



# ENERGIA TERMOSSOLAR PARA A INDÚSTRIA **BRASIL**

# ENERGIA TERMOSSOLAR PARA A INDÚSTRIA: BRASIL

**Editores:** Philipp Hahn (Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha do Rio de Janeiro), Marcelo Mesquita (ABRASOL), Luciano Torres Pereira (Revolver Engenharia), Jan Knaack (BSW Solar), Bärbel Epp (solrico)

**Colaboração:** Carlos Artur Alencar (ABRASOL), Rogério A. S. Matos (EPE), Elizabeth Duarte Pereira (Centro Universitário UNA), Rafael Campos (ABRASOL), Maria Cristina G. Teixeira (ABRASOL), Natasha Costa (Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha do Rio de Janeiro), Deger Saygin and Tugba Agacayak (Turquia)

**Editorial de design:** Debbie Smit (Quba Design and Motion), África do Sul

**Data:** Maio 2018

Copyright © Solar Payback 2018

Salvo indicação contrária, o material desta publicação pode ser usado livremente, compartilhado ou reimpresso, desde que a Solar Payback seja informada como a fonte.

## **Crédito das fotografias capa / contracapa**

Tigi, Modulo Solar, Silke Anders / Industrial Solar, Jaideep Malaviya, Inventive Power, Chinese Solar Thermal Industry Federation / Sun & Wind Energy



## **Sobre Solar Payback**

O projeto de três anos de duração, Solar Payback, visa promover o uso de energia Termossolar para Processos Industriais (SHIP) em quatro países parceiros – África do Sul, Índia, México e Brasil – e está aumentando a conscientização sobre os potenciais técnicos e econômicos das tecnologias de SHIP, por meio de informações claras e transparentes sobre os custos e benefícios das aplicações de SHIP.

**[www.solar-payback.com](http://www.solar-payback.com)**

## **Apoio Financeiro**

Este projeto faz parte da Iniciativa Internacional do Clima (IKI, em alemão). O Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Construção e Segurança Nuclear (BMBU) apoia esta iniciativa com base em uma decisão adotada pelo Parlamento Federal Alemão.

# SUMÁRIO

<b>DEPOIMENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMO EXECUTIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>1. MARCO MACROECONÔMICO E POLÍTICA ENERGÉTICA NO BRASIL.....</b>	<b>5</b>
1.1 Potencial Solar.....	6
1.2 O desenvolvimento econômico e industrial no Brasil.....	7
1.3 Demanda energética na indústria.....	10
1.4 Políticas de fomento.....	12
1.5 Fontes de energia e sua disponibilidade no setor industrial.....	15
<b>2. TECNOLOGIAS TERMOSSOLARES PARA CALOR DE PROCESSO.....</b>	<b>23</b>
2.1 Introdução à SHIP.....	24
2.2 A indústria termossolar no Brasil.....	28
<b>3. PANORAMA DA INDÚSTRIA NO BRASIL.....</b>	<b>30</b>
3.1 Demanda de calor industrial em diferentes níveis de temperatura.....	31
3.2 Fontes de energia em setores industriais relevantes para SHIP.....	34
3.3 Dados Econômicos para setores industriais relevantes para SHIP.....	37
3.4 Expectativas dos investidores industriais.....	41
<b>4. DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO DE PLANTAS SHIP.....</b>	<b>43</b>
<b>5. RENTABILIDADE DE SISTEMAS SHIP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Parâmetros e Metodologia.....	49
5.2 Cálculos econômicos de estudos de caso sob determinadas condições estruturais.....	51
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
I. Lista de Tabelas.....	59
II. Lista de Figuras.....	60
III. Bibliografia.....	61
IV. Lista de Abreviações.....	64

# DEPOIMENTOS



“ Há um potencial a longo prazo em projetos de calor de processo industrial a partir da energia solar térmica para as associadas da ABESCO, que são empresas de serviços de energia.”

**Alexandre Moana**

Presidente da Associação Brasileira de Empresas de Conservação de Energia (ABESCO)



“ Para desenvolver o mercado de energia solar térmica para calor do processo industrial, teríamos que ter crédito barato, garantias de suprimento e tecnologia que gere energia mais barata que os atuais métodos tradicionais. Na difícil situação financeira, a indústria brasileira precisa de linhas de crédito atraentes, porque o capital de giro é escasso.”

**Alexandre Heringer Lisboa**

Diretor da empresa Efficientia, de Belo Horizonte, Minas Gerais



“ Para estimular o mercado de SHIP é muito importante aumentar a divulgação de conhecimento sobre o tema e fomentar a produção local de equipamentos para essa finalidade.”

**Sergio Ypiranga dos Guarany's**

Chefe de Energia da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços

# RESUMO EXECUTIVO

O Brasil é um país rico em sol, com um forte setor industrial e uma longa tradição de utilização de tecnologias de energia solar térmica para residências familiares, hotéis, piscinas e hospitais. Essa combinação parece ser uma oportunidade para aumentar o uso do calor solar em processos industriais.

Tecnologias solar térmicas, como placas planas, coletores de tubos a vácuo e coletores concentradores são mundialmente cada vez mais utilizados para fornecer água quente ou vapor até 400°C para uma grande variedade de processos de produção como lavagem e branqueamento na indústria têxtil, fabricação de cerveja, recurtimento em fábricas de couro, pasteurização de leite em laticínios, ou limpeza de superfícies de máquinas de produção etc.

A análise dos dados anuais no Balanço Energético Nacional mostrou os quatro segmentos industriais com a maior demanda de calor em faixa de temperatura baixa e média (abaixo de 400°C) no Brasil, as quais são mais adequadas para o uso de Aquecimento Solar para Processos Industriais (SHIP): Alimentos e Bebidas, Papel e Celulose, Químico, Têxtil e Couro (ver item 3.1).

Além do Chile, México e Argentina, onde há diversos sistemas industriais de aquecimento solar em operação, o Brasil está evidenciando fatores propícios para a aplicação de aquecimento solar na indústria, mas também há necessidade de políticas públicas para impulsionar tecnologias como SHIP:

- O gasto de energia no setor industrial quase duplicou desde 1990, passando de 43,5 Mtep para 84,2 Mtep, fato que chama atenção para a necessidade de medidas de redução de custos e de energia (ver item 1.3).
- A energia em forma de calor predomina no consumo energético do setor industrial, enquanto o de eletricidade permaneceu estável nos últimos 20 anos com apenas 20 % de participação (ver item 1.5). Portanto, para atingir a estimada meta nacional de redução de emissões no setor industrial (redução de 30 % até 2030) os esforços precisam ser concentrados nas medidas de eficiência do consumo de calor (ver item 1.3).
- Um extenso número de 84.978 empresas faz parte dos quatro setores mais relevantes com potencial para SHIP (papel e celulose, alimentos e bebidas, produtos químicos e têxteis) concentradas nos dez estados mais importantes e com o maior valor de negócios industriais (ver item 3.3).
- Aquecimento Solar para processos industriais pode economizar uma quantidade significativa de custos de energia ao longo dos 20 anos da vida útil dos equipamentos, conforme calculado para estudos de caso selecionados no item 5.2.

Tendo identificado esses fatores qualitativos, a questão permanece: quais são as razões para o mercado de aquecimento solar para processos industriais ainda não existir no Brasil?

- Geralmente a eficiência energética é entendida como economia de eletricidade e todos os programas de fomento são concentrados no setor elétrico (ver item 1.4).
- Pequenas e médias empresas, que são o principal grupo do setor industrial no Brasil, enfrentam dificuldades para receber créditos das agências de fomento estatais e de

grandes bancos (ver item 1.4).

- Os investimentos industriais são realizados quase exclusivamente em equipamentos de produção. O consumo de energia (combustível ou eletricidade) não é considerado parte integrante do processo de produção (ver item 3.4).
- Os projetos de aquecimento solar industrial geralmente vêm com tempos de retorno mais longos e com taxas menores de retornos sobre o investimento quando comparados com o negócio principal de uma empresa de manufatura, fazendo com que os clientes industriais relutem em adotar sistemas SHIP (consulte o capítulo 6).

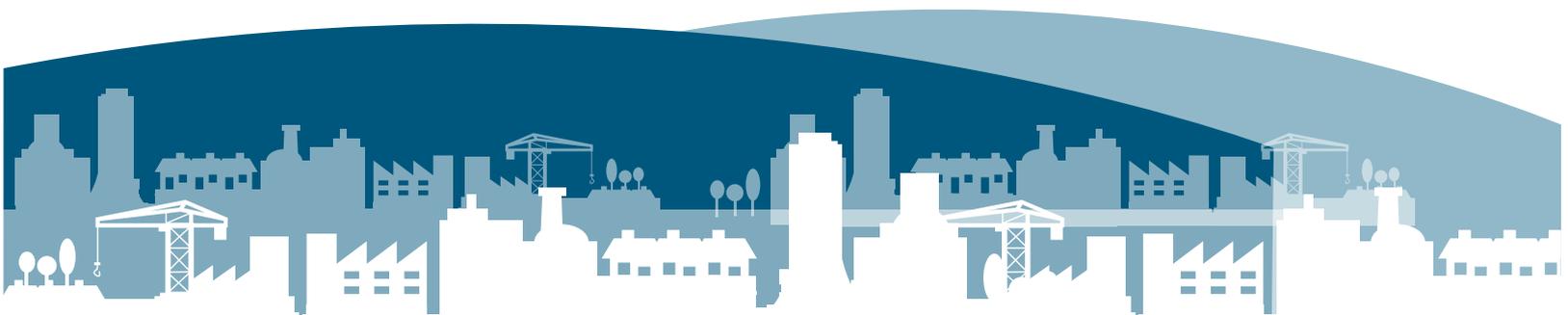
Para abordar as barreiras financeiras descritas acima, os autores recomendam a criação de dois mecanismos de apoio (consulte o capítulo 6):

- Programa de Eficiência de Calor (PEO): ação de estímulo efetivo ao aquecimento solar nos processos industriais com a criação de um programa de eficiência térmica regulamentado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), similar ao Programa de Eficiência Energética (PEE) regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no setor de energia elétrica descrito no item 1.4. Desde 2000, o PEE determina que as concessionárias de energia elétrica aloquem 0,5 % da receita operacional líquida (ROL) para medidas de eficiência energética.
- Subprograma de Eficiência Energética Industrial (EEI): Os autores também recomendam uma linha de crédito incentivado (com baixa taxa de juros) para pequenos e médios valores (R \$ 1 milhão para cima) para ações de eficiência energética industrial, explicitamente voltadas para melhorias na geração de calor/combustível racional nos meios industriais, financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento - BNDES ou por um fundo monetário destinado às questões climáticas. Um período de carência de vários anos deve ser considerado assim como adequados planos de empréstimos e geração distribuída de energia renovável local (ver capítulo 6).

#### **Quais são os próximos passos junto ao Solar Payback?**

- Os parceiros do projeto analisarão mais intensamente a viabilidade econômica e financeira de diferentes aplicações do aquecimento solar industrial sob determinadas condições de enquadramento, conforme indicado no capítulo 5, a fim de avaliar o potencial econômico geral do SHIP no Brasil.
- A elaboração de um documento com recomendações de políticas públicas resumindo o potencial do SHIP no Brasil e detalhando o apelo por um apoio financeiro, conforme descrito acima.
- Visitas a potenciais investidores para projeto demonstrativo de SHIP foram realizadas em maio/18 e, a partir da análise e monitoramento de dados, será elaborado um plano específico de projeto industrial.

CAPÍTULO 1  
**MARCO MACROECONÔMICO E  
POLÍTICA ENERGÉTICA NO BRASIL**



## 1.1 Potencial Solar

O Brasil apresenta excelentes condições para a implantação de energia solar térmica. A irradiação global está entre 4,2 e 6,2 kWh/m<sup>2</sup> por dia (ver figura 1). Isso resulta em um potencial anual de energia solar de 1.500 a 2.264 kWh/m<sup>2</sup> que pode ser absorvida pelos coletores solares térmicos. Isso significa que cada m<sup>2</sup> no Brasil recebe o equivalente a 150 a 226 m<sup>3</sup> de gás natural.



**Média da Irradiação Global Horizontal (GHI) de longo período 1999-2015**



**FIGURA 1:** Média de Longo Prazo da Irradiação Horizontal Global (GHI) para o Brasil

Fonte: 2017 Banco Mundial, Dados de Recursos Solares: Solargis

A influência das altas pressões tropicais associadas com o anticiclone tropical do Atlântico proporciona condições estáveis de baixa nebulosidade e alta irradiação solar ao longo do ano (Martins 2012).



**Média da Irradiação Normal Direta (DNI) de longo período 1999-2015**



**FIGURA 2:** Média de Longo Prazo da Irradiação Direta Normal (DNI). A área assinalada indica a coincidência de densidade industrial com boa irradiação direta normal.

Fonte: 2017 Banco Mundial, Dados de Recursos Solares: Solargis

A Figura 2 mostra a irradiação normal direta anual a longo prazo (DNI) no Brasil. Isto é usualmente considerado menor que a irradiação global porque somente a luz proveniente diretamente do sol é considerada, excluindo a radiação solar difusa que é dispersa ou refletida pelos componentes atmosféricos. A DNI ainda alcança valores anuais entre 1.095 e 2.254 kWh/m<sup>2</sup>. A Figura 2 marca a área mais industrializada do sudeste do país ue coincide com recursos solares prósperos de cerca de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>.

## 1.2 O desenvolvimento econômico e industrial no Brasil

A economia brasileira caracteriza-se por possuir grandes setores bem desenvolvidos de agricultura, mineração, manufatura e serviços, e uma classe média em expansão. Considerando as importações de produtos estrangeiros, os parceiros comerciais mais importantes são a China (17,6 %), os EUA (15,6 %) e a Alemanha (6,1 %). Os principais países importadores de matérias-primas brasileiras são a China (18,6 %), os EUA (12,7 %) e a Argentina (6,7 %). Os cinco produtos mais exportados são soja, petróleo, minério de ferro, açúcar bruto e carne (OCDE, 2016). Em 2017, as exportações superaram as importações em US\$ 67 bilhões (Valor 2018).

Após uma década de crescimento forte e inclusivo (de 2003 a 2013), impulsionado por um mercado doméstico forte e uma alta de preços das matérias-primas no mercado mundial, a economia brasileira desacelerou. Em 2017, o PIB nacional foi de US\$ 2.02 trilhões com uma taxa de crescimento de +1 % e o PIB per capita foi de US\$ 9.689. Nesse mesmo ano a inflação brasileira fechou em 2,95 %, o que foi mais uma queda após 10,67 % em 2015 e 6,9 % em 2016. A composição do PIB em 2017 ocorreu da seguinte forma: serviços (73 %), indústria (21,2 %) e agricultura (5,7 %), (MAPA 2018).

A queda no preço de commodities, as taxas de crescimento mais lentas na China e na Europa e uma política monetária mais rígida nos EUA, somadas à incerteza política, resultaram em uma profunda crise econômica entre 2014 e 2016.

A relação entre a dívida pública e o PIB no Brasil teve uma média de 56,99 % de 2006 a 2016, atingindo uma alta histórica de 69,49 % em 2016 e uma baixa recorde de 51,27 % em 2011 (Trading Economics 2017). No final de março de 2017, o país possuía um amplo nível de reservas de US\$ 375 bilhões, correspondendo a cerca de 20 % do PIB (Banco Central do Brasil 2017).

Indicadores de atividade econômica publicados no fim de 2017 mostram alguns sinais de recuperação do crescimento econômico a curto prazo. No entanto, em alguns setores, o nível de abrandamento econômico continua alto, o que se reflete no índice de desemprego e em baixos índices de utilização da capacidade industrial. Para o ano de 2017 as projeções são de modesta recuperação, entretanto, o desemprego continuará acima de 10 % até meados de 2018, antes de começar a recuar conforme a economia acelera rumo a seu potencial de crescimento. Para 2018 e anos seguintes, as expectativas de inflação dos analistas de mercado continuam ancoradas em 4,5 %, a atual meta inflacionária. O PIB agrícola, que diminuiu 6,6 % em 2016, cresceu 13 % em 2017. A atividade industrial estagnou, após o recuo de 3,8 % em 2016. O setor de serviços, que cresceu em 2,7 % em 2016, se manteve estável em 0,3 % em 2017 (Banco Central do Brasil 2017).

**TABELA 1: Previsão econômica 2017-2018**

<b>Indicador</b>	<b>Crescimento 2006-2017</b>	<b>Crescimento 2017-2018</b>
PIB	0,5 %	2,4 %
Inflação	4,1 %	4,5 %
Importações (US\$)	8,5 %	11,1 %
Exportações (US\$)	7,5 %	4,6 %
Produção industrial	1,3 %	2,5 %
Consumo	0,0 %	2,0 %
Investimentos	2,5 %	6,0 %
Taxa de câmbio (BRL para US\$, ao final do ano)	3,28 %	3,39 %

Fonte: GTAI 2016

A perspectiva do Brasil a médio prazo dependerá do sucesso dos atuais ajustes, e da ratificação de reformas indutoras do crescimento. Neste contexto, o aumento da produtividade e da competitividade continuam sendo fatores cruciais. Após o crescimento intenso ao longo da última década de 2003 a 2013 — consumo movido a crédito, expansão da mão de obra e o boom da exportação de commodities — o crescimento precisará ser baseado em um maior investimento e ganhos de produtividade. O governo do presidente Michel Temer iniciou diversos programas de privatização que pretendem atrair investimentos estrangeiros diretos e estimular a economia. Estima-se que o total de investimentos nestes projetos supere os US\$ 12 bilhões (Faria & Endo 2016). Ao longo de 2017 e 2018, o Banco Central reduziu a SELIC (taxa de juros básica) de 14,25 % para 6,5 % (Banco Central do Brasil 2018). A redução dos custos de financiamento pode ter impactos positivos nos investimentos em infraestrutura energética durante os próximos anos.

A atual campanha anticorrupção “Lava Jato” e as eleições presidenciais, em outubro de 2018, apresentam incerteza política, sendo que a estabilidade é urgentemente necessária para consolidar a retomada econômica.

### Barreiras comerciais e tributárias

De um modo geral, o Brasil é um país com muitos tipos de impostos diferentes. Os sistemas de aquecimento solar (coletores e reservatórios termossolares beneficiam-se de algumas isenções fiscais, como o imposto sobre produtos industrializados (IPI) e o imposto sobre a circulação de bens e serviços (ICMS). No entanto, há outros encargos, como o Imposto de Importação (II), que ainda são altos, chegando a 33% (ver tabela 2).

TABELA 2: Impostos e tarifas sobre coletores solares			
Código NCM		8419.19.10	
Suposto valor CIF <sup>1</sup> de coletores		EUR 100.000,00	
Suposto valor CIF		BRL 385.900,00 <sup>2</sup>	
Impostos e tarifas	Descrição	Taxa	Cobrança adicional
II	Imposto de importação	20,00 %	BRL 77.180,00
IPI	Imposto sobre produtos industrializados	Isento	Isento
PIS	Programa de Integração Social	2,1 %	BRL 8.103,90
COFINS	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social	10,65 %	BRL 41.098,35
ICMS	Imposto sobre a circulação de bens e serviços	Isento	Isento
Custos finais			BRL 512.282,25
			EUR 132.750,00

Notas: <sup>1</sup>Costs, Insurance, Freight (Custos, Seguro, Frete); <sup>2</sup>Taxa de câmbio em 17/11/2017: 3,859 BRL = 1 EUR

Fontes: Receita Federal 2017, ICMS Prático 2017

Os reservatórios térmicos, quando comercializados em separado, sofrem uma tributação ainda maior de até 66 %, uma vez que este grupo de produtos não está isento do ICMS (de aproximadamente 20 %, dependendo do estado da federação do Brasil onde localiza-se a unidade fabril, ver tabela 3).

TABELA 3: Impostos e tarifas sobre reservatório térmico			
Código NCM		7310.10.90	
Suposto valor CIF de sistemas de aquecimento solar (coletores com os respectivos reservatórios)		EUR 100.000,00	
Valor CIF		BRL 385.900,00 <sup>3</sup>	
Impostos e tarifas	Descrição	Taxa	Cobrança adicional
II	Imposto de importação	14,00 %	BRL 54.026,00
IPI	Imposto sobre produtos industrializados	5,0 % <sup>1</sup>	BRL 21.996,30
PIS	Programa de Integração Social	2,1 %	BRL 8.103,90
COFINS	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social	10,65 %	BRL 41.098,35
Subtotal			BRL 511.124,55
ICMS	Imposto sobre a circulação de bens e serviços	20 (18+2) % <sup>2</sup>	BRL 127.781,14
Custos finais			BRL 638.905,69
			EUR 165.562,50

Notas: <sup>1</sup>cobrado sobre o CIF+imposto II; <sup>2</sup>Contagens de subtotal como base de cálculo igual a 80 %; <sup>3</sup>Taxa de câmbio em 17/11/2017: 3,859 BRL = 1 EUR

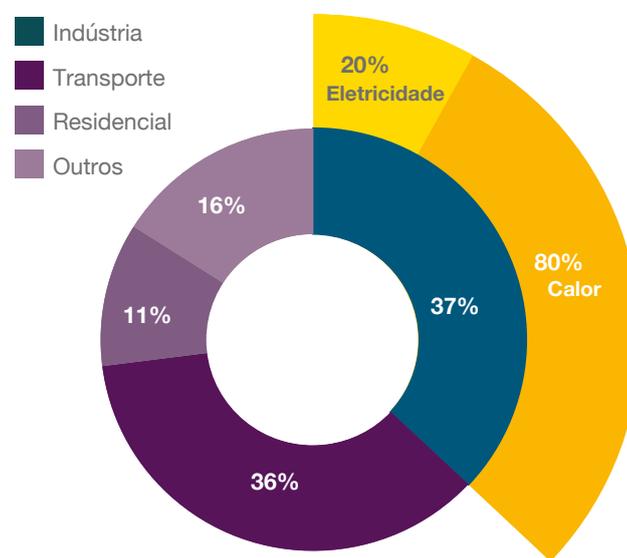
Fontes: Estado do Rio de Janeiro 2017; Receita Federal 2017

Além disso, os investidores devem considerar o Imposto Sobre Serviços (ISS) de até 5 % incidente no âmbito municipal sobre todos os serviços contratados no contexto do projeto, e cerca de 30 % de impostos e taxas sobre os custos de frete.

A informação mencionada acima demonstra que a importação de equipamentos não é viável quando existem equipamentos locais equivalentes, ou seja, coletores para baixas temperaturas até 80 °C (por exemplo, coletores planos).

### 1.3 Demanda energética na indústria

O setor industrial é o setor que apresenta o maior consumo energético no Brasil. Em 2016, o consumo de energia na indústria correspondeu a 84,18 Mtep (equivalente a 3,5 EJ), o que corresponde a uma parcela de 36,7 % da demanda energética final (ver figura 3). O setor de transporte é o segundo maior consumidor, com 82,65 Mtep (equivalente a 3,5 EJ). O consumo final de energia total somou 229,12 Mtep (9,6 EJ).

