural, irrigação, industrial e eventualmente para diluição de efluentes; avaliação dos aquíferos, seu potencial, sua capacidade de recarga e qualidade da água; balanço hídrico das disponibilidades e demandas; características de eventual reservatório de regularização.	Monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (a depender do manancial selecionado)	Gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (a depender do manancial selecionado)
Áreas de relevante interesse socioambiental	Unidades de conservação, bioma, área prioritária de proteção da biodiversidade, corredores ecológicos, terras indígenas, quilombos	Caracterização detalhada das interferências, caso venham a ocorrer, em áreas de relevante interesse socioambiental	Gerenciamento de áreas relevantes próximas ao campo solar
Região e bacia hidrográfica (perenes e intermitentes)	Classificação do tipo, granulometria e declividade do solo na área do campo solar	Monitoramento de processos erosivos na área do campo solar e nos terrenos subjacentes	Gerenciamento de processos erosivos na área do campo solar e nos terrenos subjacentes
	Caracterização da fauna e flora locais	Monitoramento de indicadores (preferencialmente avifauna)	Gerenciamento de indicadores (preferencialmente avifauna)
	Áreas de empréstimo* e bota-fora	Monitoramento de processos erosivos na área do campo solar e nas jazidas. Monitoramento das áreas degradadas	Gerenciamento da Recuperação de Áreas Degradadas
	Análise de risco da planta heliotérmica	Monitoramento dos riscos	Gerenciamento dos riscos
Rotas migratórias de aves	Levantamento da fauna alada	Inventário e monitoramento da fauna alada (insetos e aves) da área de influência direta (especialmente no campo solar de torres solares)	Gerenciamento da fauna alada (insetos e aves) da área de influência direta (especialmente no campo solar de torres solares), com ênfase em mecanismos de afastamento em áreas com risco de dano ambiental
Caracterização socioeconômica das localidades e cidades			

Enquadramento	Licença prévia	Licença de instalação	Licença de operação
Modos de vida: urbano, rural, tradicional, populações indígenas e quilombolas, grupos religiosos na área de influência (incluir distâncias)	Dinâmica demográfica Condições de vida Sistema de produção Organização social	Projeções e cenários com a implantação da heliotérmica: dinâmica demográfica; condições de vida; sistema de produção e organização social	Gerenciamento dos modos de vida locais e, caso importante, regionais
Base econômica da população diretamente afetada	Investigação da base econômica no que tange a atividades econômicas, potencialidades da região e finanças municipais sem a construção da heliotérmica	Investigação da base econômica no que tange a atividades econômicas, potencialidades da região e finanças municipais com a construção da heliotérmica	Gerenciamento da base econômica local e regional com a operação da heliotérmica
Organização territorial no que se refere à circulação e organização político-administrativa	Organização territorial mais detalhada no que tange à circulação (com a abertura e melhoria dos acessos), dinâmica demográfica e organização político-administrativa	Acompanhamento da reorganização territorial mais detalhada no que tange à circulação (com a abertura e melhoria dos acessos), dinâmica demográfica e organização político-administrativa	Gerenciamento da reorganização territorial mais detalhada no que tange à circulação (com a abertura e melhoria dos acessos), dinâmica demográfica e organização político-administrativa
Localidades e comunidades afetadas (desapropriação ou não; se sim, sumário de famílias/propriedades atingidas)	Levantamento socioeconômico das comunidades instaladas no campo solar e na área de influência direta (entorno)	Monitoramento das ações de relocação da população da área diretamente afetada (com base no cadastro fundiário — responsabilidade do empreendedor)	Gerenciamento das ações de relocação da população diretamente afetada

* Gerenciamento ambiental: sistema que integra todas as atividades gerenciais no sentido de alcançar o desempenho ambiental desejado, com base no atendimento às exigências ambientais, ou seja, envolve a montagem de uma estrutura organizacional, o estabelecimento de responsabilidades, a definição de procedimentos e a alocação de recursos com o objetivo de direcionar todas as ações para a contínua melhoria do desempenho ambiental da heliotérmica.

Fonte: elaboração própria

GLOSSÁRIO

Air-cooled condenser (ACC) — sistema que utiliza ar para o resfriamento do vapor em uma usina heliotérmica. A água é aquecida com o calor solar até evaporar; após movimentar a turbina, o vapor d'água tem de ser resfriado a fim de voltar ao estado líquido e reiniciar o circuito. Esse resfriamento pode ser feito a ar ou água. Ver WATER-COOLED CONDENSER

Armazenamento térmico — sistema de armazenamento do calor excedente da usina heliotérmica. O calor armazenado é utilizado para estabilizar e possibilitar a geração de eletricidade durante a noite e em dias nublados, assim como aumentar a geração de energia em horários de pico. Diversos materiais podem ser empregados para o armazenamento de calor, a exemplo de óleos, sais fundidos, materiais cerâmicos e ar.

