

# **AValiaÇÃO DO USO POTENCIAL E DISSEMINAÇÃO DO AQUECIMENTO SOLAR NO SETOR TEXTIL – ESTUDO DE CASO PARA AS LAVANDERIAS INDUSTRIAIS DA REGIÃO NORDESTE**

**Elizabeth Marques Duarte Pereira** – elizabeth.pereira@una.br

**Daniel da Mota Neri** - daniel.neri@prof.una.br

**Eduardo Marques Duarte** - eduardo@dj.emp.br

**Eliziane Gonçalves Arreguy** - eliziane@gmail.com

**Fernando Napoleão Alcantara** - fernando.alcantara@prof.una.br

**Lúcio Cesar de Souza Mesquita** - mesquita@thermosolconsulting.com

**Dalila Michelle Silva** - dalila\_michelle@hotmail.com

**Jessica Santos Oliveira** - jessicasantosbh@hotmail.com

Centro Universitário UNA

**Jane Tassinari Fantinelli** - janetassarif@gmail.com

NIPE-Unicamp

**Resumo.** *Esse estudo, parte do projeto Avaliação do uso Potencial e Disseminação do Aquecimento Solar para o Setor Industrial Brasileiro, financiado pela Embaixada Britânica no Brasil, realiza um diagnóstico do setor têxtil nacional para identificação de oportunidades potenciais de uso da energia solar térmica para produção de água quente e vapor de processo. Busca-se, dessa forma, promover a substituição de combustíveis fósseis e de madeira não certificada em setores industriais energeticamente intensivos pelo aquecimento solar. O projeto incluiu pesquisa de campo em unidades do setor, com destaque para as lavanderias industriais do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confeções do Agreste Pernambucano. A partir dos dados levantados junto às lavanderias locais, foram feitas simulações para atender demanda típica de 64.000 litros de água quente a 75°C por dia com o software WATTSUN utilizando os parâmetros das curvas de eficiência térmica de cinco modelos de coletores solares. A área coletora total variou de 1224 m<sup>2</sup> a 1760 m<sup>2</sup>. A análise de viabilidade do uso da tecnologia solar tomou por base a metodologia do custo nivelado de energia (LCOE) para as condições típicas de financiamento do programa BNDES PSI - Inovação e Máquinas e Equipamentos Eficientes, destinado à aquisição de máquinas e equipamentos mais eficientes ou que contribuam para redução de emissão de gases de efeito estufa, como é o caso dos equipamentos solares. Os resultados obtidos mostram que o aquecimento solar é competitivo nas lavanderias industriais do Agreste Pernambucano, que possui excelentes níveis de irradiação solar incidente e busca reduzir drasticamente o uso da madeira não certificada. A análise de sensibilidade dos fatores que influenciam o custo nivelado de energia pode contribuir para definição de melhores condições de financiamento pelas agências nacionais, como o BNDES.*

**Palavras-chave:** *aquecimento solar – aplicações industriais – custo nivelado de energia – análise de sensibilidade*

## **1. INTRODUÇÃO**

A indústria têxtil e de confeccionados é difundida por todo o território nacional, sendo constituída por diversos grupos que produzem ou processam têxteis, para posterior transformação em vestimentas e produtos técnicos e industriais. Compõe-se de empresas de fiação, tecelagem, malharia, beneficiamento de tecidos e fios, confecções e lavanderias das quais 83,3% são microempresas e 14,4% são pequenas empresas (IEMI, 2011). É intensiva em mão de obra e consumo de energia. A cadeia têxtil emprega diretamente cerca de 1,7 milhão de trabalhadores e corresponde a segunda maior geradora de primeiro emprego no país, inferior apenas à construção civil. O setor sofre intensa retração em função das importações provenientes dos mercados asiáticos desde 2010.

Dentre as oportunidades potenciais de uso da energia solar na geração de vapor, destaca-se o pré-aquecimento da água de processo, com uso de coletores planos de baixa temperatura, e a geração efetiva de vapor em concentradores solares tipo calhas parabólicas ou refletores lineares de Fresnel. A adoção dessas tecnologias refletiria em significativo ganho ambiental, impactando em toda a cadeia do ciclo de vida da biomassa, desde o plantio de árvores, corte, transporte da lenha, estoque e geração de gases de efeito estufa.

Destaca-se, ainda, que os resultados desse trabalho podem ser aplicados em outros setores industriais, visto que processos que envolvem temperaturas de até 90°C como limpeza, clareamento, secagem, destilação, cozimento, beneficiamento, entre outros, utilizariam tecnologia produzida e comercializada no Brasil (coletores planos simples, avançados e de tubo a vácuo).