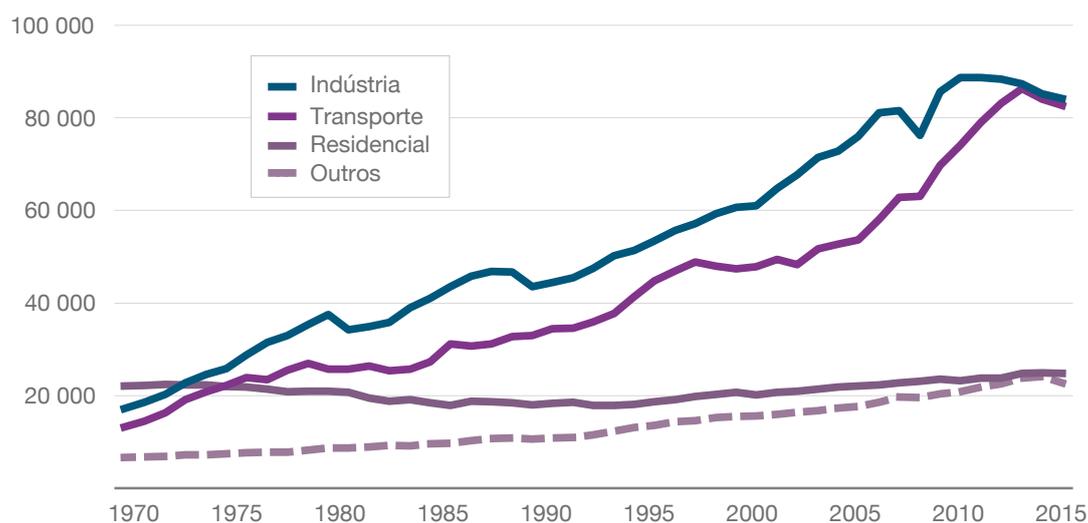


**FIGURA 3:** Consumo final de energia total por setor em 2016 (Total: 229,12 Mtep = 9,6 EJ) e parcela de consumo de calor e eletricidade no setor industrial. A categoria “Outros” inclui o setor de serviços, a agricultura e o uso não energético.

Fonte: EPE 2017a

A demanda por calor está em primeiro lugar no consumo final total de energia da indústria, com 80 % (67,4 Mtep = 2,8 EJ). Este percentual é até um pouco maior do que a média global de 74 % (85 EJ) (IEA 2014).

Apesar da recessão dos últimos anos, a tendência do consumo de energia no Brasil é de crescimento gradativo em quase todos os setores, como resultado do aumento da população e do crescimento econômico ao longo dos anos. O consumo final de energia no setor industrial quase duplicou desde 1990, passando de 43,5 Mtep para 84,2 Mtep (ver tabela 5).



**FIGURA 4:** Utilização final da energia nos setores brasileiros (em ktep) desde 1970. A categoria “Outros” inclui o setor de serviços e a agricultura. O uso não energético não é considerado neste gráfico.

Fonte: EPE 2017a

**TABELA 4:** Taxa de crescimento do consumo final de energia nos setores. Onde os valores totais não são a soma correta, a diferença é devida ao arredondamento de valores.

	Consumo final de energia em 1990 [Mtep]	Consumo final de energia em 2016 [Mtep]	Crescimento
Outros (serviços e agricultura)	10,7	22,7	113 %
Residencial	18,0	24,9	38 %
Transporte	33,0	82,7	151 %
Industrial	43,5	84,2	93 %
<b>Total</b>	<b>105,1</b>	<b>214,4</b>	<b>104 %</b>

Fonte: EPE 2017

Espera-se que a trajetória de crescimento da demanda energética no Brasil continue nos próximos anos. O Ministério de Minas e Energia, MME, assume que a população crescerá em 20 milhões até 2026, o que demanda um aumento de 45 % na capacidade nacional de energia elétrica. Atualmente, a população brasileira é de 208 milhões de habitantes (Globo/IBGE 2017).

Em setembro de 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris através do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e publicou sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) (UNFCCC 2016). A contribuição do país será a redução, até 2025, das suas emissões de gases de efeito estufa em 37 % abaixo dos níveis de 2005, com uma meta subsequente, até 2030, de redução de 43 % abaixo dos níveis de emissão de 2005.

Em 2017, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) apresentou um cenário até 2030 para a mitigação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em setores-chave do Brasil. A estratégia do MCTIC para a redução de emissões de gases de efeito estufa depende muito do setor industrial. As indústrias voltadas ao consumidor final, como a automotiva, assim como as indústrias de eletrodomésticos, alimentos e bebidas, devem reduzir suas emissões em 30 % até 2030 em relação ao ano de referência de 2005.

**TABELA 5: Metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa em diferentes setores**

	Emissões de gases de efeito estufa (Mt CO <sub>2</sub> ) 2030			
	Cenário de linha de base	BC0	BC10	Redução em BC10 em comparação com o caso de referência
Indústria: produtos para o consumidor final	131,5	110,9	91,9	-30 %
Indústria: produtos minerais e metálicos mais produtos químicos	106,6	105,3	94,1	-11,7 %
Agricultura	23,9	23,8	24,2	1,3 %
Transporte	228,6	208,6	203,3	-11,1 %
Construção	21,0	21,4	21,4	1,9 %

BCx representa cenários de baixo carbono, onde "x" refere-se ao valor do carbono (0 USD/ tCO<sub>2</sub> e 10 USD/ tCO<sub>2</sub>)

Fonte: MCTIC 2017

### Conclusões:

- Apesar da crise atual, o Brasil continua sendo uma economia poderosa com uma demanda doméstica emergente.
- O setor industrial é responsável por 36,7 % do consumo final de energia em 2016.
- A demanda energética no setor industrial quase duplicou desde 1990, passando de 43,5 Mtep para 84,2 Mtep, o que atrairá a atenção para medidas de economia de custos e energia.
- 80 % do consumo final de energia na indústria é proveniente de calor atendido por diferentes insumos (gás, óleo, lenha etc...), sendo que a eletricidade é responsável pelos 20 % restantes.
- Há grande pressão sobre o setor industrial em relação à política de mudanças climáticas. As emissões de gases de efeito estufa da indústria de produtos para o consumidor final devem ser reduzidas em 30 % até 2030, em comparação com o cenário de linha de base.

## 1.4 Políticas de fomento

O número de empreendedores brasileiros aumentou nos últimos anos. A importância das pequenas empresas na economia e suas capacidades de gerar empregos são reconhecidas nas estatísticas nacionais. As pequenas e médias empresas contribuíram com 27 % para o PIB nacional. Em 2015, as micro e pequenas empresas já representavam 52 % dos empregos formais e 41,4 % dos salários nacionais totais. (SEBRAE 2015)

Apesar desta participação considerável das pequenas e médias empresas na economia, elas nem sempre têm acesso fácil a linhas de crédito para eficiência energética, especialmente nos grandes bancos comerciais e de desenvolvimento. No entanto, estas instituições financeiras recentemente começaram a olhar com mais interesse para este segmento de empresas, simplificando o acesso ao crédito.

As exigências administrativas para o acesso às linhas de crédito, em termos de documentos relevantes, mudam frequentemente no Brasil. É por isso que o capítulo a seguir apresenta

informações gerais que podem se tornar rapidamente desatualizadas, mesmo poucos meses após esta publicação.

Os principais programas e instituições de financiamento para promover a eficiência energética e energias renováveis no Brasil são apresentados abaixo. Apesar de a eficiência energética muitas vezes incluir a tecnologia termossolar em programas de fomento em todo o mundo, no Brasil, o incentivo para a eficiência energética tem se dedicado principalmente ao setor da eletricidade. O ponto de partida desta política foi em 1985, com o lançamento dos projetos do PROCEL - o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

**TABELA 6: Resumo dos programas de incentivo à eficiência elétrica/energética. As abreviações são explicadas na página 64**

Linhas de financiamento / Iniciativas	Objetivos	Beneficiários	Apoio geral/Fonte de financiamento	Qualificado para SHIP	Website
<b>PROCEL (da Eletrobras)</b>	Promover selos de eficiência energética de produtos, divulgar projetos de melhores práticas de eficiência energética, além de promover campanhas para hábitos de economia de energia	Usuários finais da eletricidade nos setores público e comercial	Programas especiais são o Programa de Iluminação Pública (Procel Reluz), a Gestão Energética Municipal (Procel GEM), a Gestão de Eficiência Energética nas Edificações (Procel Edifica), a Parceria nos Segmentos Público e Privado (Procel EPP) e a Gestão Energética em Indústrias (Procel Indústria)	Não, focado apenas no setor de energia elétrica	<a href="http://www.procelinfo.com.br">www.procelinfo.com.br</a>
<b>CT-ENERG (da FINEP)</b>	Fomentar a ciência e a tecnologia para a eficiência energética, e financiar inovação e pesquisa tecnológica	Empresas privadas, universidades, institutos tecnológicos e centros de pesquisa	0,75 % a 1 % da receita líquida de concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	Apenas projetos relacionados a P&D e inovação	<a href="http://www.finep.gov.br">www.finep.gov.br</a>
<b>PEE (da ANEEL)</b>	Financiar projetos de eficiência elétrica no uso final da energia (por exemplo, setor público, habitação social ou indústria)	Usuários finais da energia elétrica nos setores público e comercial	Até 0,5 % da receita líquida de concessionárias de distribuição de energia elétrica	Possível, desde que se substitua SHIP por eletricidade	<a href="http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica">www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica</a>
<b>FNMC</b>	Financiar projetos e estudos que visem à redução dos impactos das mudanças climáticas	Projetos de Energias Renováveis, Manejo Florestal, Ocenografia, Biogás, Smart Grids, etc...	Disponibiliza suporte reembolsável (pelo BNDES) e não reembolsável (pelo MMA)	Possível, mas ainda não existe nenhum estudo de caso SHIP	<a href="http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/fontes-de-recursos/fundos-governamentais/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima-fnmc/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima-fnmc">http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/fontes-de-recursos/fundos-governamentais/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima-fnmc/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima-fnmc</a>
<b>BNDES / BNB</b>	Visa ampliar as fontes de energias alternativas na matriz elétrica brasileira	Empresas do setor privado e instituições públicas	Alocar empréstimos de longo prazo para projetos de eficiência energética e energias renováveis com alto impacto social e ambiental. Estão disponíveis diversas linhas de crédito com cobertura de 50 a 80 % dos custos de investimentos.	Sim, desde que o projeto SHIP substitua eletricidade	<a href="https://www.bnb.gov.br/programas-do-bndes">https://www.bnb.gov.br/programas-do-bndes</a>

Fonte: Pesquisa própria

**PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia:** O PROCEL foi criado em 1985 pelo governo federal, e é executado pela Eletrobras para a redução do consumo de eletricidade e, conseqüentemente, das emissões de gases de efeito estufa e a mitigação dos impactos ambientais. O programa visa promover o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e postergando a necessidade de investimentos em nova capacidade de geração. Além disso, as ações do PROCEL são voltadas para o aumento da eficiência dos produtos e serviços, para a disseminação do conhecimento sobre o uso eficiente da energia e para a adoção de hábitos de consumo mais conscientes.

**CT-ENERG - Ciência e Tecnologia Energ:** O CT-ENERG é uma categoria do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT, gerenciado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), uma empresa pública vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC). O CT-ENERG é destinado a financiar projetos de pesquisa e desenvolvimento e a definir um programa abrangente para enfrentar os desafios de longo prazo no setor industrial, como fontes alternativas de energia com custos menores e melhor qualidade bem como redução do desperdício, além de estimular o aumento da competitividade da tecnologia industrial nacional (FINEP 2017).

Os projetos financiados pelo CT-ENERG incentivam as empresas públicas e privadas a participarem com recursos tecnológicos e financeiros para o desenvolvimento de novos processos, produtos e serviços, por meio de acordos com universidades e instituições de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D. Os fundos são distribuídos diretamente ou através de bancos de desenvolvimento locais, como por exemplo o AFEAM para o estado do Amazonas e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB) nessa região do país.

**PEE - Programa de Eficiência Energética:** O PEE é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em conjunto com concessionárias de distribuição de eletricidade conforme Lei nº 9.991 de 2000, e atualizada pela Lei nº 13.203 de 2015, que determinou sua prorrogação até 31 de dezembro de 2022. O PEE determina a obrigação das concessionárias de distribuição de eletricidade a aplicarem anualmente 0,5 % de sua Receita Operacional Líquida (ROL) em medidas para a eficiência energética. Esta ação garante um orçamento de BRL 450 milhões anuais para a eficiência energética em todo o Brasil. Uma parte deste orçamento (cerca de 2 % - BRL 75 milhões) foi investida em aquecedores solares de água para residências, de 2008 até 2017. Além de ser exclusivo para medidas de economia de eletricidade, este é o maior programa de eficiência energética no Brasil. As empresas privadas podem se beneficiar do fundo PEE recebendo empréstimos através de contratos de desempenho com a concessionária de distribuição de energia de forma direta, ou por meio de uma empresa de prestação de serviços de eficiência energética (ESCO – Energy Service Company).

**FNMC - Fundo Nacional sobre Mudança do Clima:** O FNMC foi criado pela Lei nº 12.114 / 2009 e é regulamentado pelo Decreto nº 7.343 / 2010. O fundo tem como objetivo o financiamento de projetos e estudos que visem à redução dos impactos das mudanças climáticas. O FNMC está vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e disponibiliza recursos em duas modalidades: reembolsável e não reembolsável. Os recursos reembolsáveis são gerenciados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O MMA é responsável pela operação dos recursos não reembolsáveis.

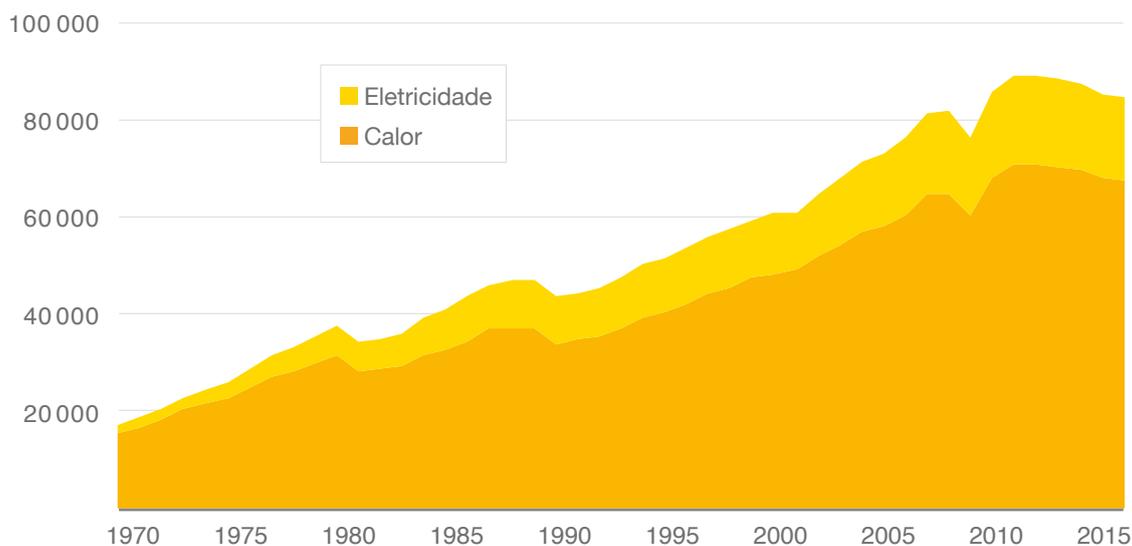
**BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social:** A missão do BNDES é promover o desenvolvimento do país, aumentando a competitividade da economia brasileira, priorizando a redução das desigualdades sociais e regionais, bem como mantendo e gerando empregos. Em 2016, a diretoria do BNDES, em cooperação com o MME e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), aprovou novas condições de financiamento para o setor de energia elétrica. As alterações visam contribuir para a ampliação de fontes de energias alternativas na matriz elétrica brasileira. O BNDES oferece empréstimos de longo prazo para projetos de energias renováveis e economia de eletricidade com alto retorno social e ambiental, cobrindo 50 a 80 % dos custos de investimento. (BNDES 2016)

### Conclusões:

- Todas as agências ou programas de financiamento estatais estão focados em medidas de economia de eletricidade e, portanto, não são adequados para SHIP (Energia Termossolar para Processos Industriais, da sigla em inglês Solar Heat for Industrial Processes).
- Pequenas e médias empresas, que são o principal grupo do setor industrial no Brasil, enfrentam dificuldades em receber créditos das agências de financiamento estatais e dos bancos de desenvolvimento.
- Existe uma carência de fundos dedicados e linhas de crédito para investimentos em SHIP.

## 1.5 Fontes de energia e sua disponibilidade no setor industrial

A demanda de calor na indústria brasileira cresceu significativamente ao longo dos anos, de 15,52 Mtep em 1970 para 67,39 Mtep em 2016 (ver figura 5). A parcela de demanda de eletricidade na indústria permaneceu mais ou menos estável, desde 1985, em cerca de 20 % do consumo final de energia, e estava em 16,79 Mtep em 2016. Portanto, a parcela de calor demonstra um potencial para redução das emissões de gases de efeito estufa no setor industrial que precisa ser objeto de medidas de eficiência de geração de calor ou no aumento da parcela de “calor renovável”.

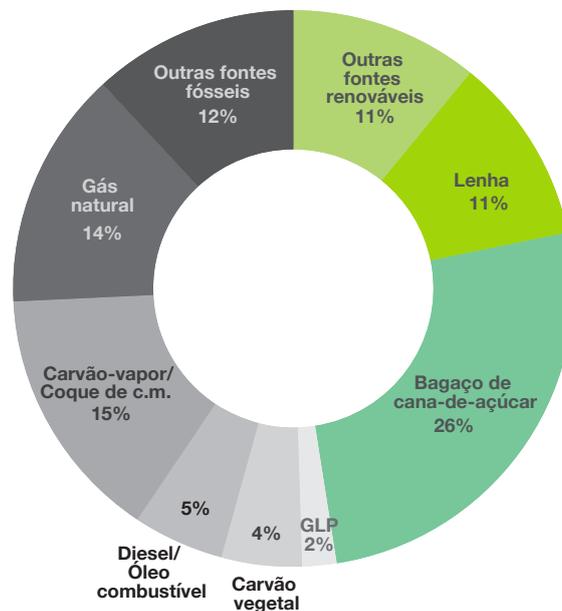


**FIGURA 5:** Parcela de eletricidade e calor na demanda energética final do setor industrial

Fonte: EPE 2017A

A maior parte dessa enorme demanda de calor na indústria ainda é coberta por fontes de energia fósseis. 53 % das 67,39 Mtep de energia térmica consumida em 2016 em fábricas no país foram fornecidas por carvão (13,38 Mtep) e 9,5 Mtep por gás natural (ver figura 6). No entanto, uma grande parte da demanda de calor na indústria é suprida por biomassa. Lenha, bagaço de cana-de-açúcar e outras fontes renováveis, como casca de arroz e resíduos da indústria de papel, contribuíram com 31,93 Mtep (47 %) para atender a demanda de calor industrial nacional em 2016. Em termos mundiais, o Brasil tem a parcela

mais alta de bioenergia no setor industrial (IEA 2017). Globalmente, 9 % da demanda final de calor na indústria foi coberta por bioenergia no ano de 2015 (números mais recentes disponíveis (IEA 2017), enquanto no Brasil, esta parcela foi de 47 %.



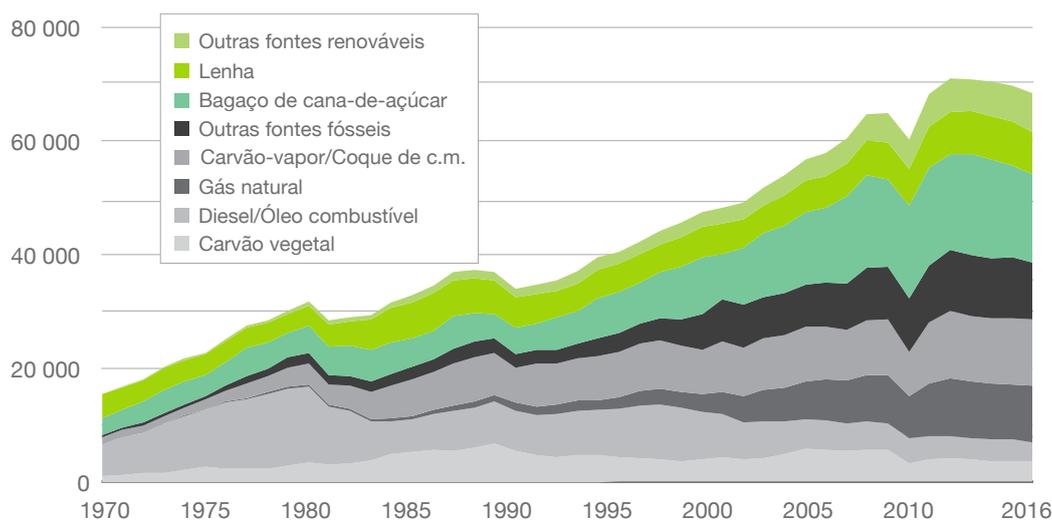
**FIGURA 6:** Fontes de energia utilizadas para cobrir a demanda de calor industrial no Brasil em 2016. Total 67,39 Mtep

Fonte: EPE 2017A

A energia de biomassa aumentou significativamente, e cobriu uma grande parte da demanda de calor em forte crescimento no setor industrial (ver figura 7). Nos últimos 10 anos, o consumo de lenha no setor industrial cresceu 24 %, o consumo de bagaço de cana-de-açúcar 15 % e o de outras fontes renováveis em até 64 % (ver tabela 7).

É importante notar que a madeira virgem é uma questão cada vez mais problemática, e é visto como ilegal utilizar madeira não certificada para produção de calor no setor industrial. Estima-se ainda que cerca de 25 % da lenha utilizada como combustível seja originária de florestas nativas, de acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais. Portanto, quantidades consideráveis de lenha ainda provêm do desmatamento (Serviço Florestal Brasileiro 2017).

A edição mais recente do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), de outubro de 2016, enfatizou o fato de que as emissões de GEE aumentaram em 27 % em 2016 devido ao desmatamento no estado do Amazonas. Isto é especialmente alarmante, pois as emissões aumentaram em um ano em que o PIB diminuiu em 3,3 %.



**FIGURA 7:** Fontes de energia que cobrem a demanda de calor em enorme crescimento no setor industrial

Fonte: BEN 2017

O consumo de gás natural na indústria também teve um forte aumento de 26 % entre 2006 e 2016, substituindo fontes de energia tradicionais, como o carvão e o óleo combustível (ver figura 7), ambos os quais tiveram queda de 7 % e 27 % respectivamente (ver tabela 7). Portanto, o gás natural será o concorrente mais importante para SHIP no futuro. O crescimento das importações de gás natural liquefeito e os terminais de regaseificação planejados aumentarão consideravelmente a oferta e o uso de gás natural no setor industrial.