Aspecto — elemento das atividades, dos produtos ou dos serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente (NBR ISO 14001:2004). Um aspecto ambiental é inerente a uma ATIVIDADE.

Atividade — toda ação executada para o desenvolvimento do empreendimento, em qualquer de suas fases. A execução de uma atividade requer recursos físicos, humanos e financeiros.

Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) — processo de análise técnica que subsidia o licenciamento, por meio da análise sistemática dos impactos ambientais decorrentes das atividades ou dos empreendimentos.

Campo solar — sistema de espelhos, chamados de coletores ou helióstatos. Esses espelhos acompanham a posição do Sol ao longo do dia e refletem os raios solares para um foco, onde se encontra um receptor. Dessa forma, o calor é transmitido para um líquido, o fluido térmico, que se mantém em alta temperatura. O nome do sistema utilizado está ligado ao tipo de tecnologia aplicada. Para calha parabólica e Fresnel, é “coletor”; já para torre, é “helióstato”.

Concentrated solar power (CSP) — energia solar concentrada. O sistema consiste em refletir a energia solar para um único ponto e utilizar o calor acumulado para gerar eletricidade. A radiação solar pode ser concentrada utilizando espelhos planos ou parabólicos, dependendo da tecnologia empregada. Ver HELIOTERMIA

Despachabilidade — capacidade de gerar eletricidade de forma contínua e sob demanda. Quanto maior a despachabilidade, menor a dependência de outros fatores, como sol, vento e chuva, para a produção de eletricidade. Por exemplo, uma usina heliotérmica com armazenamento possui despachabilidade maior do que uma que não possui; porém, sua despachabilidade é menor que a de usinas térmicas ou hidrelétricas.

Direct normal irradiance (DNI) — Irradiação direta normal. Trata-se da radiação recebida diretamente do Sol por unidade de área (W/m^2). A DNI é medida em uma superfície perpendicular (normal) aos raios solares e é a única componente da radiação solar passível de ser concentrada; por isso, é a mais importante para a energia heliotérmica.

Ver RADIAÇÃO DIRETA

Energia despachável — é aquela em que há controle dos momentos de geração, independentemente das condições climáticas locais. Usinas térmicas e hidrelétricas são exemplos de fontes de energia despachável porque podem produzir energia constantemente, enquanto as energias solares sem armazenamento são consideradas menos despacháveis por dependerem dos momentos de sol. Ver DESPACHABILIDADE

Fluido térmico — fluido com características físico-químicas relevantes para processos que envolvem transferência de calor. O fluido térmico é responsável pelo transporte e armazenamento da energia térmica, o que torna possível produzir eletricidade durante a noite ou em dias nublados. Óleos e sais fundidos são frequentemente utilizados nas usinas heliotérmicas. Existem diversos tipos de fluido na usina heliotérmica: sais fundidos, óleos térmicos, água e ar são os mais usados. Em uma torre solar, por exemplo, o fluido transfere o calor captado aos trocadores de calor — onde acontece a geração de vapor para produzir energia elétrica — ou a tanques de armazenamento para produção posterior de energia.

Helióstato — conjunto de espelhos, geralmente planos, montados sobre uma estrutura fixada ao solo. Possui um mecanismo, quase sempre controlado por computador, que acompanha a posição do Sol para refletir a luz em direção a um alvo predeterminado.

Heliotermia ou energia heliotérmica (HLT) — também conhecida como energia solar concentrada, do inglês CONCENTRATED SOLAR POWER (CSP). A tecnologia consiste na utilização de espelhos para concentrar a energia térmica solar em uma pequena região; posteriormente, esse calor é usado para gerar eletricidade.

Impacto — qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, dos produtos ou dos serviços de uma organização (definição conforme a NBR ISO 14001:2004, da ABNT).

Licenciamento ambiental (LAF) — processo administrativo que formaliza as condições, restrições e medidas de controle ambiental a serem obedecidas pelo empreendedor, visando à adequação ambiental das atividades ou dos empreendimentos.

Medida ambiental — hierarquia de mitigação de impactos, sendo preferidas medidas preventivas, seguidas de medidas de reparação e medidas de compensação para os impactos não evitados.

Painéis fotovoltaicos — conjunto de células fotovoltaicas. Os painéis podem ser interconectados de forma a permitir a montagem de arranjos modulares e, assim, aumentar a capacidade de geração de energia elétrica.

Programa — conjunto de medidas apresentado de forma estruturada, possibilitando acompanhamento e verificação de atendimento às metas e aos indicadores ambientais.