## 2. OBJETIVOS

O estudo realizado, parte do projeto *Avaliação do Uso Potencial e Disseminação do Aquecimento Solar para o Setor Industrial Brasileiro*, financiado pela Embaixada Britânica no Brasil, tem como objetivo geral avaliar as condições para substituição de combustíveis fósseis e de madeira não certificada no setor têxtil, com ênfase aos processos de lavagem industrial na região do Agreste Pernambucano pelo aquecimento solar.

## 3. DIAGNÓSTICO DA DEMANDA DE ENERGIA TÉRMICA NO SETOR TÊXTIL

Na primeira etapa do projeto foi feita uma ampla revisão bibliográfica sobre a indústria têxtil para a elaboração de um diagnóstico do uso potencial da energia solar térmica no setor e sobre as tecnologias termossolares disponíveis no mercado brasileiro e internacional.

A cadeia têxtil inicia na fiação, seguida da tecelagem e malharia (construção do tecido) com consumo essencialmente de energia elétrica, utilizada como força motriz de acionamento das máquinas, ar comprimido, sistemas de aspiração para remoção de restos de fibras e, ainda, para a iluminação e ar ambiental industrial. Os setores produtivos têxteis com maior peso no consumo de energia são os acabamentos e o tingimento, quando comparados aos setores da fiação, tecelagem e confecção. As etapas de acabamento e tingimento têm uma forte componente térmica, o que demanda a implementação de medidas de conservação de energia (RECET, 2007) e de utilização de outras fontes energéticas.

Dentro dessas subcadeias, os processos de engomagem de fios, desengomagem, alvejamento, secagem e tingimento demandam grandes quantidades de vapor e água quente, conforme mostrado na Tab. 1, para uma indústria que opera 24 horas por dia e utiliza biomassa para gerar vapor saturado a uma temperatura de 180°C. Estima-se que o custo médio da tonelada de vapor é da ordem de R\$ 40,00, ou seja, R\$ 54,00/MWh<sub>th</sub> (mega watts térmicos).

Tabela 1 – Demanda de energia térmica típica em indústria do setor têxtil

Dados do processo	Engomagem	Desengomagem	Alvejamento	Secagem	Tingimento
Temperatura	91/150°C	85/150°C	85/150°C	150°C	85/150°C
Vazão de água quente	3 t/h	5t/h	4t/h	1,5t/h/maq	3t/h

No caso do jeans, após os processos de beneficiamento, o produto se dirige às lavanderias industriais, com expressiva atuação do *Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções do Agreste Pernambucano* que abrange 13 municípios, com destaque para a participação de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim e Toritama.

O Estudo Econômico do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções do Agreste Pernambucano, divulgado pelo SEBRAE em 2013, mostra que somente as empresas de Toritama consomem 14% de toda a produção brasileira do tecido.

Na região coberta por esse APL, estima-se que haja cerca de 300 lavanderias industriais, regularmente estabelecidas e clandestinas, que realizam operações de desengomagem, lavagem, tingimento, alvejamento, amaciamento, estonagem e processos para passar peças de jeans. Na totalidade dessas empresas a produção de água quente para os processos de beneficiamento é feita pela injeção direta de vapor em tanques de água, inicialmente à temperatura ambiente, e que devem atingir de 60°C a 90°C, dependendo do processo e da empresa.

Das lavanderias pesquisadas (ITEP, 2009), apenas 4% utilizam gás para a produção de vapor. As demais utilizam lenha, em muitos casos de madeira não reflorestada, com consumo de 40 m<sup>3</sup> a 80 m<sup>3</sup> de lenha e cerca de 80 m<sup>3</sup> a 150 m<sup>3</sup> de água por dia, conforme mostrado na Fig. 1 e na Fig. 2. O reuso de água nessas lavanderias é da ordem de 40%.



Figura 1 - Lenha nativa armazenada (a) e caldeira (b) em uma lavanderia industrial

Fonte: os autores

Segundo informações obtidas durante pesquisa de campo realizada pelos autores, o custo da lenha na região varia de R\$50,00/m<sup>3</sup> a R\$70,00/m<sup>3</sup>. Considerando-se a eficiência média das caldeiras de 65%, o custo específico da energia varia no Agreste Pernambucano de R\$61,00/MWh a R\$85/MWh, superior de 14% a 57% ao valor da biomassa declarado por indústrias têxteis da região Sudeste.