**TABELA 7:** Fontes de energia no setor industrial 2006 e 2016

	Consumo de fontes de energia em 2006 [Mtep]	Consumo de fontes de energia em 2016 [Mtep]	Crescimento/queda 2006 a 2016
Diesel / Óleo combustível	4,7	3,4	-27 %
Coque / Carvão vegetal / Carvão-vapor	14,4	13,4	-7 %
Outras fontes fósseis	8,1	9,2	13 %
Gás natural	7,6	9,5	26 %
Lenha	5,8	7,2	24 %
Bagaço de cana-de-açúcar	15,3	17,6	15 %
Outras fontes renováveis	4,4	7,2	63 %
Eletricidade	15,8	16,8	6 %
Total	76,0	84,2	

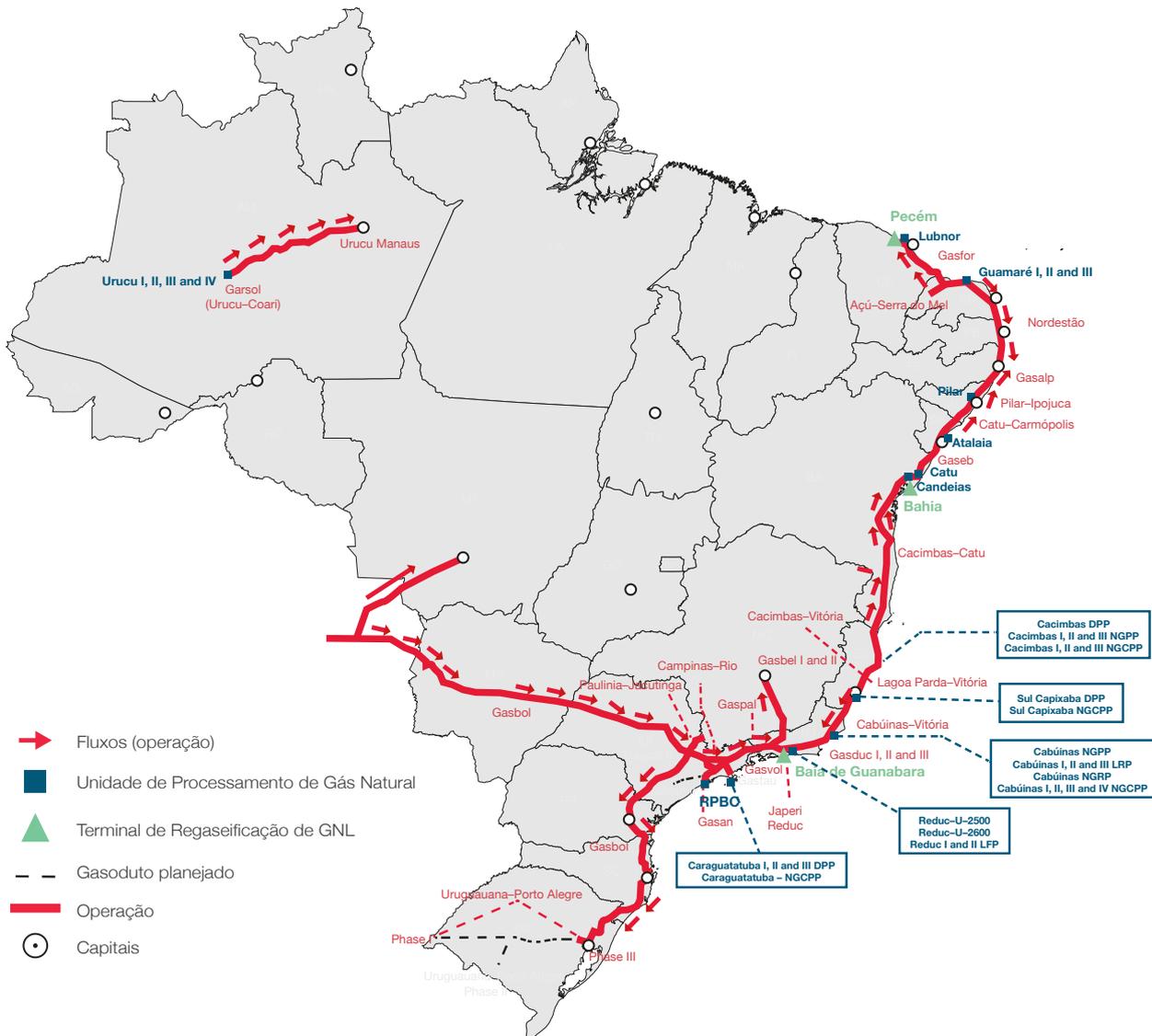
Onde os valores totais não são a soma exata, a diferença é devida ao arredondamento de valores

Fonte: BEN 2017

## Gás natural

Desde 2010, a produção bruta de gás natural aumentou de aproximadamente 65 milhões de m<sup>3</sup> para 104 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2016; dos quais cerca de 70 % vêm de fontes domésticas e o restante é importado, principalmente da Bolívia. A infraestrutura de distribuição de a gás natural cobre quase todo o litoral brasileiro, onde estão baseados os centros industriais e comerciais, e liga São Paulo à Bolívia (ver figura 8). Também vale notar o gasoduto projetado para o estado do Rio Grande do Sul, representado com pontos pretos na figura 8, ligando a rede de gás natural da Argentina à do Brasil. Outro investimento atual é o novo gasoduto Urucu-Coari-Manaus com 663 km no noroeste do Brasil, ligando a refinaria de petróleo Isaac Sabbá a Manaus, capital do estado do Amazonas.

O mapa da rede de gás na figura 8 foi traçado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Criada em 1997, esta agência do governo federal ligada ao MME regula o setor de petróleo, gás e biomassa.



**FIGURA 8:** Rede de distribuição de gás natural

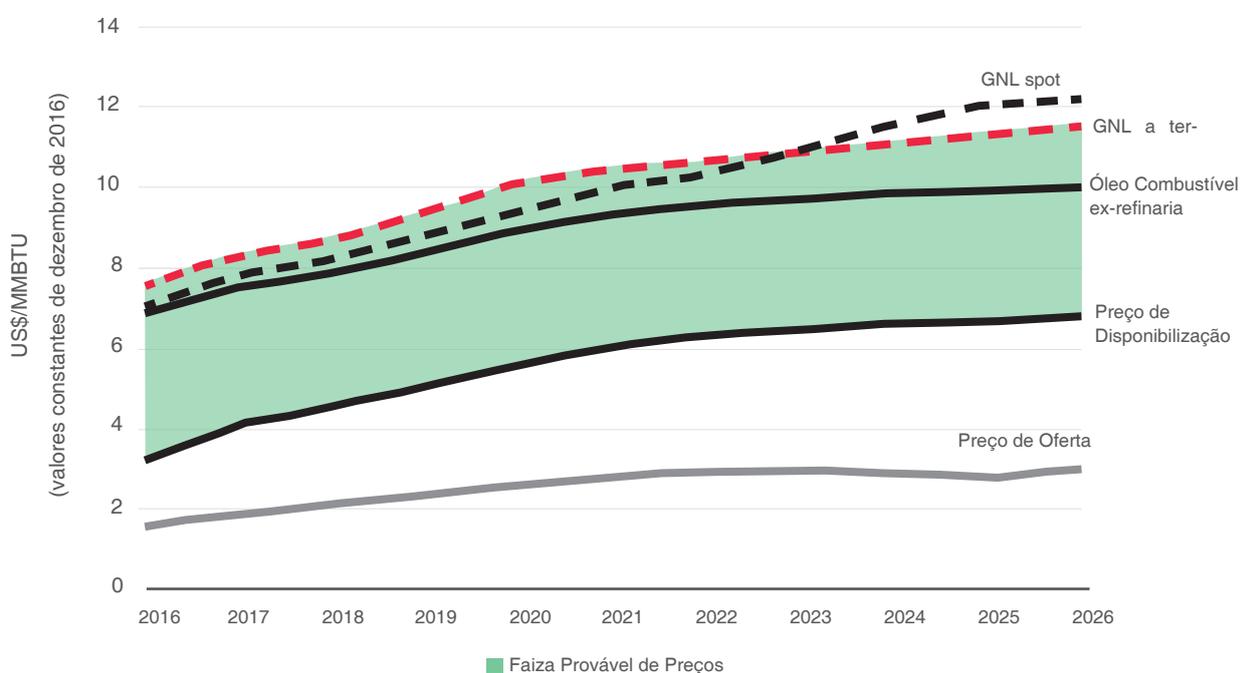
Fonte: ANP 2017

Devido à crise econômica, o consumo industrial de gás teve uma queda de 4,5 % entre 2015 e 2016. Em 2016, 29,3 % do consumo nacional de gás estava no setor industrial (EPE 2017a).

A produção bruta de gás natural no Brasil tem uma expectativa de crescimento de cerca de 57 % ao longo dos próximos 10 anos, dos atuais 104 milhões de m<sup>3</sup>/dia para cerca de 182 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2026, de acordo com cálculos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE 2017b).

Segundo a avaliação dos estudos de energia do governo, o aumento da produção será coberto principalmente pela maior contribuição do gás produzido em campos de pré-sal em áreas costeiras. O gás do pré-sal, que agora representa 47 % da produção bruta do país, representará 60 % do volume de produção doméstica bruta em 2026. Mas, aparentemente, sua exploração será dispendiosa, com preços de revenda que atingirão entre 5 e 11 USD/MMBtu em 2026, aumentando de 3 a 8 USD/MMBtu (ver figura 9).

Em um horizonte de 10 anos, espera-se que os preços da produção de gás aumentem de acordo com um Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (EPE 2017b) publicado pelo MME (ver figura 9). Os preços do gás natural flutuarão dentro da faixa azul da figura 9 devido à competitividade com combustíveis substitutos, à concorrência entre os distribuidores e ao seu poder de negociação em diferentes estágios da cadeia de valor e o equilíbrio entre demanda e oferta (EPE 2017b). O MME assume que a “maior quantidade de importação de gás natural nos últimos anos e a entrada de novos terminais de regaseificação podem ampliar a influência do mercado internacional de gás natural na dinâmica de formação de preços de gás natural no Brasil, dado que o país é um tomador de preços no mercado internacional.” (EPE 2017b)



**FIGURA 9:** Projeção dos preços de produção de gás natural sem impostos (ICMS / PIS / COFINS) e sem custos e margens de transporte

Fonte: EPE 2017b

Os preços do gás natural para consumidores industriais aumentaram em 9,8 % entre julho de 2016 e julho de 2017, para uma faixa de 12,92 a 15,10 USD/MMBtu (incluindo impostos) para consumidores entre 2.000 e 50.000 m<sup>3</sup>/dia (ver tabela 8). A tendência de aumento dos preços do gás natural industrial em BRL/m<sup>3</sup> (ver tabela 8) em aproximadamente 5 % ao ano deve continuar, segundo as expectativas. Os preços em USD/MMBtu diminuíram devido à desvalorização da moeda local neste período de 5 anos. No entanto, gás, petróleo e biomassa são comercializados em BRL no mercado doméstico.

**TABELA 8: Evolução dos preços do gás natural para usuários industriais de energia (incl. impostos)**  
\*janeiro a agosto 2017

	Consumo (m <sup>3</sup> /dia)	Preços médios						Taxa de crescimento em 5 anos
		2012	2013	2014	2015	2016	2017*	
BRL/m <sup>3</sup>	2.000	1,39	1,48	1,54	1,68	1,68	1,79	29 %
	20.000	1,23	1,30	1,36	1,50	1,49	1,58	28 %
	50.000	1,20	1,27	1,32	1,46	1,45	1,53	28 %
USD/MMBtu	2.000	19,04	17,48	17,55	13,69	13,00	15,10	-21 %
	20.000	16,92	15,37	15,56	12,17	11,54	13,36	-21 %
	50.000	16,42	14,90	15,10	11,83	11,19	12,92	-21 %
Taxa de câmbio BRL/USD		2,16	2,35	3,34	3,48			

Fonte: MME 2017

**TABELA 9: Fatores de conversão de gás natural para calcular preços específicos em MWh relacionados aos números da tabela 8 (incluindo impostos)**

Fatores de conversão	Preços
1 MMBtu = 0,293 MWh 1 MWh = 3,413 MMBtu	15,1 USD/MMBtu corresponde a 51,5 USD/MWh
1 m <sup>3</sup> gás = 0,011 MWh 1 MWh = 91 m <sup>3</sup>	1,79 BRL/m <sup>3</sup> corresponde a 162,9 BRL/MWh

O preço do gás para usuários finais industriais é altamente dependente dos custos de transporte/distribuição e dos impostos (ver tabela 10). Mais da metade do preço final está vinculado a impostos (22,1 %), transporte (15,8 %) e distribuição (18,8 %). Atualmente, a empresa estatal de petróleo e gás Petróleo Brasileiro SA (Petrobras) controla mais de 90 % destas reservas, além da produção, transporte e importação de gás natural no mercado doméstico (OCDE 2016b).

**TABELA 10: Composição média de custos do gás para a indústria brasileira**

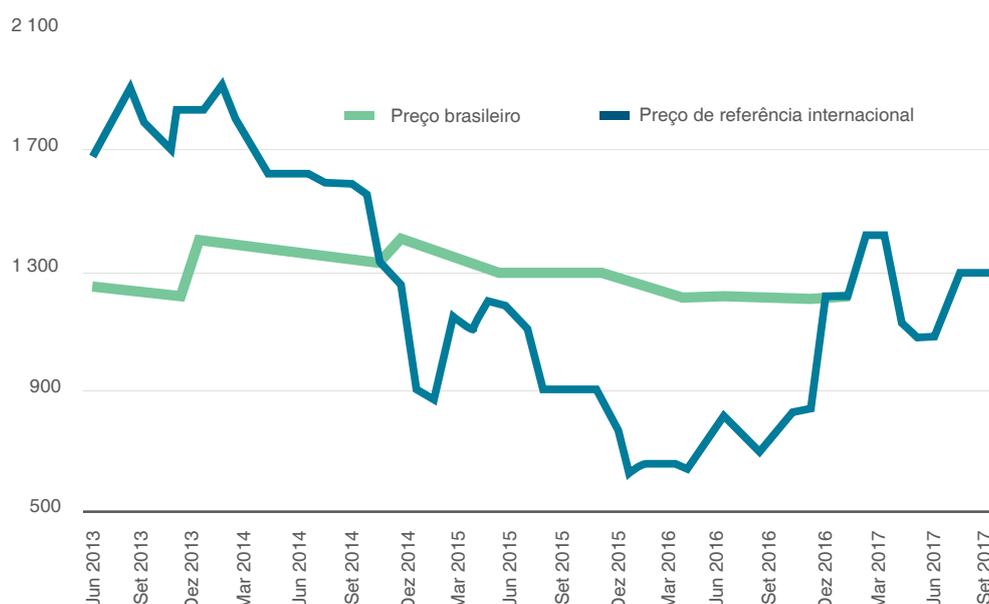
Item	USD/MMBtu	%
Unidade de commodity	7,30	43,3
Transporte	2,66	15,8
Distribuição	3,16	18,8
Impostos (PIS/COFINS e ICMS)	3,72	22,1
<b>Total</b>	<b>16,84</b>	

Fonte: FIRJAN 2011

## Óleo combustível / Diesel

O óleo combustível e o diesel exercem um papel menor na indústria, cobrindo apenas 5 % da demanda de calor (ver figura 6).

Em 2015 e na primeira metade de 2016, o preço do óleo doméstico estava muito acima do nível internacional de aproximadamente 1.300 BRL/t, pois a queda nos preços de mercado mundiais do petróleo bruto não foi repassada aos consumidores brasileiros para enfrentar a inflação alta (ver figura 10). No entanto, no fim de 2016, mudanças no governo e nas políticas de energia levaram a um acompanhamento dos preços de mercado internacionais de aprox. 1.300 BRL/t (402 USD/t, taxa de câmbio BRL/USD 3,23) ou 286 BRL/MWh (89 USD/MWh) com uma eficiência de conversão de 39 % (FGV 2017).



**FIGURA 10:** Preço do óleo combustível 2013–2017

Notas: linha azul = preço brasileiro, linha vermelha = preço de referência internacional  
Fonte: FGV 2017

As tendências estimam preços estáveis para o óleo combustível industrial. O consumo industrial diminuirá sua parcela de mercado em aproximadamente 5 % ao ano, principalmente devido ao aumento do uso de gás natural (estimativa dos autores).

## Biomassa

É difícil avaliar o papel da biomassa como combustível, e há poucos dados disponíveis. Não existe um “mercado de biomassa” no sentido estrito, por exemplo, com pellets sendo comercializados como commodity. As informações sobre os preços de reflorestamento de eucalipto ou lenha variam em torno dos 40 BRL (12 USD/m<sup>3</sup>, taxa de câmbio BRL/USD 3,23) (Notícias Agrícolas 2018).

Dependendo da região, os consumidores industriais têm a possibilidade de comprar madeira de plantações de eucalipto ou como resíduo da produção agrícola (por exemplo, casca de arroz, licor negro, bagaço e folhas de cana-de-açúcar). O eucalipto é o combustível de biomassa mais comum. Em 2017, seu preço era cerca de 40 BRL/m<sup>3</sup>. De um modo geral, espera-se que os preços da biomassa (certificada) aumentarão no nível da inflação de 4-5 % ao ano.

Embora seja menos comum para o uso como lenha, ainda existe um mercado significativo de madeira proveniente de florestas nativas, apesar das restrições ambientais à exploração. De acordo com dados do grupo florestal do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), para pranchas e toras de essências nativas no Pará, os preços do jatobá e da maçaranduba caíram, embora intermitentemente, de janeiro de 2016 a fevereiro de 2017 (CEPEA 2017). No mesmo período, os preços em reais de pranchas e toras de ipê, angelim-pedra, angelim-vermelho e cumaru permaneceram estáveis. Vale notar que há mercados distintos para o mesmo produto, dependendo da espécie utilizada. Em 2014, em Caruaru (coração da região Nordeste), a madeira nativa era comercializada por 50 a 80 BRL/m<sup>3</sup>. Devido aos períodos de escassez local, seu preço aumenta mais que o da madeira certificada (CEPEA 2017).

## Eletricidade

A eletricidade é, de longe, a fonte de energia mais cara para as indústrias, em parte devido aos seus altos impostos e taxas, principalmente no horário de pico das 17h às 20h. Portanto, é uma fonte atraente para ser substituída por SHIP onde é utilizada para finalidades térmicas.

**TABELA 11: Composição média de custos da eletricidade para a indústria brasileira**

Item	BRL/MWh	%
Geração, transmissão, distribuição	302,06	56,4 %
Perdas	37,39	7,0 %
Encargos	24,26	4,5 %
Taxa de risco hidrológico	27,27	5,1 %
Impostos	144,27	27,0 %
<b>Total</b>	<b>535,25</b>	<b>100 %</b>

Fonte: FIRJAN 2016 e ANEEL 2016

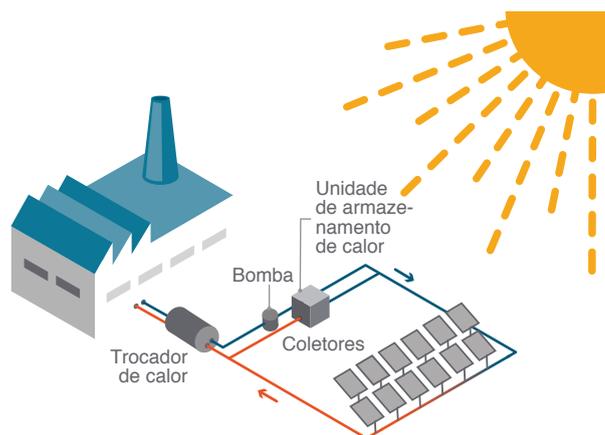
## Conclusões:

- A parcela de demanda de eletricidade na indústria permaneceu estável desde 1985 em cerca de 20 % do consumo final de energia, embora a demanda final de energia térmica tenha dobrado nos últimos 15 anos. Portanto, as medidas de proteção climática precisam se concentrar na demanda de calor do setor industrial.
- O gás é cada vez mais utilizado no setor industrial para substituir o óleo e o carvão vegetal. A demanda de gás na indústria aumentou em 17 % entre 2007 e 2016. Os preços do gás para consumidores industriais estão em 1,53 a 1,79 BRL/m<sup>3</sup> (incluindo impostos) e estima-se que subam 5 % ao ano.
- A biomassa cobre 47 % da demanda de calor da indústria. Os preços da biomassa variam em torno de 40 BRL/m<sup>3</sup> para eucalipto de reflorestamento ou lenha dependendo da fonte, e devem aumentar com o índice de inflação de 4 % ao ano. Estima-se também que cerca de 25 % da lenha utilizada como combustível seja originária de florestas nativas, portanto ainda resulta em desmatamento.

CAPÍTULO 2  
**TECNOLOGIAS TERMOSSOLARES  
PARA CALOR DE PROCESO**



## 2.1 Introdução à SHIP



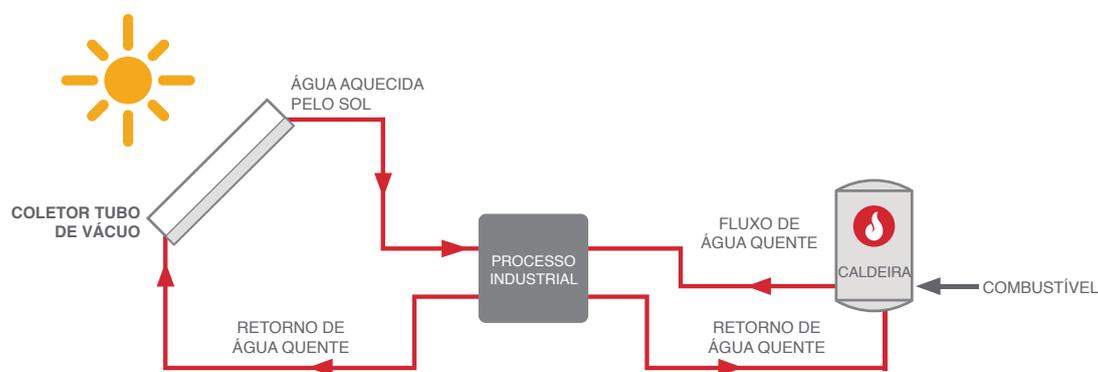
**FIGURA 11:** Esquema de uma planta SHIP

Fonte: Solar Payback 2017

SHIP é uma sigla que descreve sistemas que fornecem energia termossolar a uma fábrica (SHIP = Solar Heat for Industrial Processes – Energia Termossolar para Processos Industriais). Um campo / área de coletores aquece um fluido de processo através da radiação solar, e um trocador de calor transfere este calor a um sistema de abastecimento ou processo de produção na fábrica como água quente, fluxo de ar ou vapor. Unidades de armazenamento possibilitam que o calor gerado seja utilizado durante a noite. Geralmente, a energia termossolar apenas fornece apoio a um processo de geração de calor já existente, e é otimizada de acordo com a demanda nas horas de irradiação máxima.

Este capítulo procura apresentar as tecnologias termossolares apropriadas para geração de calor para aplicações industriais em diferentes níveis de temperatura. O componente mais importante de um sistema termossolar industrial é a área de coletores solares. Outros componentes como reservatórios de armazenamento, bombas, tanques de expansão e trocadores de calor já são comumente utilizados em redes industriais de abastecimento de calor ou vapor, e portanto não são particularmente descritos neste capítulo.

Uma série de tecnologias, incluindo coletores não vidrados planos, de tubo de vácuo e concentradores, estão disponíveis no mercado para fornecer as temperaturas e eficiências apropriadas exigidas pelas diferentes aplicações.

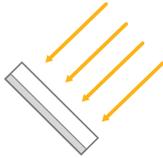


**FIGURA 12:** Ilustração simplificada do ciclo térmico de processo

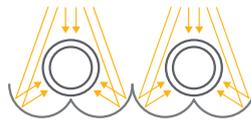
Fonte: Solar Payback 2017, IRENA 2014

Exposto ao sol, o coletor aquece um fluido de transferência de calor (ar quente, água, água com glicol para proteção anticongelante ou óleo térmico). Os coletores são conectados ao processo de produção ou a um reservatório de armazenamento, diretamente ou através de um trocador de calor. Bombas elétricas movem o fluido de transferência de calor dentro do ciclo térmico.