Radiação difusa — radiação solar que alcança a superfície da Terra a partir de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas e partículas presentes na atmosfera. A radiação difusa pode ser interpretada como a claridade do céu quando o Sol está totalmente encoberto por nuvens. Sistemas de aquecimento de água e painéis fotovoltaicos são capazes de utilizar a radiação difusa, mas para sistemas heliotérmicos esse tipo de radiação não é significativo. Ver [RADIÇÃO DIRETA](#)

Radiação direta — parte da radiação solar total que não sofre desvio causado pela atmosfera. A radiação direta tem valor zero quando o Sol está totalmente encoberto por nuvens e é o tipo de radiação mais importante para a tecnologia heliotérmica. Ver [RADIÇÃO DIFUSA](#)

Radiação global — toda e qualquer radiação solar que chega ao solo. A radiação global é a soma da [RADIÇÃO DIRETA](#) COM a [RADIÇÃO DIFUSA](#).

Receptor — componente da usina heliotérmica que recebe a radiação solar concentrada e a transforma em calor. Geralmente é constituído de um ou vários tubos, revestidos com uma tinta que aumenta a absorção de radiação e reduz as perdas de calor. Por dentro desses tubos, o fluido térmico é bombeado e aquecido, podendo ultrapassar os 500°C.

Sal fundido — sal que foi aquecido e passou do estado sólido para o estado líquido. Ele é usado em usinas heliotérmicas para gerar vapor ou armazenar energia em forma de calor. Muitas usinas heliotérmicas utilizam uma mistura dos sais nitrato de sódio (NaNO_3) e nitrato de potássio (KNO_3). Essa mistura pode chegar a 570°C e deve ser mantida a, no mínimo, 220°C para que a mistura não se solidifique. Ver [FLUIDO TÉRMICO](#)

Sistema híbrido — sistema em que se associa ao campo solar uma fonte alternativa de calor. Pode-se associar, por exemplo, uma caldeira movida a biomassa para gerar energia em conjunto com o campo solar durante a noite ou nos momentos em que o Sol não é suficiente.

Trocador de calor — equipamento que permite a troca de calor entre dois fluidos sem que haja mistura entre eles. No caso das plantas heliotérmicas modernas, os trocadores de calor permitem a transferência de energia térmica entre o sal fundido (ou óleo térmico) e a água, a fim de produzir vapor para gerar eletricidade.

Usina termoelétrica — instalação industrial que produz energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, óleo e gás, por exemplo) ou por outras fontes de calor (fissão nuclear, solar, eólica, biomassa).

Water-cooled condenser (WCC) — sistema que utiliza água para o resfriamento do vapor em uma usina heliotérmica. Ver AIR-COOLED CONDENSER

BIBLIOGRAFIA

ABENGOA SOLAR. **Solar plants**: United Arab Emirates. Chile. [s.l.], 2014a. Disponível em: <http://www.abengoasolar.com/web/en/plantas_solares/plantas_propias/emiratos_arabes_unidos/>. Acesso em: 18 set. 2016.

ABENGOA SOLAR. **Solar plants**: Chile. [s.l.], 2014b. Disponível em: <http://www.abengoasolar.com/web/en/plantas_solares/plantas_propias/chile/>. Acesso em: 18 set. 2016.

BIANCHINI, H. M. **Avaliação comparativa de sistemas de energia solar térmica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; Escola Politécnica, 2013.

BLIGNAUT, J. (compilador). **Environmental Impact Assessment Study for the proposed concentrated solar power plant (parabolic trough) on the farm Sand Draai 391, Northern Cape**. Royal Haskoning DHV, 2015. 96p. Disponível em: <<http://www.rhdhv.co.za/pages/services/environmental/current-projects.php>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Brasília, 2015.

BURGI, A. S. **Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no Brasil a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

BURKHARDT, J. J.; HEATH, G.; COHEN, E. Life cycle greenhouse gas emissions of trough and tower concentrating solar power electricity generation — systematic review and harmonization. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. S1, p. 93-109, 2012.

BURKHARDT, J. J.; HEATH, G.; TURCHI, C. S. Life cycle assessment of a parabolic trough concentrating solar power plant and the impacts of key design. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 6, p. 2457-2464, 2011.

- EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL (EASAC). **Concentrating solar power: its potential contribution to a sustainable energy future.** Halle (Saale): German National Academy of Sciences, 2011. 58 p.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010. Rio de Janeiro : EPE, 2011.
- GRIPPO, M.; HAYSE, J. W.; O'CONNOR, B. L. Solar energy development and aquatic ecosystems in the Southwestern United States: potential impacts, mitigation, and research needs. **Environmental Management**, v. 55, n. 1, p. 244-256, 2015.
- HARVEY, H. T. & Associates. **Ivanpah solar electric generating system — avian & bat monitoring plan — 2013-2014.** Annual report (revised). Fresno, CA, 2015. Disponível em: <http://docketpublic.energy.ca.gov/PublicDocuments/07-AFC-05C/TN204258_20150420T145549_Ivanpah_Solar_Electric_Generating_System_Avian__Bat_Monitoring.pdf>. Acesso em: 23 out. 2015.
- HelioSCSP. **Concentrated Solar Power (CSP) projects by country, project name and technology.** 14 nov. 2013. Disponível em: <<http://helioscsp.com/concentrated-solar-power-csp-projects-by-country-project-name-and-technology/>>. Acesso em: 12 set. 2016.
- HERNANDEZ, R. R.; HOFFACKER, M. K.; FIELD, C. B. Land-use efficiency of big solar. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 2, p. 1315-1323, 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios & Strategies to 2050.** Paris: OECD/IEA, 2008
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil.** Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio, 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): Summary for Policymakers. In: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation** [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2011.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable energy technologies: cost analysis series — concentrating solar power. **Serie Irena Working Paper**, v. 1: Power Sector, n. 2/5, 2012.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable power generation costs in 2014.** Bonn, Germany, 2015. Disponível em: <http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf>. Acesso em: 21 set. 2016.

- JOKADAR, Z. **Noor III Tower CSP Plant, Ouarzazate, Morocco**. Specific environmental and social impact assessment — Volume I. ACWA Power, 2015. 210p. Disponível em: <http://www.masen.org.ma/upload/environnement/Masen_NOORoIII_SESIA_Volume_1Main_Text.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2015.
- KAGAN, R. A. *et al.* **O. Avian mortality at solar energy facilities in Southern California**: a preliminar analysis. Relatório do National Fish and Wildlife Forensics Laboratory, 2014. Disponível em: <http://docketpublic.energy.ca.gov/publicdocuments/09-afc-07c/tn202538_20140623t154647_exh_3107_kagan_et_al_2014.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- LOVICH, J. E.; ENNEN, J. R. Wildlife conservation and solar energy development in the desert Southwest, United States. **BioScience**, v. 61, n. 12, p. 982-992, 2011.
- LUCENA, A. F. P. **Proposta metodológica para avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas globais no setor hidroelétrico**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- MACKNICK, J. *et al.* **A review of operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies**. [s.l.]: NREL, 2011.
- MARTINS, I. M. **Estudo sobre a tecnologia heliotérmica e sua viabilidade no Brasil**. Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014. 66p.
- McCRARY M. D. *et al.* Avian mortality at a solar energy power plant. **Journal of Field Ornithology**, v. 57, n. 2, p. 135-141, 1986.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Avaliação ambiental estratégica**. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/aae.pdf>. Acesso em: 18 set. 2016.
- ONG, S. *et al.* **Land-use requirements for solar power plants in the United States**. Springfield: NREL, 2014.
- PENAFIEL, R. A. S. **Cenários de geração de eletricidade a partir de geradores heliotérmicos no Brasil**: a influência do armazenamento de calor e da hibridização. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2011. 187 p.

- PEREIRA, E. M. D. *et al.* **Mapeamento básico das precondições gerais para tecnologias heliotérmicas no Brasil**. Brasília: Projeto Energia Heliotérmica (GIZ/MCTI), 2014. 140 p.
- PROJETO ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Armazenamento**. [s.l.]: 2016. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/armazenamento>>. Acesso em: 18 set. 2016.
- SCHRÜFER, B.; GLADEN, B. **Current status and lessons learnt**: experiences with the permission procedures of concentrated solar power plants for Spain (EU) and California (USA). Brasília: Projeto Energia Heliotérmica (GIZ/MCTI), 2015.
- SILVA, R. M. **Energia solar no Brasil**: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, fev. 2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>. Acesso em: 3 fev. 2015.
- TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. **Energy Policy**, v. 33, p. 289-296, 2005.
- TURNEY, D.; FTHENAKIS, V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 3261-3270, 2011.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE). **Governo de Pernambuco desenvolve usinas de geração de energia limpa em Petrolina**. Recife, 27 jun. 2012. Disponível em: <https://www.ufpe.br/agencia/clipping/index.php?option=com_content&view=article&id=6221:governo-de-pernambuco-desenvolve-usinas-de-geracao-de-energia-limpa-em-petrolina&catid=470&temid=243>. Acesso em: 21 fev. 2016.
- WALSTON JR, L. J. *et al.* A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. **Renewable Energy**, v. 92, p. 405-414, 2016.
- WU, Z. *et al.* Environmental impacts of large-scale CSP plants in Northwestern China. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 16, p. 2432-2441, 2014.