### Estacionário

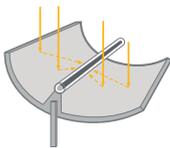


- Coletor plano
- Coletor de placas planas evacuadas
- Coletor tubo de vácuo

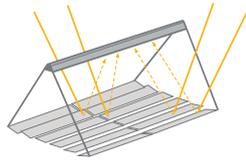


Coletor com tubo de vácuo com concentrador parabólico composto (CPC)

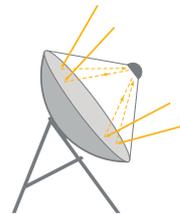
### Com Rastreamento



Coletor de calha parabólica



Coletor Linear de Fresnel



Coletor em disco parabólico

**FIGURA 13:** Tecnologias termossolares

Fonte: Solar Payback 2017

Além disso, é preciso diferenciar entre tecnologias estacionárias, onde os coletores são orientados para o sol sobre suportes fixos, e tecnologias com rastreamento, que acompanham o movimento do sol (ver figura 13). As tecnologias termossolares concentradoras funcionam com base no princípio de refletir e concentrar radiação solar direta em seu foco (um ponto ou uma linha), assim utilizando a radiação solar concentrada como fonte de energia térmica de alta temperatura para produzir calor. Os elementos espelhados que refletem e concentram a radiação solar variam de geometria e tamanho. Para facilitar a concentração de irradiação normal direta (DNI), os espelhos precisam de um sistema de rastreamento contínuo que acompanha a trajetória do sol em eixos simples ou duplos.

Coletores de Fresnel e de calha parabólica são sistemas de rastreamento de 1 eixo. Coletores de disco concentrador são principalmente soluções de rastreamento de 2 eixos. Portanto, fazem sentido em áreas com muita irradiação solar direta.

Eles podem gerar calor com temperaturas de até 400 °C e ainda mais altas para produção de eletricidade, e podem ser operados por água pressurizada ou óleo térmico.

## Coletor de ar

Os coletores de ar utilizam o ar para transportar calor. Diversos tipos de coletores de ar usam tubos vidrados, não vidrados ou de vácuo para coletar calor. Eles funcionam apenas por convecção ou usam ventiladores para transportar o ar através de um sistema de tubos bem isolados. Em processos industriais, os coletores de ar são bastante adequados para processos de secagem, fornecendo ar quente até 100°C.



Foto: Grammer

## Coletor plano

Os coletores planos utilizam água para transportar calor para o trocador de calor, o reservatório de armazenamento ou o processo de produção. Eles consistem de uma caixa isolada contendo um absorvedor metálico composto por uma folha absorvente e um sistema de tubulação inferior para transportar o calor. A caixa é coberta por uma chapa de vidro simples ou dupla, alternativamente com revestimento antirreflexo para reduzir as perdas de transmissão. Eles atingem temperaturas de operação entre 30 e 90 °C, e são produzidos em muitos países. Para aplicações de calor solar para processos, geralmente são utilizados coletores de grande escala. Os coletores planos de vácuo podem gerar temperaturas ainda mais altas, devido à redução das perdas de convecção.



Foto: Bärbel Epp

## Coletor de tubo de vácuo

Os coletores de tubo de vácuo (CTV) utilizam o vácuo como isolamento para isolar o absorvedor do ambiente. Os coletores de tubo de vácuo de vidro duplo consistem de dois tubos que são evacuados entre si; os coletores de tubo de vácuo de vidro simples consistem de um único tubo de vácuo. Nos tipos de fluxo direto, o fluido de transferência de calor flui pelo tubo. Nos chamados coletores de tubo de calor ou tubo em U, um circuito separado dentro do tubo transporta o calor coletado até o topo do tubo. Dentro do duto principal (header), a energia é transferida para o circuito de aquecimento.

Para aumentar a eficiência, alguns tipos de CTV são equipados com uma folha refletora de metal atrás dos tubos, os chamados concentradores parabólicos compostos (CPC). Os CTV podem ser utilizados para temperaturas entre 50 e 150 °C.



Foto: Linuo Paradigma

## Coletores de calha parabólica

Nos coletores de calha parabólica, espelhos curvos refletem a luz solar para os tubos receptores. Os espelhos ou calhas geralmente são alinhados em um eixo norte-sul, e descrevem uma rotação de leste a oeste para acompanhar o sol em sua trajetória diária. Podem ser produzidas temperaturas de até 400 °C, e é possível a geração direta de vapor. O nível de temperatura depende do tamanho da calha parabólica e da evacuação do tubo receptor.



Foto: Inventive Power

## Coletores lineares de Fresnel

Os coletores lineares de Fresnel concentram o sol com vários espelhos planos que rastream a luz solar sobre um único eixo para um tubo receptor central. Há coletores de Fresnel que possuem um espelho secundário colocado acima do tubo receptor para refletir a luz de volta para o absorvedor. Podem ser produzidas temperaturas de até 400 °C, e é possível a geração direta de vapor.



Foto: Industrial Solar / Silke Anders

## Disco parabólico

Os discos parabólicos concentram a irradiação solar em um único ponto, e produzem altas temperaturas de até 400 °C, dependendo do tamanho do campo de espelhos e da evacuação do tubo receptor. Um exemplo são os discos de Scheffler usados em grandes cozinhas coletivas na Índia. O rastreamento através de dois eixos exige um alto nível de precisão.



Foto: ARS Glasstech

## TABELA 12: Panorama dos tipos de coletores para geração de calor solar para processos

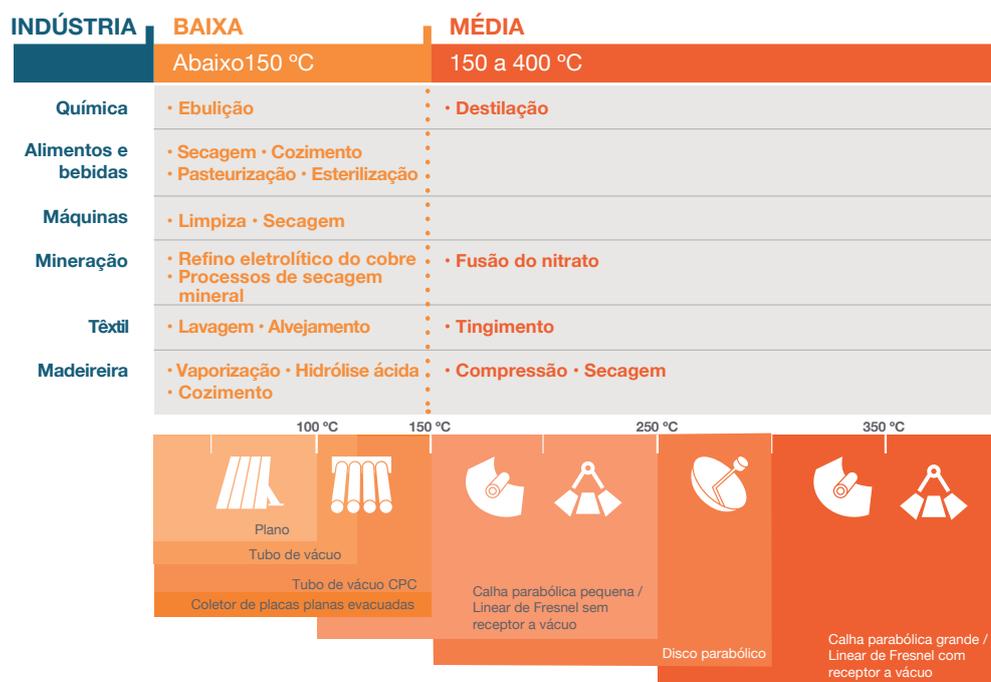
Fonte: pesquisa própria

## Faixas de temperatura

As temperaturas de processos industriais tipicamente variam de acordo com o processo de produção. Elas são classificadas em três faixas (ver figura 14): primeiro abaixo de 150 °C (chamada baixa temperatura), uma segunda faixa de 150 °C a 400 °C (média temperatura) e acima de 400 °C (alta temperatura). Muitos processos industriais nas indústrias química, de alimentos e bebidas, máquinas, mineração, têxtil e madeireira têm temperaturas que podem ser facilmente geradas com tecnologias termossolares, na forma de água quente ou vapor. Já que os custos fixos dominam a estrutura geral de custos da energia termossolar, os processos que têm um pico de carga no verão e aqueles que podem ser aplicados durante o ano inteiro são especialmente interessantes para o uso de aplicações termossolares. O aspecto econômico é mais favorável quanto mais altos são os custos das fontes de energia concorrentes.

O tipo de coletor termossolar a ser utilizado depende muito do nível de temperatura exigido (ver figura 14). Em algumas aplicações, por exemplo, para processos de lavagem ou secagem, é necessária apenas uma baixa temperatura de cerca de 50 °C. Para esta temperatura, são usados principalmente coletores planos ou coletores de ar. Muitos processos industriais necessitam de temperaturas de até 95 °C. Tanto coletores de tubo de vácuo como coletores planos aprimorados são capazes de fornecer este nível de temperatura com uma boa eficiência. Temperaturas mais altas podem ser atingidas utilizando vácuo para isolamento. Tanto os coletores planos de vácuo quanto os de tubo de vácuo são tipos utilizados em aplicações industriais até 150 °C.

Acima de aproximadamente 140 °C, a radiação solar precisa ser concentrada. Os dispositivos de concentração mais altos das calhas parabólicas, coletores lineares de Fresnel ou sistemas de discos proporcionam temperaturas de operação de até 400 °C. Para a maioria das aplicações, pode ser usado mais de um tipo de coletor. Os critérios de avaliação determinantes são o espaço disponível, o aspecto econômico, a localização e outros.



**FIGURA 14:** Faixas de temperatura, aplicações e tecnologias de coletores

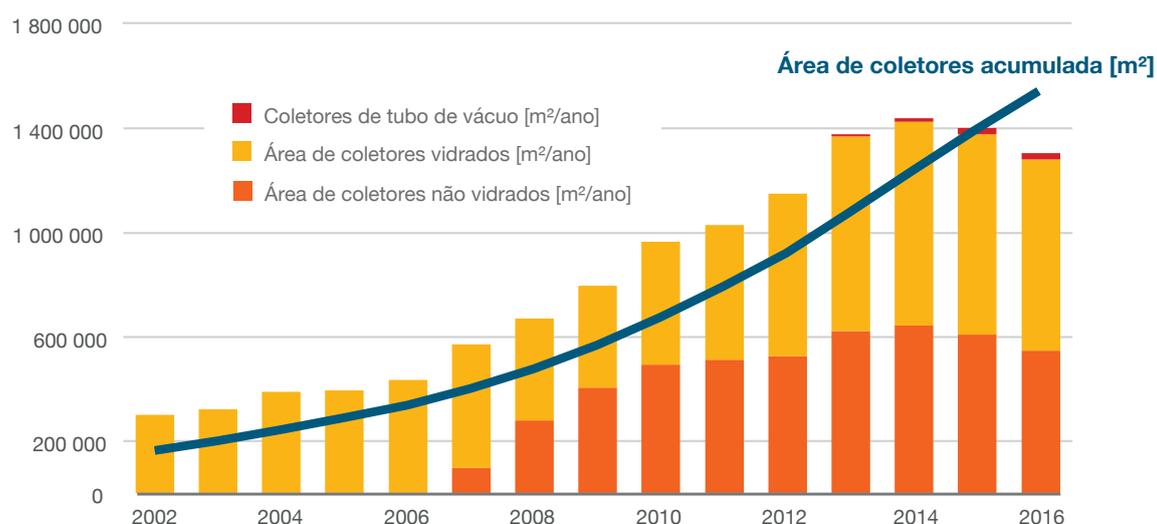
Fonte: Solar Payback 2017, IEA/SHC 2012-2016

## 2.2 A indústria termossolar no Brasil

A indústria termossolar brasileira concentra-se na fabricação de coletores planos para aplicação em baixas temperaturas (residencial) e coletores não vidrados para aplicação em piscinas (ver figura 15). Também há importações de coletores de tubo de vácuo, para instalação e distribuição interna, mas em quantidade muito pequena. As tecnologias de coletores concentradores ainda não são utilizadas para produção de calor comercial na indústria.

O website de membros da associação industrial ABRASOL lista 39 fabricantes de coletores e fornecedores de sistemas termossolares diferentes (link: <https://www.abrasol.org.br/associados/>) incluindo todas as marcas relevantes. A ABRASOL assume que há cerca de 150 fornecedores de tecnologias termossolares em todo o país.

O Brasil é o terceiro maior mercado mundial de energia termossolar em termos de área de coletores recém-instalados, ficando atrás da China e da Turquia (IEA 2017). A área de coletores recém-instalados, vidrados e não vidrados, foi de 1.304.922 m<sup>2</sup> em 2016 (0,91 GWth) com uma pequena queda de 6,9 % em comparação com o ano anterior. Havia cerca de 42.000 empregos em período integral no setor termossolar no Brasil em 2016, de acordo com as avaliações da ABRASOL. Em 2017, a área total de coletores solares térmicos em operação no país totalizou 14,8 milhões de m<sup>2</sup>.



**FIGURA 15:** Evolução do mercado termossolar

Fonte: ABRASOL 2017

Após um longo período de crescimento contínuo, a indústria brasileira estava enfrentando dificuldades em 2015 e 2016, resultando em uma redução dos volumes de vendas (ver tabela 13). O mercado dominante de coletores planos no Brasil sofreu uma queda comparativamente pequena de 4 % em 2016, considerando a atual crise econômica e política do país e a desaceleração do programa de habitação social Minha Casa Minha Vida, que fizera dos aquecedores solares de água um requisito para novos projetos de habitação social para famílias de baixa renda. A diminuição do poder aquisitivo levou a uma queda de 10 % nas vendas de coletores não vidrados para piscinas, e os coletores de tubo de vácuo tiveram apenas uma pequena participação em 2016, chegando a 2 % das vendas (Solarthermalworld.org 2017).

Fatores adicionais que são desafios para um maior crescimento do mercado, principalmente para aplicações termossolares comerciais, são listados abaixo:

- a eficiência energética não é uma prioridade em um ambiente político e econômico instável
- falta de conscientização sobre incentivos para medidas de eficiência energética
- os programas e políticas de incentivo existentes são limitados principalmente à economia de energia elétrica.

**TABELA 13: Volume de mercado anual por tipo de coletor entre 2013 e 2016**

	<b>Não vidrado m<sup>2</sup></b>	<b>Variação</b>	<b>Plano m<sup>2</sup></b>	<b>Variação</b>	<b>Tubo de vácuo m<sup>2</sup></b>	<b>Variação</b>	<b>Total m<sup>2</sup></b>	<b>Variação</b>
<b>2013</b>	621.616	18,3 %	747.282	19,4 %	9.909	-	1.378.807	19,8 %
<b>2014</b>	643.888	3,6 %	781.118	4,5 %	15.864	60,1 %	1.440.870	4,5 %
<b>2015</b>	610.066	-5,3 %	767.311	-1,8 %	25.055	57,9 %	1.402.432	-2,7 %
<b>2016</b>	548.205	-10,1 %	734.240	-4,3 %	22.477	-10,3 %	1.304.922	-6,9 %

Fonte: ABRASOL 2017

O Brasil foi um dos primeiros países do mundo a introduzir um selo para coletores térmicos solares. Já em 1998, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) implementou um selo voluntário. Todos os produtos fabricados e importados para comercialização no Brasil devem ter um selo de eficiência do INMETRO de acordo com a legislação atual. Para coletores e reservatórios, os requisitos técnicos baseiam-se na norma ABNT NBR 15747, que é harmonizada com a norma europeia para coletores EN 12975-2, adaptada para as condições climáticas do Brasil (Solarthermalworld.org 2015).

Atualmente, com a exigência obrigatória do selo do Inmetro, o setor espera uma certa reestruturação da indústria com mais relações de compras de *Original Equipment Manufacturer* (OEM - Port.: Fabricante Original do Equipamento), já que nem todos os pequenos fabricantes têm condições de testar todos os seus módulos coletores (Solarthermalworld.org 2015).

### Conclusões:

- As aplicações SHIP são viáveis para um grande número de processos de baixa e média temperatura até 400 °C na indústria.
- Uma série de tecnologias, incluindo coletores não vidrados, planos, de tubo de vácuo e concentradores, estão disponíveis no mercado para fornecer as temperaturas e eficiências apropriadas exigidas pelas diferentes aplicações.
- As aplicações SHIP podem produzir calor o ano inteiro e incluir sistemas de armazenamento, caso seja necessário operar depois do pôr do sol.
- O Brasil tem uma indústria nacional de coletores bem estabelecida, com foco principal em coletores planos para uso residencial.
- Existe no Brasil um selo de qualidade para coletores e reservatórios, que se tornou obrigatório desde o ano passado.

CAPÍTULO 3  
**PANORAMA DA INDÚSTRIA  
NO BRASIL**



### 3.1 Demanda de calor industrial em diferentes níveis de temperatura

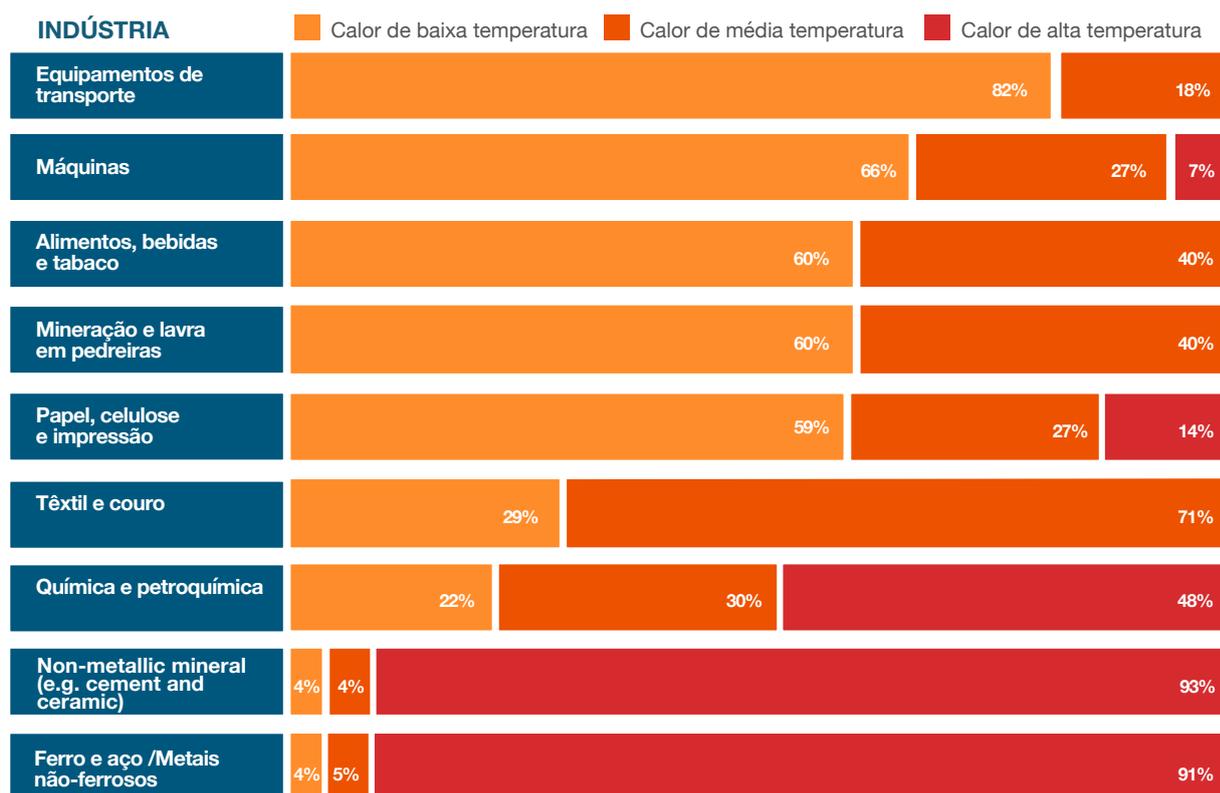
Como apresentado no item 2.2, a demanda de energia final no setor industrial é dominada pela demanda por calor (80 % = 67,4 Mtep) e quase dobrou desde 1990. Já o item 3.1 resume que as tecnologias termossolares podem fornecer temperaturas de até 400 °C de maneira eficaz para processos industriais. O próximo passo será identificar a parcela de demanda de calor industrial em temperaturas de até 400 °C no Brasil. Para fazer este cálculo, será utilizado o consumo detalhado de energia para os diferentes setores industriais demonstrado no capítulo 3 do Balanço Energético Nacional 2017 (EPE 2017a) e apresentado na tabela 14, abaixo.

**TABELA 14: Demanda de calor final dos setores industriais ordenados por parcela dentro do total. Se o total não dá a soma correta, isto se deve ao arredondamento de valores.**

	<b>Demanda de calor final 2016 [Mtep]</b>	<b>Parcela do setor na demanda de calor total na indústria</b>
Alimentos e bebidas	21,2	31 %
Ferro-gusa e aço / Ligas de ferro	14,2	21 %
Papel e celulose	10,4	15 %
Química	4,8	7 %
Cerâmica	4,0	6 %
Outras indústrias	3,7	6 %
Cimento	3,7	5 %
Não-ferrosos e outros produtos metalúrgicos	3,3	5 %
Mineração e peletização	1,7	3 %
Têxtil e couro	0,3	0,5 %
Total	67,3	

Fonte: EPE 2017a

Em um artigo de 2014, intitulado "Avaliação dos potenciais técnicos e econômicos do uso de biomassa para a produção de vapor, produtos químicos e polímeros", o autor principal Deger Saygin, então analista da *International Renewable Energy Agency* (IRENA), publicou um gráfico que mostrava a demanda de calor em diferentes níveis de temperatura em relação a setores industriais específicos no ano de 2008. Esta abordagem baseou-se nas experiências de um relatório da indústria alemã do ano de 2005, e foi aplicada ao banco de dados da IEA (IEA 2014). A figura 16 mostra a participação de diferentes níveis de temperatura dentro da demanda de calor de vários segmentos industriais.



**FIGURA 16:** Participação de diferentes níveis de temperatura na demanda de calor de diversos setores industriais. Os setores com maior representatividade de calor de baixa temperatura são apresentados no topo, pois são os mais relevantes para SHIP no Brasil. Onde os totais não somam 100 %, isto se deve ao arredondamento de valores.

Fonte: Saygin 2014

A figura 16 mostra que, em 4 setores (Equipamento de transporte, Alimentos e bebidas, Mineração e Têxtil e couro), toda a demanda de calor está abaixo de 400 °C. Além disso, em Transporte, Máquinas e Papel e celulose, a maior parte da demanda de calor está mesmo abaixo de 150 °C. Apenas dois setores (minerais não-metálicos, bem como ferro e aço e metais não-ferrosos) não têm nenhuma relevância para SHIP, pois sua demanda de calor está quase totalmente acima de 400 °C.

Na tabela 15, dados globais da composição típica da demanda de calor industrial por nível de temperatura são aplicados aos dados do consumo total dos setores da indústria brasileira, de acordo com EPE 2017a. As respectivas demandas de calor em função do nível de temperatura são calculadas separadamente por segmento, e em seguida agregadas para obter as parcelas totais da indústria nacional para os três diferentes níveis de temperatura. A produção de cimento e cerâmica pertence aos minerais não-metálicos, e, portanto, é caracterizada pela demanda de calor acima de 400 °C.

**TABELA 15: Avaliação da parcela de demanda de calor de baixa (BT), média (MT) e alta (AT) temperatura em diferentes setores industriais no Brasil**

	<b>Calor final 2016 [Mtep]</b>	<b>Parcela de demanda de calor BT</b>	<b>Parcela de demanda de calor MT</b>	<b>Parcela de demanda de calor AT</b>	<b>Demanda de calor BT [Mtep]</b>	<b>Demanda de calor MT [Mtep]</b>	<b>Demanda de calor AT [Mtep]</b>
Alimentos e bebidas	21,2	60 %	40 %	0 %	12,73	8,49	0
Papel e celulose	10,4	59 %	27 %	14 %	6,14	2,86	1,43
Química	4,8	23 %	30 %	48 %	1,11	1,43	2,31
Mineração e peletização	1,7	60 %	40 %	0 %	1,02	0,68	0
Têxtil e couro	0,3	29 %	71 %	0 %	0,09	0,22	0
Não-ferrosos e outros produtos metalúrgicos (incluindo processamento de metais)	3,3	4 %	5 %	91 %	0,13	0,16	3,03
Ferro-gusa e aço / Ligas de ferro	14,2	4 %	5 %	91 %	0,54	0,68	12,97
Cerâmica (minerais não-metálicos)	4,0	4 %	4 %	93 %	0,14	0,14	3,67
Cimento (minerais não-metálicos)	3,7	4 %	4 %	93 %	0,13	0,13	3,44
Outras indústrias (incluindo automotiva)	3,7	50 %	33 %	17 %	1,87	1,22	0,65
<b>Total</b>	<b>67,4</b>				<b>23,89</b>	<b>16,01</b>	<b>27,5</b>
Parcelas de demanda de calor em diferentes níveis de temperatura					35 %	24 %	41 %

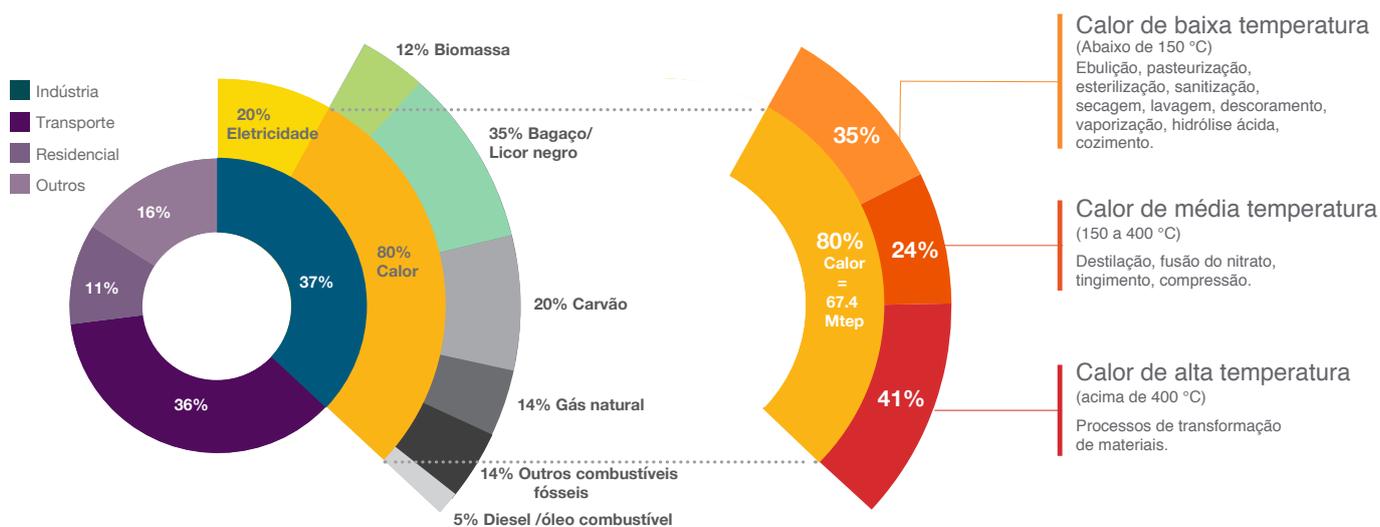
Fonte: Cálculos próprios com base em Saygin 2014 e EPE 2017a

Os resultados gerais mostram que 35 % (23,89 Mtep) são usados para baixas de temperaturas (< 150 °C), 24 % (16,01 Mtep) são usados para níveis médios de temperatura e 41 % (27,5 Mtep) são usados em processos de altas temperaturas (>400 °C). Em comparação com os índices globais, a demanda de calor acima de 400 °C é significativamente mais baixa no Brasil (ver tabela 16). A figura 17 compila os resultados para o setor industrial do Brasil em âmbito nacional.

**TABELA 16: Parcela de demanda de calor industrial no Brasil e globalmente**

	<b>Demanda de calor industrial</b>		
	<b>Parcela de baixa temperatura</b>	<b>Parcela de média temperatura</b>	<b>Parcela de alta temperatura</b>
Global (Fonte: IEA em relação a 2014)	30 %	22 %	48 %
Brasil (Fonte: EPE em relação a 2016)	35 %	24 %	41 %

Fonte: Tabela 15 e Saygin 2014



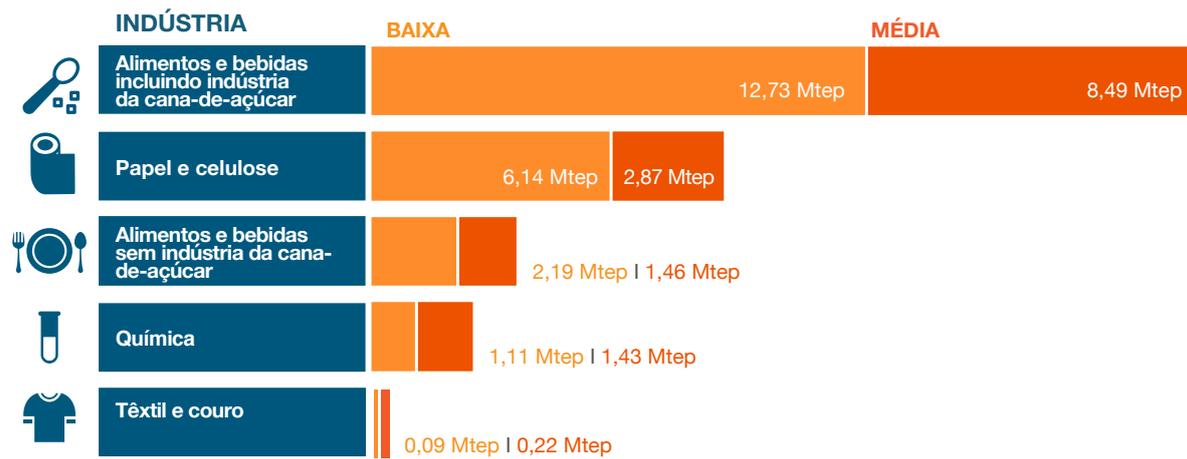
**FIGURA 17:** Demanda de calor na indústria brasileira – 59 % abaixo de 400 °C

Fontes: Saygin 2014 e EPE 2017a

### 3.2 Fontes de energia em setores industriais relevantes para SHIP

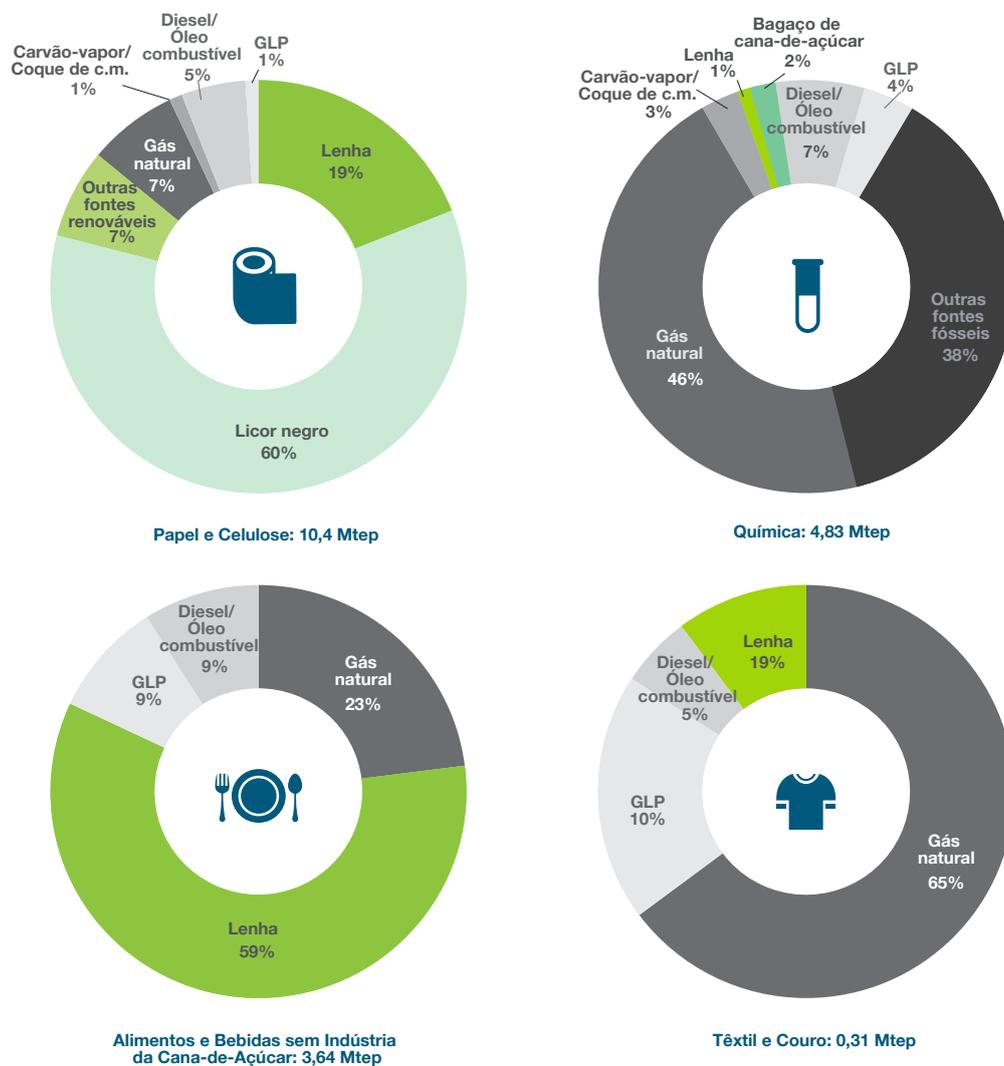
A tabela 15 identifica quatro setores industriais que são os mais apropriados para SHIP, e estes setores são ilustrados na figura 18 de acordo com a sua demanda de calor em temperaturas abaixo de 400 °C: alimentos e bebidas, papel e celulose, indústrias químicas, além de têxtil e couro. O setor de mineração não se adequa ao uso de SHIP no Brasil, pois o processo de transformação industrial do minério de ferro é feito a temperaturas acima de 700 °C.

A indústria de alimentos e bebidas é dominada pelo processamento de cana-de-açúcar para produção de açúcar e etanol. De acordo com Rogério A. S. Matos, Analista de Pesquisa Energética na EPE: “Quase todo bagaço é consumido na produção de açúcar. Retirando esta fonte do setor de alimentos e bebidas obtém-se uma boa aproximação sobre o comportamento deste setor sem a indústria do açúcar.” Já que o bagaço é uma fonte residual barata de energia térmica, a indústria de açúcar não é de fato relevante para SHIP. É por isso que, na figura 19, é ilustrado apenas o segmento restante de alimentos e bebidas com 3,64 Mtep, excluindo a indústria de açúcar.



**FIGURA 18:** Setores industriais relevantes para SHIP e sua demanda de calor

Fontes: Saygin 2014 e EPE 2017a



**FIGURA 19:** Fontes de energia para suprir a demanda de calor em setores industriais relevantes para SHIP

Fonte: EPE 2017a

A figura 19 mostra um cenário bastante diverso para os diferentes segmentos da indústria. A indústria de alimentos e bebidas, excluindo a de cana-de-açúcar, utiliza grandes quantidades de lenha (59 %) e uma parcela relativamente alta de GLP de 9 %, superada apenas pela indústria têxtil com 10 % de GLP. Isto é digno de atenção, pois o GLP é geralmente uma fonte de energia mais cara do que o gás natural encanado, de modo que a tecnologia SHIP tem uma melhor viabilidade econômica em fábricas que utilizam GLP.

A indústria de papel e celulose utiliza licor negro para 60 % de suas necessidades de energia (ver figura 19). Além disso, a indústria de papel e celulose é a que apresenta o crescimento mais dinâmico no Brasil. A demanda de calor total quase triplicou nos últimos 20 anos (ver tabela 17). Ambos os fatos mostram que a indústria de papel e celulose é uma indústria relativamente jovem, com uma alta parcela de fábricas integradas que produzem papel e polpa de celulose juntos. Isto permite que elas operem a produção de papel simplesmente através da combustão de licor negro em caldeiras. O licor negro é um produto residual do processo de digerir madeira para celulose obtendo polpa de papel para soltar as fibras de celulose. Conseqüentemente, apenas fábricas de papel mais antigas, ainda não integradas, poderiam ser apropriadas para aplicações SHIP, já que requerem combustíveis externos.

**TABELA 17: Tendência na demanda de calor total dos setores industriais relevantes para SHIP**

	<b>Demanda de calor total em 1996 [Mtep]</b>	<b>Demanda de calor total em 2016 [Mtep]</b>	<b>Crescimento 1996-2016</b>
Papel e celulose	4,24	10,43	146 %
Química	3,89	4,84	24 %
Alimentos e bebidas sem bagaço	3,27	3,69	13 %
Têxtil	0,6	0,3	-50 %

Fonte: EPE 2017a

A indústria química é absolutamente dependente de combustíveis fósseis, utilizando apenas 1 % de lenha e 2 % de bagaço de cana-de-açúcar. O gás natural é a fonte de energia mais usada (46 %), seguido de outros combustíveis fósseis (38 %). A indústria química no Brasil procura apresentar-se como uma indústria moderna e “verde”, e portanto poderia estar aberta à utilização da SHIP.

A eletricidade é dominante na indústria têxtil, atendendo a 64 % da demanda energética deste setor, de acordo com EPE 2017a. Máquinas movidas a eletricidade são usadas para fiar, tecer, tricotar e costurar. São apenas os processos de preparação de tecido e couro, como o tingimento (tecido) e o curtimento (couro), que exigem grandes quantidades de calor. Estes processos “sujos” são cada vez mais realocados para os chamados países em desenvolvimento na Ásia, onde há mão de obra barata e baixos padrões ambientais vigentes. Esta tendência de realocação fica evidente também ao se considerar a forte redução na demanda de calor na indústria têxtil, que caiu pela metade, de 0,6 para 0,3 Mtep nos últimos 20 anos (ver tabela 17).

## Conclusões:

- 59 % da demanda de calor industrial (67,4 Mtep) está abaixo de 400 °C e pode ser atendida de forma eficiente por tecnologias termossolares.
- Quatro setores industriais são os mais apropriados para aplicações SHIP: alimentos e bebidas sem o processamento de cana-de-açúcar, papel e celulose, química, e têxtil e couro.
- Papel e celulose é o segmento industrial com o maior crescimento dinâmico entre os setores relevantes para SHIP (triplicação da demanda de calor entre 1996 e 2016), enquanto a indústria têxtil que utiliza calor está encolhendo (metade da demanda de calor entre 1996 e 2016).

### 3.3 Dados Econômicos para setores industriais relevantes para SHIP

O objetivo deste item é identificar os principais estados brasileiros para as quatro indústrias relevantes para SHIP – papel e celulose, alimentos e bebidas, química, e têxtil – que foram identificadas no capítulo anterior.

Há dois indicadores para identificar os principais estados para os setores relevantes para SHIP: O volume de negócios dos quatro setores industriais em cada estado, referente às estatísticas no portal online <http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/>, criado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), e o número de empresas nas quatro indústrias relevantes para SHIP, de acordo com as estatísticas online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no endereço <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6449>.

**TABELA 18: Os dez principais estados para os setores relevantes para SHIP de acordo com o volume de negócios e o número de empresas**

	<b>Volume de negócios total por estado (bilhões de reais)</b>	<b>Número de empresas por estado</b>
São Paulo	86,7	22.777
Rio Grande do Sul	23,3	13.406
Minas Gerais	22,9	13.883
Paraná	22,8	7.970
Santa Catarina	17,2	7.743
Rio de Janeiro	12,6	4.038
Goiás	11,6	3.893
Bahia	11,1	4.163
Pernambuco	7,9	3.496
Ceará	6,5	3.609

Fontes: CNI 2015 / IBGE 2015

A tabela 18 lista os 10 maiores estados em termos do volume de negócios total nos quatro setores relevantes para SHIP, e acrescenta o número de empresas nesses quatro setores industriais. Obviamente, há uma grande correspondência entre os dois indicadores para os maiores estados. Quanto maior o volume de negócios em um estado, maior é o número de empresas relevantes para SHIP sediadas nesse estado.

Figura 20 destaca os principais estados para setores industriais relevantes para SHIP e fornece o número de empresas computadas pelo IBGE para papel e celulose, alimentos e bebidas, química, e têxtil. O mapa também mostra que os principais estados industriais, São Paulo e Rio Grande do Sul, ficam na região mais ao sul do Brasil, menos ensolarada, enquanto outros estados com indústrias significativas para SHIP, como Minas Gerais, Goiás e Bahia, ficam na área com a melhor irradiação.



**Média da Irradiação Global Horizontal (GHI) de longo período 1999-2015**

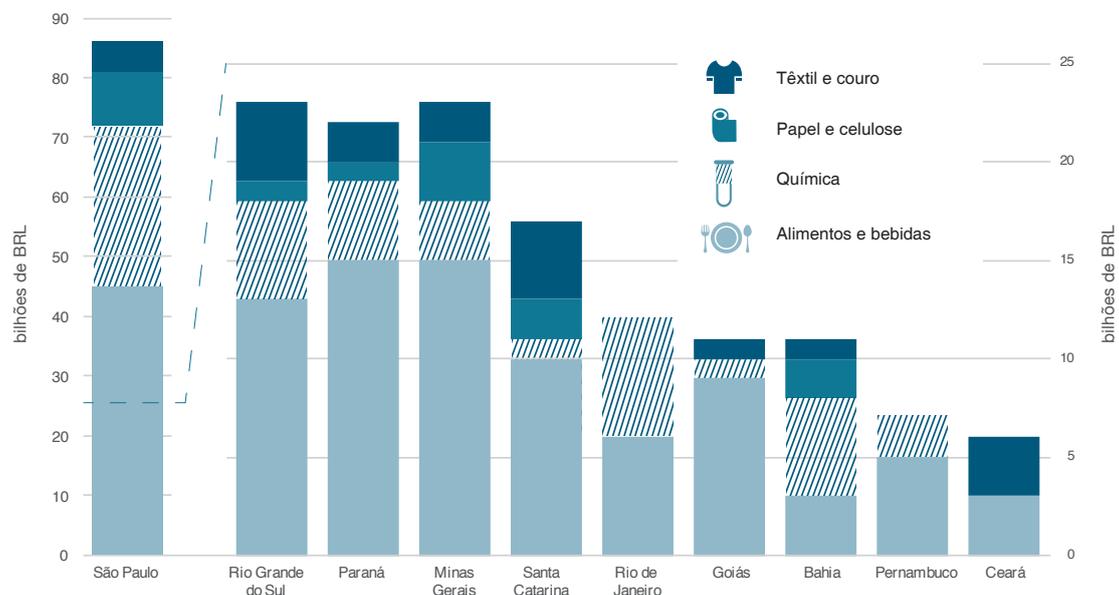


**FIGURA 20:** Os 10 principais estados em termos de volume de negócios nos quatro setores relevantes para SHIP – papel e celulose, alimentos e bebidas, química, e têxtil. A figura mostra o número de empresas nos quatro setores relevantes para SHIP.

Fonte: 2017 Banco Mundial, Dados de Recursos Solares: Solargis / CNI 2016

A figura 21 oferece uma visão mais detalhada dos setores relevantes para SHIP, e sua importância nos principais estados industrializados do Brasil. Alimentos e bebidas é um setor dominante em todos os estados, mas fora isso, os estados revelam um portfólio industrial bastante diferente. Papel e celulose, por exemplo, atinge um volume de negócios relevante apenas em quatro estados: São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Bahia. Os

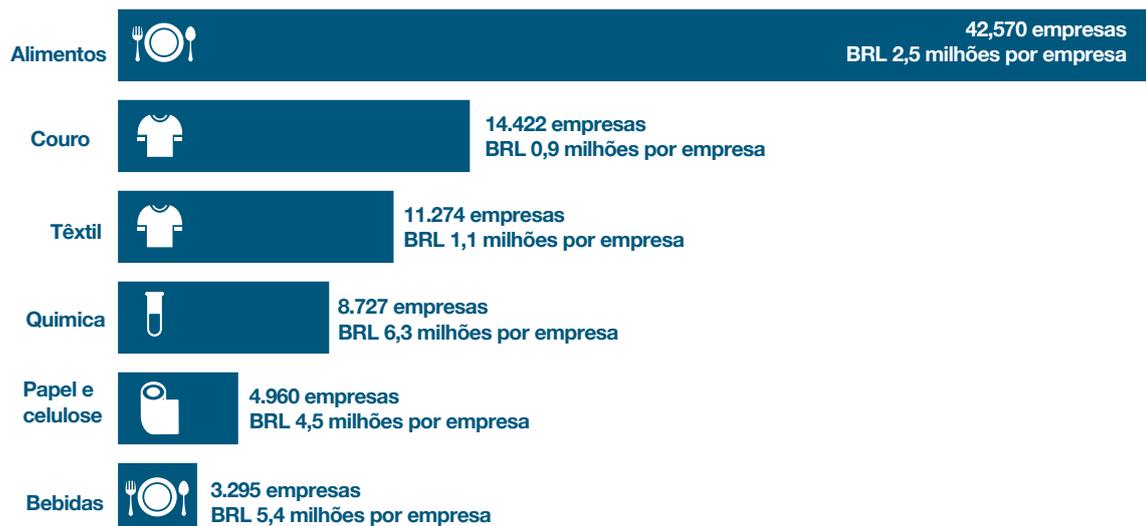
maiores estados para a indústria química são São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Bahia e Minas Gerais. O setor têxtil está amplamente representado em Santa Catarina e no Ceará.



**FIGURA 21:** Volume de negócios em 2015 (bilhões de BRL) dos setores relevantes para SHIP nos 10 principais estados industriais assinalados na figura 20

Fonte: CNI 2015

De um modo geral, o calor para processos abaixo de 400 °C é necessário em um grande número de empresas, somando, no mínimo, 84.978 empresas no Brasil. A figura 22 mostra o número total de empresas nos setores industriais relevantes para SHIP nos principais estados assinalados na figura 20. O tamanho da empresa depende muito do setor. Os fabricantes da indústria química apresentam o mais alto volume de negócios médio, de 6,3 milhões de BRL, enquanto os setores têxtil e couro possuem as menores empresas, com 1,1 milhões e 0,9 milhões de BRL, respectivamente.



**FIGURA 22:** Número de empresas em cada setor relevante para SHIP e volume de negócios médio por empresa em milhões de BRL nos 10 estados principais assinalados na figura 20

Fonte: IBGE 2015 / CNI 2015

**TABELA 19: Distribuição de indústrias por setor nos 10 Estados mais fortes**

<b>Número de empresas 2015</b>	<b>Alimentos e bebidas</b>	<b>Têxtil (incluindo couro)</b>	<b>Química</b>	<b>Papel e celulose</b>	<b>Total de empresas SHIP no estado</b>
São Paulo	9.258	8.081	3.534	1.904	<b>22.777</b>
Minas Gerais	8.877	3.659	943	404	<b>13.883</b>
Rio Grande do Sul	6.080	5.873	895	558	<b>13.406</b>
Paraná	4.937	1.553	926	554	<b>7.970</b>
Santa Catarina	4.043	2.669	589	442	<b>7.743</b>
Bahia	2.805	770	431	157	<b>4.163</b>
Rio de Janeiro	2.499	741	497	301	<b>4.038</b>
Goiás	2.532	866	368	127	<b>3.893</b>
Ceará	2.254	924	295	136	<b>3.609</b>
Pernambuco	2.580	560	249	107	<b>3.496</b>
<b>Total</b>	<b>47.064</b>	<b>25.876</b>	<b>8.847</b>	<b>4.728</b>	<b>86.515</b>

Fonte: IBGE 2015

### Conclusões:

- Os dez principais estados para setores relevantes para SHIP são: São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Goiás, Bahia, Pernambuco, Ceará.
- Um enorme potencial de 84.978 empresas estão sediadas nestes dez estados nos quatro setores relevantes para SHIP: papel e celulose, alimentos e bebidas, química, e têxtil
- O tamanho da empresa depende muito do setor, com os fabricantes da indústria química atingindo o mais alto volume de negócios médio, de 6,3 milhões de BRL, seguidos dos fabricantes de bebidas com 5,4 milhões de BRL e das fábricas de papel e celulose com 4,5 milhões de BRL. Os setores têxtil e couro possuem as menores empresas, com 1,1 milhões e 0,9 milhões de BRL, respectivamente.

### 3.4 Expectativas dos investidores industriais

De acordo com uma pesquisa realizada pelo Procel entre as indústrias em 2009, os seguintes fatores foram destacados e continuam a ser considerados como as barreiras mais influentes na implementação de medidas de eficiência energética:

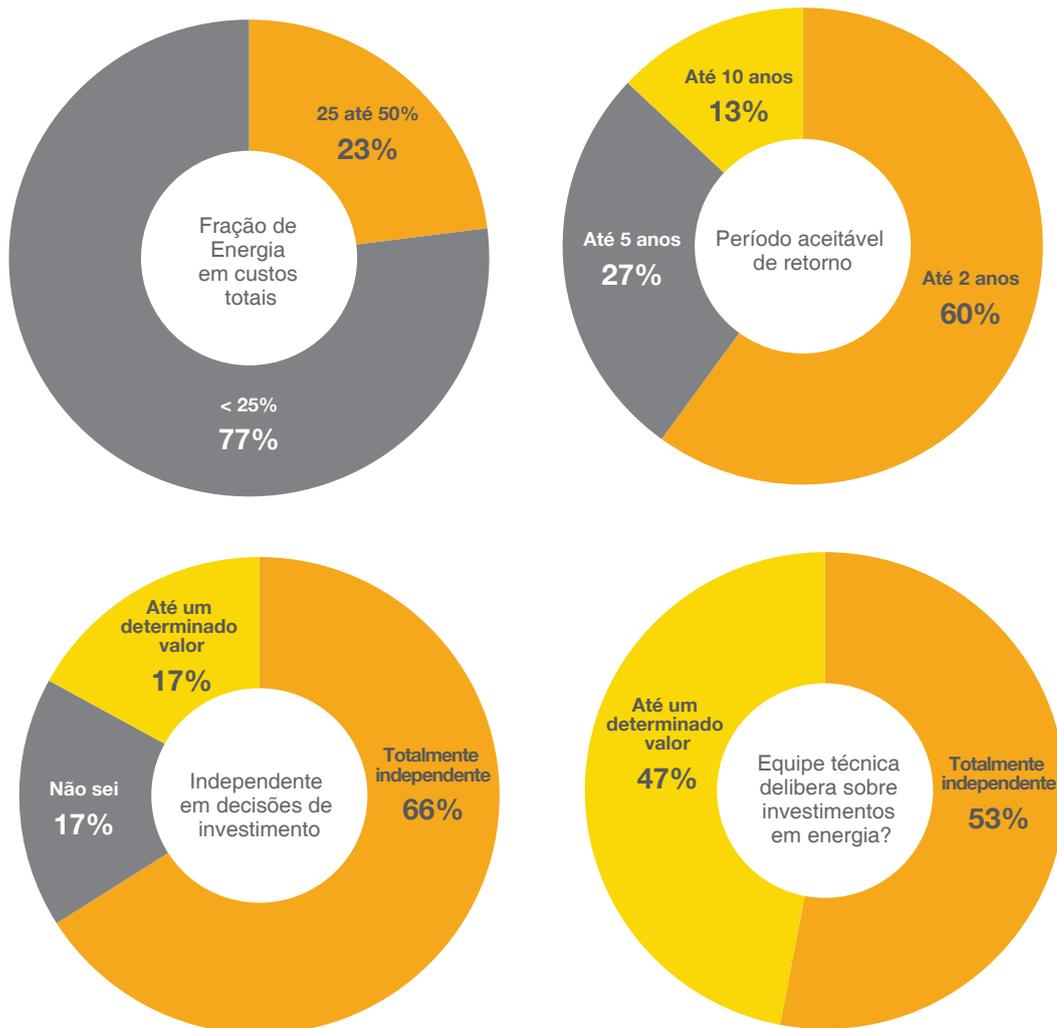
- Legislação desfavorável para investimentos em eficiência energética na indústria
- Ausência ou não adequação de linhas de financiamento para ações de eficiência energética, especialmente para PMEs
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento
- Falta de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e gerenciar projetos viáveis;
- Aversão aos riscos técnicos decorrentes de tecnologias modernas que consomem menos energia.

Dentro do projeto, uma pesquisa entre 30 empresas foi feita entre março e novembro de 2017. As informações foram adicionadas à pesquisa da literatura secundária. A implementação de projetos de Eficiência Energética no setor produtivo, independentemente do grau de desenvolvimento do país, é mais difícil do que sua rentabilidade pode sugerir. A declaração é especialmente válida quando se trata de micros, pequenas e médias empresas (PME). Como o grau de desperdício de energia e recursos de produção é amplamente conhecido, tais medidas devem naturalmente chamar a atenção dos pequenos empresários. Mesmo assim, o comportamento real não coincide com as expectativas, indicando ser necessário primeiro aprender mais sobre os mecanismos de tomada de decisões de investimento nas empresas.

Uma série de motivos pode explicar, em grande medida, a resistência dos pequenos empresários à implementação de projetos de eficiência energética, alguns deles exemplificados abaixo:

- Expectativas para prazos curtos de amortização (dois ou no máximo três anos)
- Os investimentos são feitos quase exclusivamente em equipamentos de produção. O consumo de energia (combustível ou eletricidade) não é considerado parte integrante do processo de produção.
- Pouca disponibilidade de capital gerado pela empresa e, conseqüentemente, nenhum estímulo para investir com capital financiado com crédito externo, que gera custos fixos, para diminuir os custos variáveis das operações.
- As PMEs dificilmente investem recursos para melhorar sua infraestrutura física e seus sistemas de suporte. Os equipamentos são frequentemente usados além de suas vidas úteis e a modernização necessária é adiada.
- O tempo é dedicado apenas ao tópico “energia” quando há alguma alteração nas tarifas e preços cobrados pelas distribuidoras e fornecedores de energia. Na maioria das PME, os custos da energia constituem apenas uma pequena fração dos seus custos totais. Sem estímulos externos, eles normalmente não gastam muito tempo prestando atenção à questão energética (Lauria Vieira da Silva et al. 2004).

Além disso, em mais de 75 % das empresas entrevistadas, os custos de energia correspondem a menos de 25 % dos custos totais. No entanto, uma de cada quatro empresas relatou que o custo de energia corresponde por 25 a 50 % do custo total.



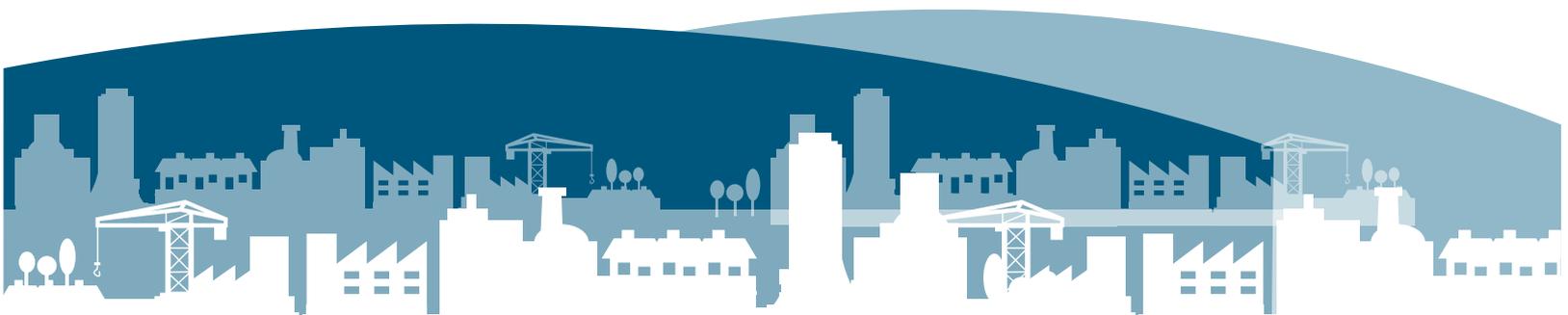
**FIGURA 23:** Resultados da pesquisa online na indústria

Fonte: Solar Payback questionário 2017

Os fatores mais importantes para a decisão sobre investimentos relacionados à energia dentro das empresas são, de longe, a confiabilidade técnica e o período de retorno. O valor presente líquido (VPL) de um investimento também é um critério, mas em menor quantidade, seguido pelo valor de marketing agregado como uma “empresa verde”. Com respeito ao período de retorno cerca de 60 % das empresas julgam até 2 anos como razoável, 27 % consideram até cinco anos aceitáveis. Apenas poucas empresas cogitam investimentos com retorno entre cinco e dez anos. A pesquisa não revelou uma correlação entre tamanho ou ramo de atividade da empresa e a expectativa do prazo de retorno (veja os gráficos na figura 23).

Aproximadamente 66 % das empresas entrevistadas responderam ter autonomia de tomar decisões sobre investimentos de forma geral. Outros 17 % assinalaram ter esta autonomia até um certo valor e os restantes 17 % não souberam informar. Em cerca de 53 % das empresas entrevistadas a equipe técnica tem total autonomia na tomada de decisões quando se trata de investimentos relacionados à energia e os restantes 47 % informaram ser independentes até determinado ponto (veja os gráficos na figura 23).

CAPÍTULO 4  
**DESENVOLVIMENTO E  
PLANEJAMENTO DE  
PLANTAS SHIP**



A implementação de uma planta SHIP é um processo que parte de uma análise preliminar, para estimar a viabilidade do projeto, e termina com o comissionamento do sistema. As etapas principais do desenvolvimento e planejamento de uma planta SHIP são listadas abaixo: (fonte na bibliografia IEA SHC Task 49 “Solar Heat Integration in Industrial Processes”).

**Análise preliminar** identificação do potencial para uma aplicação SHIP com base em informações elementares sobre o consumo de energia, o local e as necessidades de calor dos usuários finais. Esta análise já deve considerar a existência do potencial para SHIP (as necessidades de calor e os custos de energia indicam que o investimento poderia ser viável).

**Análise detalhada dos processos de fornecimento de calor e consumo de calor** além de informações sobre as condições do local, tais como o espaço disponível no chão ou no teto do estabelecimento, acesso à infraestrutura geral, por exemplo, água ou redes de eletricidade, proximidade do ponto de integração ou de atividades de operação e manutenção, etc.

**Simulação do rendimento do sistema e modelagem econômica** com base nos resultados da simulação, os fatores econômicos de um sistema solar podem ser calculados de acordo com os custos totais do investimento e os preços dos combustíveis convencionais.

**Estudo de viabilidade técnica e econômica** com identificação das opções para criação e integração do sistema solar, e define as condições técnicas e econômicas para que o investimento seja viável.

**Engenharia do sistema** e definição de requisitos técnicos a serem considerados nos estágios de seleção de fornecedores e comissionamento.

**Seleção de fornecedores e comissionamento** onde três aspectos devem ser garantidos:

- uma comparação objetiva entre as diferentes ofertas de fornecimento;
- a adequação do equipamento e dos serviços a serem fornecidos; e
- a qualidade da instalação e funcionalidade do sistema de acordo com a operação planejada.

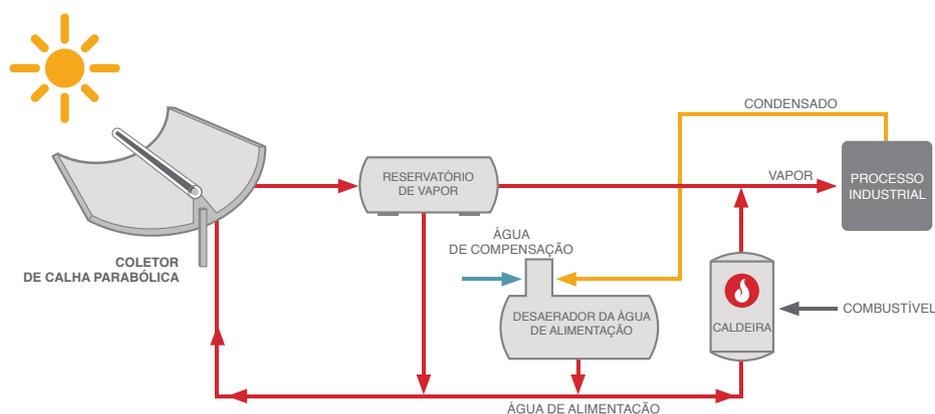
**Procedimentos de operação e manutenção** a serem realizados ou por um prestador de serviços externo ou internamente pela unidade de assistência do estabelecimento.

Aspectos centrais do processo do desenvolvimento e planejamento de uma planta SHIP são a análise abrangente do sistema atual de fornecimento de calor, o cálculo da demanda de calor efetiva e a integração solar, que são explicados em mais detalhes a seguir:

### Sistema atual de fornecimento de calor

O sistema de fornecimento e distribuição de calor geralmente é baseado em caldeiras de vapor. Alternativamente, pode ser por meio de outros fluidos de transferência de calor, como água quente, óleo térmico ou ar. Ele também pode basear-se em sistemas combinados de calor e eletricidade ou bombas de calor.

- **Caldeiras de vapor** são os sistemas de fornecimento de calor mais comuns na indústria. Elas abastecem os diferentes processos direta ou indiretamente através de trocadores de calor com vapor. Sistemas movidos a vapor muitas vezes são utilizados mesmo quando os processos ocorrem em baixos níveis de temperatura ( $T < 100\text{ °C}$ ). Eles têm uma complexidade maior devido ao tratamento de água de reposição, recuperação de condensado, desgaseificação (ver figura 24) e requisitos de operação. Sistemas movidos a vapor têm uma alta densidade energética, que possibilita diâmetros menores e menos perdas de calor na rede de distribuição de calor e altas taxas de transferência de calor movida a condensação, resultando no fornecimento de calor a uma temperatura constante.
- **Água quente (pressurizada)** é apropriada para baixos níveis de temperatura ( $T < 100\text{ °C} - 120\text{ °C}$ ). Ela depende de caldeiras de água quente menos exigentes, mas requer maiores diâmetros de tubulação, e potencialmente apresenta maiores perdas de calor devido aos fluxos de massa mais altos e à menor densidade energética.
- **Óleo térmico** é apropriado para níveis de temperatura até  $350\text{ °C}$ . Ele depende de caldeiras de óleo térmico e apresenta, como vantagens, uma temperatura de operação mais alta do que a utilizada normalmente em sistemas movidos a vapor, além de pressões mais baixas. As desvantagens são relacionadas ao custo mais alto dos meios de transferência de calor e à menor capacidade térmica em comparação com a água, exigindo maiores fluxos de massa, maiores diâmetros de tubulação e maiores perdas de calor. Sistemas movidos a óleo térmico também apresentam requisitos específicos de circuito hidráulico, relacionados à segurança (p. ex., prevenção de vazamentos, inflamação/explosão, toxicidade) e à operação (p. ex., proteção a gás para evitar a oxidação do óleo térmico, pré-secagem do circuito hidráulico antes do enchimento).
- **O ar** possui a capacidade térmica mais baixa de todas em comparação com a água ou o óleo térmico. Sistemas movidos a ar são utilizados apenas no fornecimento direto para processos específicos – câmaras de secagem ou de cura térmica. O fornecimento de calor baseia-se em bocais de ar quente e não em caldeiras.
- **Combinação de calor e eletricidade (CHP)** ou sistemas de co-geração com produção simultânea de eletricidade e calor.
- **Bombas de calor** podem elevar o calor residual de baixa temperatura, gerando temperaturas mais altas adequadas para processos através de ciclos de compressão (movida a eletricidade) ou absorção (movida a energia térmica) de vapor. As resistências elétricas também podem ser utilizadas, porém normalmente em sistemas menores.



**FIGURA 24:** Esquema de uma integração termosolar para geração de vapor. Na geração direta de vapor solar, a água é parcialmente evaporada no coletor concentrador, e então separada da água restante no reservatório de vapor. Na geração indireta de vapor solar, o campo de coletores aquece água ou óleo térmico em um circuito fechado para gerar vapor através de um trocador de calor.

Fonte: Solar Payback 2017

Em termos de fontes de energia, os sistemas de fornecimento de calor podem ser baseados no uso de combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, além da eletricidade. A diferença nos tempos de inicialização exigidos por caldeiras movidas a combustíveis gasosos/líquidos ou combustíveis sólidos deve ser considerada, já que estas últimas exigem períodos mais longos, impactando na duração dos períodos de espera. Um resumo das tecnologias de conversão de calor, fluidos de transferência de calor e fontes de energia mais comuns é apresentado na tabela 20.

TABELA 20: Tecnologias de conversão de calor vs. Fluido de transferência de calor e fonte de energia				
Fluido de Transferência	Gasosos (gás, biogás)	Líquidos (GLP, óleo)	Sólidos (carvão, biomassa)	Eletricidade
Vapor	Caldeira, combinação de calor e eletricidade (CHP)			Resistência elétrica
Água quente	Caldeira, combinação de calor e eletricidade (CHP)			Bomba de calor
Óleo térmico	Caldeira, combinação de calor e eletricidade (CHP)			Bomba de calor
Ar quente	Bocal			Bomba de calor

Fonte: Overview of IEA SHC Task 49, 2015

### Demanda de calor efetiva

Uma visão atualizada do potencial de eficiência energética e uma estimativa da demanda de calor efetiva após a possível adoção de medidas de eficiência energética, incluindo perfis de carga e temperaturas de fornecimento de calor, é o elemento central da criação de qualquer sistema solar otimizado.

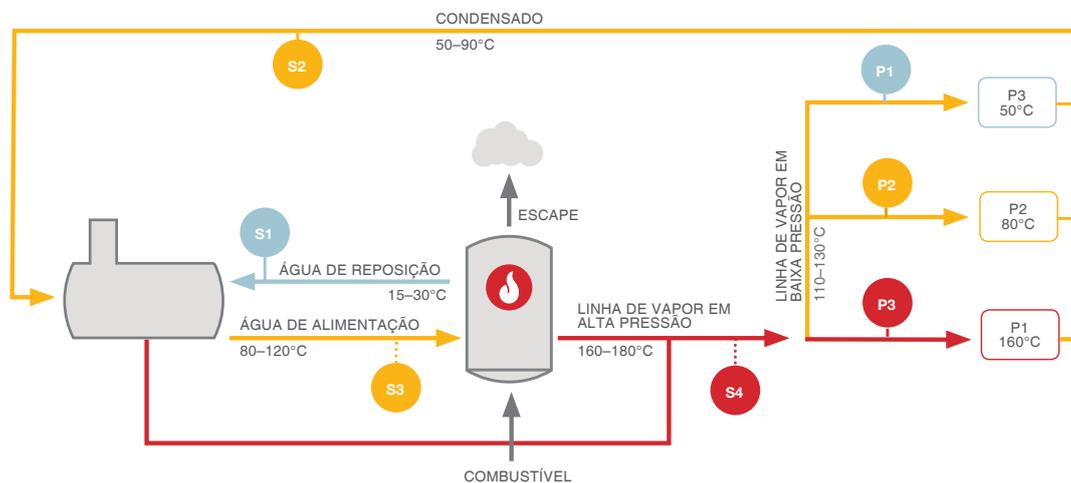
O dimensionamento do sistema termosolar deve ser baseado nas necessidades de calor efetivas, isto é, considerando primeiro os potenciais de recuperação de calor residual, tanto no nível do fornecimento de calor quanto no nível do processo. Frequentemente, é possível identificar possibilidades de recuperação de calor na maioria das instalações industriais, seja através de ineficiências no equipamento (por exemplo, perdas térmicas superficiais, fuga de vapor) ou da identificação de fluxos de resíduos portadores de calor, que possam ser utilizados diretamente no processo ou em processos vizinhos (por exemplo, gases de escape ou fluxos de materiais naturalmente resfriados).

## Integração solar

Depois que as necessidades de calor efetivas foram analisadas, é possível identificar tanto as demandas necessárias quanto a temperatura em que elas ocorrem. Esta última é um parâmetro crucial para a criação do sistema, pois influencia fortemente as tecnologias termossolares adequadas a serem consideradas (ver Figura 14). O uso de circuitos hidráulicos solares fechados permite a utilização de diferentes meios de transferência de calor e evita a ocorrência de, por exemplo, incrustação ou corrosão. No entanto, exige o uso de um trocador de calor como interface no ponto de integração.

A integração de calor solar pode ocorrer em dois níveis diferentes:

- **Nível do fornecimento:** o calor solar é integrado direta ou indiretamente em algum ponto do circuito de fornecimento de calor. A integração pode ocorrer seguindo uma abordagem de pré-aquecimento, antes da caldeira (pré-aquecimento da água de reposição, condensado da água de alimentação), ou seguindo um conceito de geração direta ou indireta de vapor, com integração na linha de vapor. Uma abordagem no nível do fornecimento geralmente significa maiores temperaturas de integração. A integração no nível do fornecimento apresenta o potencial para frações solares mais altas, porém à custa de maiores temperaturas de operação e menor eficiência por parte do campo solar, possivelmente exigindo o uso de coletores solares com rastreamento.
- **Nível do processo:** o calor solar é integrado diretamente no processo, seja através de um trocador de calor ou diretamente. O calor é fornecido na temperatura do processo, muitas vezes mais baixa que a temperatura convencional de fornecimento de calor. Embora a integração no nível do processo apresente o potencial para menores temperaturas de operação no campo solar, ela enfrenta a resistência dos usuários finais, muitas vezes relutantes contra interações diretas com seus processos. A integração no nível do processo exige um profundo conhecimento sobre a temperatura do processo e o perfil de carga.



**FIGURA 25:** Possíveis pontos de integração solar em um sistema de fornecimento de calor convencional. S1, S2, S3 assinalam três possíveis pontos para diferentes processos: P1 representa uma temperatura de processo de  $T_p = 160\text{ °C}$ , P2 de  $T_p = 80\text{ °C}$  e P3 de  $T_p = 50\text{ °C}$ .

Fonte: Fraunhofer ISE

CAPÍTULO 5  
**RENTABILIDADE  
DE SISTEMAS SHIP**



Os parceiros alemães da Solar Payback criaram uma ferramenta que pode ser utilizada por projetistas ou tomadores de decisão de instalações industriais para obter uma análise financeira preliminar de um sistema de calor solar para processos. Essa ferramenta pode ser utilizada mesmo antes de serem realizados monitoramentos ou simulações de rendimento solar.

Para tal, a ferramenta oferece uma vasta gama de valores padrão para a maioria das células de entrada (na forma de menus suspensos) e permite que o usuário realize uma avaliação preliminar com base apenas na seleção de uma localização, condições de operação, quantidade e tipo de combustíveis atualmente utilizados e a vida útil do projeto.

Os principais indicadores financeiros, como o Tempo de Retorno simples e dinamicamente calculado, a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e os Custos Nivelados de Calor (LCOH) são calculados pela ferramenta. As simulações são apresentadas em uma lista resumida de parâmetros de entrada e resultados, e também visualmente na forma de gráficos. A ferramenta estará disponível em uma versão online no site [solar-payback.com](http://solar-payback.com).

Neste relatório, a ferramenta é utilizada para calcular estudos de caso individuais para verificar a viabilidade econômica de plantas SHIP para as instalações industriais selecionadas, sob diferentes condições estruturais. A subseção 5.1 explica a metodologia e os parâmetros, e a subseção 5.2 apresenta os resultados dos estudos de caso.

## 5.1 Parâmetros e Metodologia

Primeiro, algumas considerações para a seleção de estudos de caso a serem usados para os cálculos na item 5.2. Os custos de investimento têm um alto impacto na viabilidade econômica de um projeto SHIP. Portanto, componentes produzidos localmente, como coletores e reservatórios, devem ser utilizados, também para evitar os altos impostos sobre produtos importados (ver tabela 2). Coletores planos são o tipo de coletor solar predominante no Brasil, com uma gama variada de produtos e preços, devido à grande concorrência entre os fabricantes (ver itens 2.1 e 2.2).

Coletores planos atingem temperaturas de operação entre 30 e 90 °C, que são úteis para muitos processos de produção industrial: lavagem e alvejamento na indústria têxtil, recurtimento em fábricas de couros, pasteurização de leite para laticínios ou limpeza de superfícies na produção de máquinas (ver figura 14). É, por isso, que estudos de caso com coletores planos e temperaturas de operação de 50 °C são usados no item 5.2 para analisar o impacto de diferentes condições estruturais e operacionais na rentabilidade de plantas SHIP.

Um fator limitante em muitas plantas SHIP é o espaço disponível no local da fábrica para a montagem do campo de coletores. Já que as empresas brasileiras nos setores relevantes para SHIP - têxtil, couro e alimentos - geralmente são de pequeno e médio porte (ver figura 22) com o volume de negócios médio em todo o país, a área efetiva de coletores é definida em 500 m<sup>2</sup> nos cálculos dos estudos de caso. Nessa situação, o campo de coletores ocuparia cerca de 900 m<sup>2</sup> para evitar a interferência do sombreamento entre as fileiras dos equipamentos.

A demanda anual de calor na fábrica foi definida como 800 MWh<sub>th</sub>, de modo a que o campo de coletores de 500 m<sup>2</sup> atinja, pelo menos, 50 % de fração solar. Porém, este é um valor

um tanto arbitrário, e outras frações solares certamente também são possíveis.

Neste ponto, parece apropriado acrescentar uma breve introdução à metodologia utilizada na ferramenta. O instituto alemão de energia solar Fraunhofer ISE, um dos parceiros do Solar Payback, simulou o rendimento solar anual atingido com plantas SHIP para 4.800 estudos de caso brasileiros, diferindo nos seguintes parâmetros:

- 5 locais de irradiação: Rio de Janeiro (1,7 MWh/m<sup>2</sup>a), Petrolina (2 MWh/m<sup>2</sup>a), Fortaleza (2 MWh/m<sup>2</sup>a), Belo Horizonte (1,6 MWh/m<sup>2</sup>a), São Paulo (1,4 MWh/m<sup>2</sup>a)
- 4 tecnologias de coletor: plano, tubo de vácuo, calha parabólica, linear de Fresnel
- 5 temperaturas de operação médias do coletor: 50 °C, 75 °C, 100 °C, 150 °C ou 200 °C
- 3 modos de operação de produção diária na fábrica: diurno, noturno, contínuo
- 2 modos de operação de produção semanal na fábrica: 5 dias por semana e 7 dias por semana
- 2 modos de operação de produção anual na fábrica: contínuo ou interrupção de 1 mês.

O usuário da ferramenta pode realizar pré-avaliações econômicas e financeiras com base nestes valores de rendimento padrão sem executar uma simulação técnica do sistema SHIP planejado. Em todas as simulações, adotou-se uma fração solar de 50 %, para que sejam comparáveis entre si. É por isso que, para os cálculos de viabilidade econômica, no item 5.2, também é assumida uma fração solar de 50 %.

<b>TABELA 21: Descrição dos parâmetros para estudos de caso</b>	
Tipo de coletor utilizado	Plano
Temperatura de operação média	50 °C
Processos abastecidos	Lavagem, alvejamento, recurtimento, pasteurização e limpeza
Consumo anual de energia estimado	800 MWh <sub>m</sub> /ano
Área efetiva dos coletores	500 m <sup>2</sup>
Espaço necessário para montagem do campo de coletores	900 m <sup>2</sup>
Volume de armazenamento térmico específico	25 litros/m <sup>2</sup> de área dos coletores
Perfil de produção na fábrica	Contínuo ao longo do ano
Eficiência de conversão térmica moderada do sistema de fornecimento de calor existente	70 %
Preço líquido para o consumidor final por área bruta de coletores planos, incluindo sistema hidráulico e instalação	1.323 BRL/m <sup>2</sup> *
Preço líquido para o consumidor final para reservatório de armazenamento de água (acima de 3 m <sup>3</sup> = 3,000 litros)	7.756 BRL/m <sup>3</sup> **

\*O preço específico dos coletores foi identificado através de uma pesquisa entre fabricantes de sistemas termossolares brasileiros.

\*\*O preço específico do reservatório de armazenamento está definido como 2.000 EUR/m<sup>3</sup> para um reservatório acima de 3 mil litros, valor convertido na ferramenta à taxa de câmbio de 1 EUR = 3,878 BRL.

Fonte: Ferramenta financeira em Solar Payback 2018

Com base nos parâmetros técnicos resumidos na tabela 21, a ferramenta calcula os custos de investimento totais da instalação SHIP. Estes são baseados em preços líquidos específicos de campos de coletores e reservatórios de armazenamento, incluindo instalação, que foram pesquisados através de consulta a fabricantes de sistemas termossolares brasileiros (ver tabela 21).

### **TRS, TIR e CMPC: a linguagem de banqueiros e investidores**

Os profissionais da indústria muitas vezes não usam a mesma linguagem que os banqueiros e investidores ao apresentar projetos termossolares. Por isso, é importante explicar os termos e indicadores de desempenho – ou KPIs (key performance indicators) – mais importantes, para a avaliação da viabilidade econômica e financeira de plantas SHIP.

No aspecto econômico e financeiro, a ferramenta utiliza metodologias tanto estáticas quanto dinâmicas. A análise econômica estática compara apenas as economias médias anuais com os custos correspondentes, sem considerar o valor temporal do dinheiro. Já os métodos dinâmicos são baseados em um fluxo de caixa descontado, e levam em conta o valor temporal do dinheiro.

Em economia, geralmente é preferível receber dinheiro hoje do que no futuro, pois ele possui maior valor hoje do que possuirá daqui a alguns anos. É por isso que, em metodologias dinâmicas, os fluxos de caixa futuros são convertidos em valores atuais (hoje) por meio de uma taxa de desconto ou fator de desconto. Um método comumente utilizado para descobrir a taxa de desconto apropriada é o chamado Custo Médio Ponderado de Capital, ou CMPC. Com base na estrutura do financiamento do projeto, o CMPC serve como taxa de barreira, ou seja, a taxa mínima de retorno aceitável para levar a uma decisão de investimento.

Quanto mais longo o período de investimento, mais diferentes são os resultados dos métodos de cálculo estáticos e dinâmicos. Já que o investimento em sistemas termossolares é de longa duração (na faixa de 20 anos), deve ser aplicado preferivelmente o método de análise econômica dinâmica, que considera plenamente a importância do tempo em que os pagamentos ocorrem. Entretanto, como o cálculo de retorno estático é mais comum no Brasil, o item 5.2 utiliza ambos os tipos de KPIs – o Tempo de Retorno Simples (TRS) com base na análise estática e a Taxa Interna de Retorno do Projeto (TIR-P) do projeto, com base no método do fluxo de caixa descontado. Ambos os KPIs descrevem a rentabilidade do investimento, mas não consideram o tipo e os custos de financiamento. Os dois KPIs podem ser definidos da seguinte maneira:

- Tempo de Retorno Simples é o tempo necessário para recuperar o investimento em um projeto a partir das economias anuais. Tipicamente, os gestores de indústrias esperam TRSs de cerca de 2 a 5 anos (ver item 3.4).
- A TIR-P representa a taxa de retorno que se espera que um projeto de investimento gere. O investimento é rentável se a TIR-P for maior que o CMPC, o que significa que o retorno esperado ultrapassou os custos de capital.

### **5.2 Cálculos econômicos de estudos de caso sob determinadas condições estruturais**

Neste item, a ferramenta é utilizada para avaliar a viabilidade econômica do estudo de caso definido no item 5.1, que é um sistema de coletores planos de 500 m<sup>2</sup> fornecendo água quente a 50 °C para uma fábrica de laticínios, couros ou processamento de metais. A tabela 22 resume parâmetros adicionais definidos para este caso de referência. O gás natural é usado na fábrica "fictícia" com um preço estimado de 164 BRL/MWh. Todos os preços de combustíveis foram fornecidos pela Prof<sup>a</sup>. Elizabeth Duarte Pereira, Pesquisadora do Instituto Anima Sociesc de Belo Horizonte, (ver tabela 23) com base em dados nacionais de diferentes fontes.

**TABELA 22: Outros parâmetros para o cálculo básico do estudo de caso. Pagamentos de impostos sobre receitas adicionais não são considerados.**

Potencial de irradiação médio anual como em Belo Horizonte	1,6 MWh/m <sup>2</sup>
Fonte de energia para o atual sistema de fornecimento de calor	Gás natural
Preço médio da fonte de energia atual	164 BRL/MWh
Perfil de produção diária na fábrica	Diurno
Perfil de produção semanal na fábrica	Cinco dias por semana
Temperatura de operação média dos coletores	50 °C
Taxa de inflação da energia	3 %
Vida útil do(a) investimento/tecnologia	20 anos
Custos anuais de operação e manutenção	1 % do CAPEX

Fonte: Solar Payback 2018

**TABELA 23: Preços de fontes de energia usadas para calor para processos**

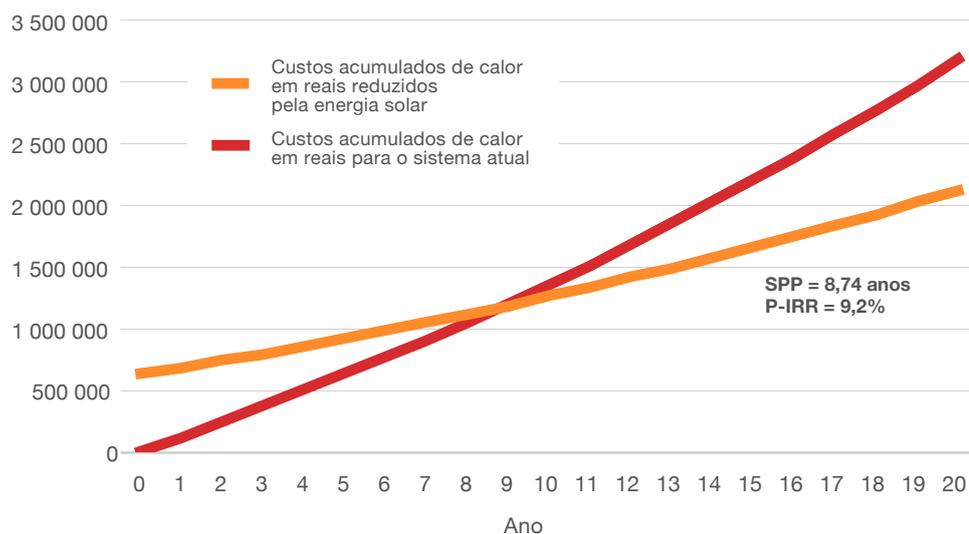
Diesel	366 BRL/MWh
Gás natural	164 BRL/MWh
GLP	157 BRL/MWh
Carvão vegetal	85 BRL/MWh
Lenha	41,5 BRL/MWh

Fonte: Pereira 2018

Quando o gás natural é substituído na fábrica fictícia do caso de referência, o investimento se compensa em 8,74 anos e a TIR do projeto atinge 9,2 %. Portanto – à primeira vista – esta aplicação SHIP não seria rentável, primeiro porque o período de retorno é maior que 5 anos, que era o TRS máximo esperado pela maioria das empresas de produção entrevistadas (ver figura 23); segundo, porque o CMPC (definição no item 5.1) é maior que a TIR-P, já que as taxas de juros de empréstimos de bancos comerciais geralmente são acima de 10 %. A ferramenta define uma taxa de juros padrão para clientes industriais no Brasil de 13,22 %, derivada da taxa dos títulos públicos com vencimento em 10 anos somada de uma sobretaxa fixa para a margem de crédito do cliente e do diferencial (spread) de liquidez do banco financiador.

No entanto, a avaliação mostra-se completamente diferente ao comparar as economias no custo de energia ao longo dos 20 anos de vida útil do sistema SHIP (ver figura 26). O campo de coletores de 500 m<sup>2</sup> economizará 1,1 milhões de BRL em gás natural ao longo de 20 anos, considerando uma taxa de inflação anual da energia de 3 %. Os custos de investimento de 626.150 de BRL para o sistema SHIP instalado já foram deduzidos desta receita.

Consequentemente, parece importante que os planejadores e engenheiros expliquem aos potenciais investidores industriais que uma planta SHIP é um investimento na melhoria da infraestrutura da fábrica, e que, portanto, os tempos de retorno realmente não são o melhor nem o único critério. Ao apresentar aplicações de calor solar para processos a novos clientes, um gráfico com uma comparação de custos de linha de base parece ser uma boa porta de entrada. Este tipo de gráfico apresenta os custos de energia térmica ao longo de 20 anos, se a fábrica continuar com o atual sistema de fornecimento de calor, e compara-os com os custos reduzidos de energia térmica após a instalação de um sistema SHIP (ver figura 26). Uma comparação de custos de linha de base também é oferecida na ferramenta como parte dos resultados do gráfico.



**FIGURA 26:** Comparação dos custos de energia no caso de referência com ou sem o uso de energia solar. A linha laranja começa no ano zero com os custos de investimento de 626.150 de BRL do sistema SHIP.

Fonte: Solar Payback 2018

Além do gás natural, a indústria no Brasil utiliza diesel, GLP, carvão vegetal e lenha para suprir sua demanda de calor (ver figura 19). A tabela 24 mostra como o tipo de fonte de energia substituída tem impacto na rentabilidade econômica do sistema SHIP de referência. Quando é usado diesel – o mais caro dos combustíveis industriais – o sistema SHIP se compensa em apenas 3,45 anos, e a TIR-P fica em um valor confortável de 23,8 %. As economias ao longo de 20 anos chegam a somar 3,1 milhões de BRL. No entanto, o diesel cobre apenas cerca de 5 % da demanda de calor nos quatro setores relevantes para SHIP descritos na figura 19.

Neste caso, a lenha é mais barata que o calor de energia solar, e portanto o investidor sofre custos adicionais e a TIR-P é negativa (ver tabela 24).

**TABELA 24:** Viabilidade econômica do caso de referência quando diferentes fontes de energia são substituídas. Os parâmetros para o caso de referência são definidos nas tabelas 21 e 22.

	Caso de referência	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Fonte de energia substituída	Gás natural	Diesel	GLP	Carvão vegetal	Lenha
TRS	8,7 anos	3,5 anos	9,2 anos	17,4 anos	19 anos
TIR-P	9,2 %	23,8 %	8,6 %	1 %	-6,9 %
Economias acumuladas ao longo de 20 anos	1,1 milhões de BRL	3,1 milhões de BRL	1 milhão de BRL	0,25 milhões de BRL	-199.537 BRL

Fonte: Solar Payback 2018

O próximo passo é analisar o impacto de um maior potencial de irradiação solar sobre a viabilidade econômica da planta SHIP de referência, além de uma mudança no modo de produção de 5 dias para 7 dias por semana (ver tabela 25). Se uma fábrica funciona nos fins de semana, cerca de um terço da irradiação solar anual na superfície dos coletores pode ser utilizada adicionalmente, o que reduz significativamente o preço do calor solar. A tabela 25 mostra que, sob estas novas condições estruturais, é economicamente rentável substituir o gás natural e o GLP por calor solar, atingindo tempos de retorno abaixo de 5 anos e uma TIR-P acima do limiar de 13,22% quando o sistema é apenas financiado por dívida.

Os KPIs para o caso 3 com carvão vegetal não justificam o investimento em SHIP com um tempo de retorno de 9,7 anos e uma TIR-P de 7,9%. No entanto, o investidor poderia economizar 0,9 milhões de BRL ao longo dos 20 anos de vida útil do projeto. A lenha é muito barata para ser substituída por calor solar, mesmo sob estas melhores condições conjunturais.

**TABELA 25: Viabilidade econômica do caso de referência em novas condições estruturais definidas**

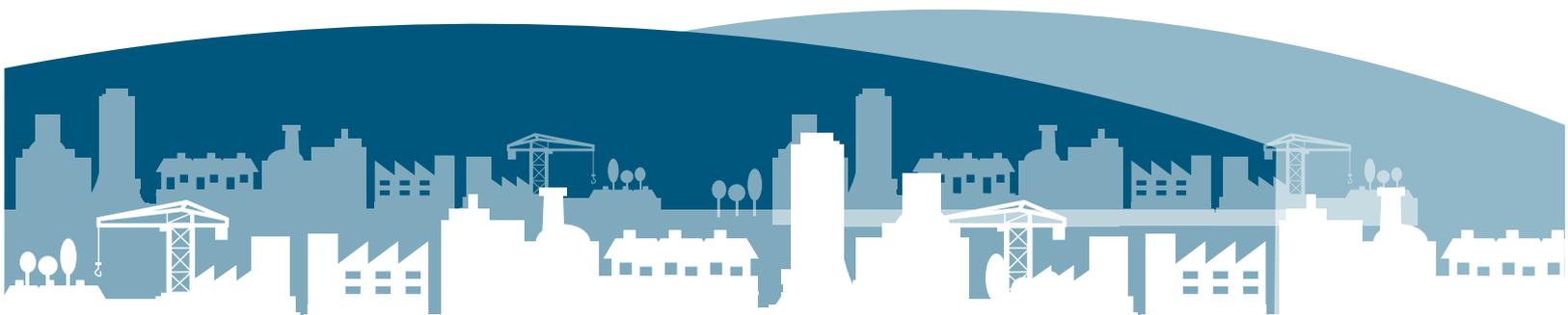
	<b>Caso de referência em um local com melhor potencial de irradiação de 2 MWh/m<sup>2</sup> e produção de 7 dias por semana</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>
Fonte de energia substituída	Gás natural	GLP	Carvão vegetal	Lenha
TRS	4,6 anos	4,9 anos	9,7 anos	19 anos
TIR-P	18,5 %	17,7 %	7,9 %	-0,7 %
Economias acumuladas ao longo de 20 anos	2,3 milhões de BRL	2,2 milhões de BRL	0,9 milhões de BRL	119.247 BRL

Fonte: Solar Payback 2018

### Conclusões:

- A Ferramenta de Análise Econômica da Solar Payback permite o cálculo dos principais indicadores de desempenho (KPIs) com base em valores padrão predefinidos e em milhares de cálculos de rendimento solar para diferentes estudos de caso SHIP simulados no Brasil.
- O Tempo de Retorno Simples (TRS) e a Taxa Interna de Retorno do Projeto (TIR-P) são usados para comparar a rentabilidade econômica de diferentes variantes tecnológicas e operacionais.
- No caso de referência, um sistema de coletores planos de 500 m<sup>2</sup> fornece água quente a 50 °C para uma fábrica de laticínios, couros ou processamento de metais, para alvejamento, lavagem, recurtimento, pasteurização e limpeza.
- Substituir o diesel pela planta SHIP de referência é economicamente rentável na maioria das condições estruturais.
- Substituir o gás natural / GLP é economicamente viável em locais com alta irradiação solar e com uma fábrica que produza sete (em vez de cinco) dias por semana.
- É necessária uma mudança de paradigma, da decisão de investimento baseada principalmente em um TRS curto (abaixo de 5 anos) para a consideração das economias acumuladas ao longo dos 20 anos de vida útil da tecnologia da planta SHIP, de modo a que mais aplicações e tipos de fábricas possam se beneficiar da tecnologia SHIP.

CAPÍTULO 6  
**RECOMENDAÇÕES**



As questões que podem influenciar um empresário industrial a favor ou contra a implementação de tecnologia SHIP em suas instalações foram analisadas de forma abrangente no estudo "Fostering Renewable Energy Integration in the Industry" [Promovendo a integração da energia renovável na indústria] publicado pela IEA-RETD em março de 2017 (IEA-RETD, 2017). A seguinte lista resume as recomendações mais relevantes da IEA-RETD para as condições estruturais do Brasil.

- 1. Financiamento disponível:** A maioria das indústrias relacionadas a SHIP no Brasil consiste em empresas de pequeno e médio porte, que não possuem o patrimônio líquido / capital disponível necessário para desenvolver projetos SHIP. Esses projetos implicam em custos substanciais de investimento inicial, em comparação com as unidades de geração de calor tradicionais por combustíveis fósseis e biomassa. Mecanismos de apoio ao investimento, por exemplo, linhas de crédito de baixos juros, poderiam ser implementados para reduzir os custos iniciais para empresas industriais.
- 2. Tempos de retorno e retorno sobre investimento:** Além do investimento, os projetos SHIP muitas vezes implicam tempos de retorno mais longos, e menor retorno sobre investimento em comparação com as atividades centrais de uma empresa industrial. Taxas preferenciais para a aquisição de soluções SHIP (reduções de impostos) poderiam ser concedidas por autoridades públicas para empresas industriais. Há diferentes formas de potencialização no nível da planta industrial para superar esta dificuldade:
  - Transferir o investimento para um produtor de calor terceirizado
  - Aumentar o rendimento solar específico através de geração tripla (por exemplo, água quente, vapor de processo e resfriamento)
  - Aumentar as sinergias entre SHIP e as medidas de eficiência energética
- 3. Conscientização:** A comunicação sobre o mercado mundial de SHIP e seu crescimento dinâmico, incluindo melhores práticas internacionais selecionadas, parece ser essencial para preencher a lacuna entre o mero conhecimento sobre o assunto e a implementação concreta no local. Entidades públicas, associações de fornecedores tecnológicos, assim como associações industriais, devem facilitar o compartilhamento de informações relevantes sobre tecnologias solares e o apoio público técnico e financeiro existente. Empresas industriais e OEMs devem considerar filiar-se a grupos, como associações interprofissionais, para compartilhar conhecimento com suas contrapartes.
- 4. Confiança na tecnologia:** SHIP é uma tecnologia madura, comprovada em várias centenas de sistemas no mundo todo, mas ainda não há plantas de demonstração disponíveis no Brasil. Para fortalecer a confiança entre as partes interessadas industriais, as entidades públicas devem financiar projetos-piloto para desenvolver melhores práticas e estimular que os atores industriais participem do desenvolvimento de soluções de integração de processos para tecnologia solar, e que empresas OEM forneçam soluções de calor solar para processos que possam levar à implementação mais rápida dentro de um certo setor.

**5. Operabilidade e integração:** Um projeto de integração SHIP precisa levar a um aumento da produtividade ou a uma operabilidade mais fácil (em termos de fornecimento para o empresário industrial). A integração adequada de sistemas termossolares em uma unidade industrial exige um profundo conhecimento de: tecnologias solares, processos industriais, além de padrões industriais, ambientais, de saúde e de segurança. A criação de “equipes de excelência” em nível local, focadas na integração solar em processos industriais, pode ajudar a padronizar a integração da SHIP para setores selecionados.

**6. Mitigação de riscos e mecanismos de seguro:** Empresas industriais que implementam sistemas SHIP no local podem incorrer em três riscos importantes, que podem ser vistos como obstáculos intransponíveis para muitas delas:

- A continuidade do fornecimento de energia pode representar um risco para as operações da planta, principalmente com tecnologia SHIP, que ainda não foi comprovada em muitos projetos de melhores práticas no Brasil.
- A complexidade específica dos contratos de aquisição de energia térmica pode impedir que os atores industriais considerem o seu investimento.
- A rentabilidade do sistema SHIP depende também da solvência do fornecedor de tecnologia.

Políticas públicas e bancos devem oferecer garantias financeiras para SHIP em projetos industriais, seja para cobrir o risco de sistemas SHIP com baixo desempenho, ou para evitar dificuldades financeiras do lado do fornecedor de tecnologia. Ao mesmo tempo, sistemas de energia renovável também podem se tornar um fator de redução de riscos, garantindo a segurança do recurso solar e uma menor exposição às flutuações de preço da energia no mercado.

Para abordar as barreiras financeiras (1 e 2), os autores recomendam a criação dos dois mecanismos de suporte, que seguem abaixo:

#### **MME: Programa de Eficiência de Calor (PEC)**

Uma ação eficaz de estímulo a SHIP seria a criação de um programa de eficiência de calor (incluindo combustíveis e lenha) regulado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), semelhante ao Programa de Eficiência Energética (PEE) regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no setor de energia elétrica, incluindo chamadas públicas de projetos pelos fornecedores de combustível (distribuidores locais de gás / óleo combustível / lenha e assim por diante). Desde 2000, o PEE obriga as concessionárias de energia elétrica a alocarem 0,5 % da receita operacional líquida (ROL) para medidas de eficiência energética com um orçamento de BRL 450 milhões por ano em todo o Brasil (para mais detalhes, consulte o item 1.4 deste estudo).

Aplicações solares térmicas industriais, devido ao alto potencial, apresentariam projetos promissores a serem aprovados. A possibilidade de combinar essa fonte com outras medidas de eficiência energética deve ser prevista. Igualmente ao PEE, os setores que mais consomem combustível, transporte e indústria de manufatura, devem ter preferência. As concessionárias poderiam financiar projetos nos termos de uma contratação de desempenho com juros zero, com ou sem a intermediação de ESCOs (Empresa de Serviços de Eficiência Energética).

### **BNDES / Fundo Clima: Subprograma Eficiência Energética Industrial**

Os autores também recomendam uma linha de crédito de pequeno e médio porte incentivada (taxa de juros baixa) para medidas de eficiência energética industrial (BRL 1 milhão), explicitamente incluindo medidas de eficiência de calor / combustível para negócios de fabricação, patrocinado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento BNDES ou Fundo Clima. Um período de carência de vários anos deve ser considerado. Portanto, o BNDES precisa estar equipado com as ferramentas, a expertise e a garantia de riscos necessários para fornecer créditos de pequeno valor para avaliação de risco.

Um exemplo desse subprograma de energia renovável é atualmente oferecido pelo BNDES e Fundo Clima. Micro, pequenas e médias empresas podem solicitar um empréstimo de pelo menos BRL 3 milhões para “a geração e distribuição local de energia renovável” (veja na bibliografia “Fundo Clima BNDES”). Até o final de 2018, as empresas podem se beneficiar de um período de crédito de 16 anos, incluindo um período de carência de no máximo oito anos. Essas condições atraentes de empréstimos melhorarão significativamente a rentabilidade financeira dos investimentos em SHIP pelo setor.

# ANEXOS

## I. Lista de Tabelas

- Tabela 1:** Previsão econômica 2017-2018
- Tabela 2:** Impostos e tarifas sobre coletores solares
- Tabela 3:** Impostos e tarifas sobre reservatórios térmicos
- Tabela 4:** Taxa de crescimento do consumo final de energia nos setores
- Tabela 5:** Metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa em diferentes setores
- Tabela 6:** Resumo dos programas de incentivo à eficiência elétrica/energética
- Tabela 7:** Fontes de energia no setor industrial 2006 e 2016
- Tabela 8:** Evolução dos preços do gás natural para usuários industriais de energia (incl. impostos)
- Tabela 9:** Fatores de conversão de gás natural para calcular preços específicos em MWh relacionados aos números da tabela 8 (incluindo impostos)
- Tabela 10:** Composição média de custos do gás para a indústria brasileira
- Tabela 11:** Composição média de custos da eletricidade para a indústria brasileira
- Tabela 12:** Panorama dos tipos de coletores para geração de calor solar para processos
- Tabela 13:** Volume de mercado anual por tipo de coletor entre 2013 e 2016
- Tabela 14:** Demanda de calor final dos setores industriais ordenados por parcela dentro do total.
- Tabela 15:** Avaliação da parcela de demanda de calor de baixa (BT), média (MT) e alta (AT) temperatura em diferentes setores industriais no Brasil
- Tabela 16:** Parcela de demanda de calor industrial no Brasil e globalmente
- Tabela 17:** Tendência na demanda de calor total dos setores industriais relevantes para a SHIP
- Tabela 18:** Os dez principais estados para os setores relevantes para SHIP de acordo com o volume de negócios e o número de empresas
- Tabela 19:** Distribuição de indústrias por setor nos 10 estados mais fortes
- Tabela 20:** Tecnologias de conversão de calor vs. fluido de transferência de calor e fonte de energia
- Tabela 21:** Descrição dos parâmetros para estudos de caso
- Tabela 22:** Outros parâmetros para o cálculo básico do estudo de caso
- Tabela 23:** Preços de fontes de energia usadas para calor para processos
- Tabela 24:** Viabilidade econômica do caso de referência quando diferentes fontes de energia são substituídas
- Tabela 25:** Viabilidade econômica do caso de referência em novas condições estruturais definidas

## II. Lista de Figuras

- Figura 1:** Média de Longo Prazo da Irradiação Horizontal Global (GHI) para o Brasil
- Figura 2:** Média de Longo Prazo da Irradiação Direta Normal (DNI)
- Figura 3:** Consumo final de energia total por setor em 2016 (%) (Total: 229,12 Mtep = 9,6 EJ) e parcela de geração de calor e eletricidade no setor industrial
- Figura 4:** Utilização final da energia nos setores brasileiros (em ktep) desde 1970
- Figura 5:** Parcela de eletricidade e calor na demanda energética final do setor industrial
- Figura 6:** Fontes de energia utilizadas para cobrir a demanda de calor industrial no Brasil em 2016
- Figura 7:** Fontes de energia que cobrem a demanda de calor em enorme crescimento no setor industrial
- Figura 8:** Rede de distribuição de gás natural
- Figura 9:** Projeção dos preços de produção de gás natural sem impostos (ICMS / PIS / COFINS) e sem custos e margens de transporte
- Figura 10:** Preço do óleo combustível 2013-2017
- Figura 11:** Esquema de uma planta SHIP
- Figura 12:** Ilustração simplificada do ciclo térmico de processo
- Figura 13:** Tecnologias termossolares
- Figura 14:** Faixas de temperatura, aplicações e tecnologias de coletores
- Figura 15:** Evolução do mercado termossolar
- Figura 16:** Participação de diferentes níveis de temperatura na demanda de calor de diversos setores industriais
- Figura 17:** Demanda de calor na indústria brasileira – 59 % abaixo de 400 °C
- Figura 18:** Setores industriais relevantes para a SHIP e sua demanda de calor
- Figura 19:** Fontes de energia para suprir a demanda de calor em setores industriais relevantes para a SHIP
- Figura 20:** Os 10 principais estados em termos de volume de negócios nos quatro setores relevantes para SHIP
- Figura 21:** Volume de negócios em 2015 (bilhões de BRL) dos setores relevantes para SHIP
- Figura 22:** Número de empresas em cada setor relevante para SHIP e volume de negócios médio por empresa em milhões de BRL
- Figure 23:** Resultados das indústrias pesquisadas (n=30)
- Figura 24:** Esquema de uma integração termossolar para geração de vapor.
- Figura 25:** Possíveis pontos de integração solar em um sistema de fornecimento de calor convencional
- Figura 26:** Comparação dos custos de energia no caso de referência com ou sem o uso de energia solar

### III. Bibliografia

- ABRASOL 2017:** Production and Sales Research of Solar Heating Systems. [http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2017-04-30/brazilian\\_solar\\_report\\_2017.pdf](http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2017-04-30/brazilian_solar_report_2017.pdf)  
March 2017
- AHK 2014** (Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha Rio de Janeiro): Importbestimmungen und -kosten für Photovoltaik-Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung in Brasilien, 2016
- Alcorta, L. et al., 2014:** Return on investment from industrial energy efficiency: evidence from developing countries, *Energy Efficiency* 7, pp. 43-531
- ANP 2017:** Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - Cartograma 2.3: Infraestrutura de produção e movimentação de gás natural - 2016, 2017
- Banco Central do Brasil 2017:** Inflation Report. March 2017. Accessed 19/05/2017, <http://www.bcb.gov.br/htms/relinf/ing/2017/03/ri201703c1i.pdf>
- Ben-Hassine, I. et al., 2015:** Guideline for solar planners, energy consultants and process engineers giving a general procedure to integrate solar heat into industrial processes by identifying and ranking suitable integration points and solar thermal system concepts. IEA/SHC Task 49/IV, Subtask B, Deliverable B2
- BNDES 2016:** <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-divulga-novas%20condicoes-de-financiamento-a-energia-eletrica>
- CEPEA 2017:** Os Mercados de Produtos Florestais no Brasil, <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/os-mercados-de-produtos-florestais-no-brasil.aspx>
- CNI 2016:** Dois terços das indústrias têm prejuízos com falhas no fornecimento de energia elétrica, diz pesquisa da CNI, Access on November 22nd, 2017 <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2016/03/dois-tercos-das-industrias-tem-prejuizos-com-falhas-no-fornecimento-de-energia-eletrica-diz-pesquisa-da-cni/>
- EPE 2017a:** Balanço Energético Nacional 2017 (Basis 2016): [https://ben.epe.gov.br/downloads/relatorio\\_final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/relatorio_final_BEN_2017.pdf); Access on November 17th, 2017
- EPE 2017b:** Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>. Access on November 17th, 2017.
- Faria, Fernando & Endo, Mauricio 2016:** Foresight – Brazil's pragmatic new infrastructure program. KPMG. Accessed 19/05/2017
- FGV 2017:** Boletim de Conjuntura do Setor Energético, Dezembro 2017: [http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/boletim\\_dezembro-2017\\_rev2\\_final.pdf](http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/boletim_dezembro-2017_rev2_final.pdf)
- FINEP 2017:** <http://www.finep.gov.br/afinep/66-fontes-de-recurso/fundos-setoriais/quais-sao-os-fundos-setoriais/28-ct-energ>, Access on November 17th, 2017
- FIRJAN 2011:** Quanto custa o Gás Natural para a Indústria no Brasil, <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4EBC426A014EC144CB142B50>. Access on January 25th, 2018
- FIRJAN 2016:** Pesquisas E Estudos Socioeconomicos. [http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/pdf\\_presentations/sistema-firjan-2016.pdf](http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/pdf_presentations/sistema-firjan-2016.pdf), July 2016
- Fundo Clima BNDES:** [www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis](http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis)
- Germany Trade & Invest 2017:** Wirtschaftsdaten kompakt. Brasilien. Gtai.de. Accessed 19/05/2017, [http://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/Fachdaten/MKT/2016/11/mkt201611222046\\_159460\\_wirtschaftsdaten-kompakt---brasilien.pdf?v=1](http://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/Fachdaten/MKT/2016/11/mkt201611222046_159460_wirtschaftsdaten-kompakt---brasilien.pdf?v=1)
- IBGE 2015** (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística): <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6449>
- ICMS Prático 2017:** <http://www.icmspratico.com.br/observacao/conv-10197-iiii-energia-eolica-e-solar/>; Access on November 17th, 2017

**IEA 2017:** Renewable Energy Market Report 2017, International Energy Agency, October 2017, <https://www.iea.org/newsroom/events/publication-renewables-2017-market-report-series.html>

**International Energy Agency, IEA 2014:** Statistics: Energy Balance Flows. <http://www.iea.org/statistics/>

**IEA 2014** (International Energy Agency): IEA/SHC Task 49 "Solar Heat Integration in Industrial Processes" (2012-2016). <http://task49.iea-shc.org/>

**IEA SHC Task 49** (International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme): <http://task49.iea-shc.org/publications>

**IEA SHC Task 49 2015:** Integration Guideline. February 2015, [http://task49.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/150218\\_IEA%20Task%2049\\_D\\_B2\\_Integration\\_Guideline-final1.pdf](http://task49.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/150218_IEA%20Task%2049_D_B2_Integration_Guideline-final1.pdf)

**IPAM 2016:** Emissões de gases do efeito estufa no Brasil sobem 9 % em 2016, 27 October 2017 <http://ipam.org.br/emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-no-brasil-sobem-9-em-2016/>

**KPMG 2016:** <https://home.kpmg.com/xx/en/home/insights/2016/09/foresight-brazils-pragmatic-new-infrastructure-program.html>; Lauria Vieira da Silva, T., Cavaliere, Â., Raad, A. and Corrêa de Oliveira, L. (2004). Estudo Multissetorial - Aspectos Econômicos, Tecnológicos e Energéticos. Rio de Janeiro: SEBRAE

**MAPA (2018):** Agropecuária puxa o PIB de 2017, <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>

**Martins 2012:** Martins, F., Abreu, S. and Pereira, E.: Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. Energy Policy, 48, pp. 640-649

**MCTIC 2017:** Contribution of the Ministry of Science, Technology, Innovations and Communications (MCTIC) for the elaboration of the strategy implementation of Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC) to Paris Agreement, [http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Trajektorias-Ebook-b\\_final.pdf/29c11698-b71d-4009-850c-a162090e1108](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Trajektorias-Ebook-b_final.pdf/29c11698-b71d-4009-850c-a162090e1108)

**MME 2017:** [http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/Boletim\\_Gas\\_Natural\\_nr\\_126\\_AGO\\_17.pdf/570f9d68-8388-4008-a706-1b929685d171](http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/Boletim_Gas_Natural_nr_126_AGO_17.pdf/570f9d68-8388-4008-a706-1b929685d171); Access on November 17th, 2017

**N.N.2017:** Indústria e agropecuária lideram crescimento em 2017. Portal Brasil. Accessed 19/05/ 2017, <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/03/industria-e-agropecuaria-lideram-crescimento-em-2017>

**N.N. 2017:** Brazil hits trade balance record. BrazilGovNews. Accessed 19/05/2017, <http://www.brazilgovnews.gov.br/news/2017/01/brazil-hits-trade-balance-record>

**Notícias agrícolas 2018:** Preço Eucalipto. <https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/silvicultura/preco-eucalipto>. Accessed on January 25th, 2018

**OECD 2016:** Developments in Individual OECD and Selected Non-Member Economies. Brazil. Accessed 19/05/2017, <http://www.oecd.org/eco/outlook/economic-forecast-summary-brazil-oecd-economic-outlook-november-2016.pdf>

**OECD 2016b:** Fossil Fuel Support Country Note Brazil. September 2016 [http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/tgb/Brazil\\_OECD\\_Country\\_Brief\\_SEP2016.pdf](http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/tgb/Brazil_OECD_Country_Brief_SEP2016.pdf)

**Pereira 2018:** Informações pessoais fornecidas pela Profª. Elizabeth Duarte Pereira, pesquisadora do Instituto Anima Sociesc do Centro Universitário UNA de Belo Horizonte com base em dados nacionais de diferentes fontes, 2018

**Receita Federal 2017:** <http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/Simulacao-tag.jsp>; Accessed on November 17th, 2017

**Rio de Janeiro State 2017:** <http://www.transparencia.rj.gov.br/sefaz/content/conn/UCMServer/uuid/dDocName %3aWCC188634>; Access on November 17th, 2017

**Saygin, D., Patel, M.K. and Gielen, D.J. 2010:** Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking: An Energy Policy Tool, Working Paper, November 2010. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna

**Saygin 2014:** Saygin D., Gielen D.J., Draeck M., Worrell E., Patel M.K.,: Assessment of

the technical and economic potentials of biomass use for the production of steam, chemicals and polymers, updated calculations by Deger Saygin based on IEA figures for the year 2014

**Serviço Florestal Brasileiro 2017:** Boletim SNIF 2017 Ed. 1, <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>; Access on January 25th, 2018

**Solar Payback 2017:** Energia Termossolar para a Indústria, April 2017 <https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/07/Solar-Heat-for-Industry-Solar-Payback-April-2017.pdf>

**Solar Payback 2018:** A Ferramenta de Análise Econômica SHIP da Solar Payback permite a pré-avaliação econômica e financeira de plantas SHIP nos quatro países parceiros. A ferramenta estará disponível no site HYPERLINK <http://www.solar-payback.com> na segunda metade de 2018

**Trading Economics (2017):** <https://tradingeconomics.com/brazil/government-debt-to-gdp>; Access on November 17th, 2017

**Solarthermalworld.org 2015:** Brazil - Mandatory Certification Postponed to September 2015, <http://www.solarthermalworld.org/content/brazil-mandatory-certification-postponed-september-2015>, February 2015

**Solarthermalworld.org 2017:** 2016 Market Statistics by Newly Founded Industry Association ABRASOL, <http://www.solarthermalworld.org/content/brazil-2016-market-statistics-newly-founded-industry-association-abrasol>, April 2017

**UNFCCC 2016:** Federative Republic of Brazil. Intended Nationally Determined Contribution, September 2016. [http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/pdf\\_presentations/BRAZIL\\_INDC\\_english\\_FINAL.pdf](http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/pdf_presentations/BRAZIL_INDC_english_FINAL.pdf)

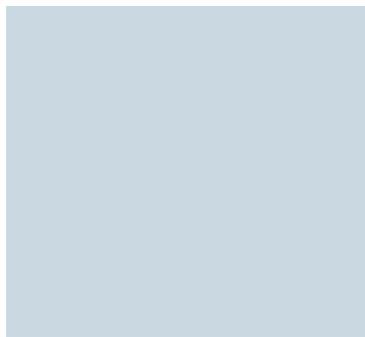
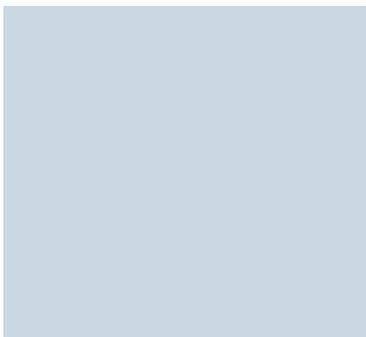
**Viana 2010:** Viana, Trajano Souza: Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil. 2010. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

**Worrell, E. et al. 2009:** Industrial energy efficiency and climate change mitigation, Energy Efficiency 2, pp. 109-123

## IV. Lista de Abreviações

<b>AFEAM</b>	Agência de Fomento do Estado do Amazonas
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>AT</b>	Alta Temperatura
<b>BEN</b>	Balanço Energético Nacional
<b>BNB</b>	Banco do Nordeste do Brasil
<b>BNDES</b>	Banco Nacional do Desenvolvimento Economico e Social
<b>BRL</b>	Moeda Brasileira (Real)
<b>BT</b>	Baixa Temperatura
<b>BTU</b>	British Thermal Unit (Unidade Térmica Britânica)
<b>CEPEA</b>	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)
<b>CHP</b>	Geração combinada de calor e energia (cogeração)
<b>CMPC</b>	Custo Médio Ponderado de Capital
<b>CNI</b>	Confederação Nacional da Indústria
<b>COFINS</b>	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social
<b>CPC</b>	Concentrador Parabólico Composto
<b>CT</b>	Energia Categoria do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT
<b>CVT</b>	Coletor Solar de Tubo de Vácuo
<b>DEA</b>	Diretoria de Estudos EconômicoEnergéticos e Ambientais da EPE
<b>DNI</b>	Irradiação Normal Direta
<b>EJ</b>	Exajoule
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>ESCO</b>	Energy Service Company (Empresa de Serviços de Eficiência Energética)
<b>FGV</b>	Fundação Getúlio Vargas
<b>FINEP</b>	Financiadoras de Estudos e Projetos (empresa pública vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação)
<b>FIRJAN</b>	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
<b>FNMC</b>	Fundo Nacional de Mudança do Clima do Ministério do Meio Ambiente
<b>GHG/GEE</b>	Protocolo para quantificar e gerenciar emissões de Gases do Efeito Estufa – GEE
<b>GN</b>	Gás Natural
<b>GWh</b>	Gigawatthora
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

<b>ICMS</b>	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
<b>II</b>	Imposto de Importação
<b>iNDC</b>	Contribuição Nacionalmente Determinada
<b>IPI</b>	Imposto sobre Produtos Industrializados
<b>IRENA</b>	Agência Internacional para Energias Renováveis
<b>ISS</b>	Imposto Sobre Serviço
<b>MCTIC</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
<b>MEC</b>	Ministério da Educação e Cultura
<b>MM</b>	Milhões
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MMBTU</b>	Representar um milhão de BTUs
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>Mt</b>	Milhões de toneladas (Mega tonelada)
<b>MT</b>	Média Temperatura
<b>MW</b>	Mega Watt
<b>MWh</b>	Megawatt hora
<b>NPV</b>	Net Present Value (vide VPL abaixo)
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer "Fabricante Original do Equipamento"
<b>PEE</b>	Programa de Eficiência Energética
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PIS</b>	Programa de Integração Social
<b>PNMC</b>	Política Nacional sobre Mudança do Clima
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica
<b>ROL</b>	Receita Operacional Líquida
<b>SEBRAE</b>	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
<b>SEEG</b>	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
<b>SHC</b>	Solar Heating Cooling
<b>SHIP</b>	Solar Heat Industrial Processes
<b>Tep</b>	Tonelada equivalente de petróleo
<b>TIR-P</b>	Taxa Interna de Retorno do Projeto
<b>TRS</b>	Tempo de Retorno Simples
<b>UNFCCC</b>	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
<b>USD</b>	Dolares Americanos
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido



Supported by:



Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag



Deutsch-Brasilianische Industrie- und Handelskammer  
Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha