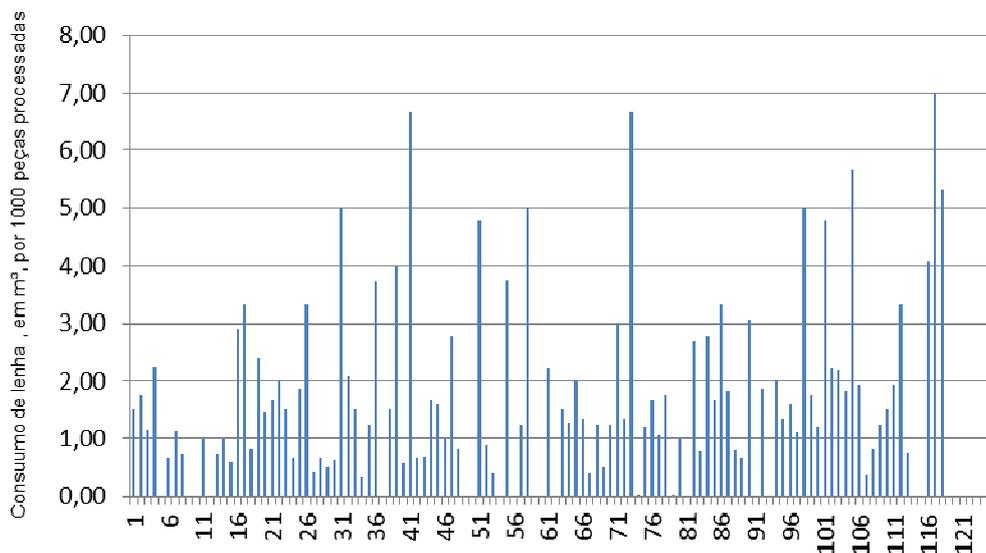


Figura 2 - Consumo de lenha por 1000 peças processadas em 124 lavanderias do APL de Confecções do Agreste Pernambucano. Fonte: ITEP (2009)

#### 4. SIMULAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR - SAS

Para cálculo da área de coletores solares para atendimento da demanda de energia são necessárias simulações a partir de parâmetros pré-estabelecidos. As condições de consumo foram determinadas pela análise de carga típica de uma lavanderia pertencente ao Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções do Agreste Pernambucano e são apresentadas na Tab. 2.

Para cálculo da irradiação solar incidente no plano dos coletores e avaliação da área de coletora necessária para aquecimento de água, realizou-se um conjunto de simulações numéricas no software WATTSUN (2009). Foram selecionados cinco modelos de coletores, representando diferentes tecnologias e faixas de desempenho, a saber: dois coletores planos e três coletores de tubos evacuados. Os parâmetros da curva de eficiência de cada coletor solar, referenciados à sua área externa, e os resultados da simulação são apresentados na Tab. 3.

Tabela 2 - Parâmetros gerais usados nas simulações computacionais

PARÂMETRO	VALOR
IRRADIAÇÃO GLOBAL NO PLANO DO COLETOR*	1.709,9 kWh/m <sup>2</sup> .ano
ORIENTAÇÃO DOS COLETORES	Norte
INCLINAÇÃO DOS COLETORES	10°
CARGA TÉRMICA	1.363 MWh/ano
DEMANDA DIÁRIA	64.000 litros
TEMPERATURA ÁGUA FRIA	25°C
TEMPERATURA ÁGUA QUENTE	75°C
VOLUME DO RESERVATÓRIO TÉRMICO DO SAS	25.600 litros
PERFIL DE CONSUMO	Constante de 8h às 18h
INTERLIGAÇÃO HIDRÁULICA COLETORES	1 ligação em série, bancos de 5 coletores

\*WATTSUN a partir do METEONORM

Tabela 3 - Coeficientes da curva de eficiência dos coletores solares e resultado da área coletora para fração solar de 70%

COLETOR	DESCRIÇÃO	$\eta_o$	a	b	Área externa para fração solar de 70% (m <sup>2</sup> )
1	Coletor plano com tinta preta e baixo isolamento térmico	0,712	5,77	-	1760
2	Coletor plano com superfície seletiva e maior isolamento térmico	0,769	3,614	0,01358	1297
3	Coletor de tubo evacuado tipo Sydney com fluxo direto	0,456	1,3509	0,0038	1557
4	Coletor de tubo evacuado com vidro único e tubo de calor	0,547	1,1466	0,00547	1450
5	Coletor de tubo evacuado tipo Sydney com fluxo direto e refletor CPC	0,578	0,8277	0,00372	1224

## 5. CUSTO NIVELADO DE ENERGIA – LCOE

O custo nivelado de energia – *LCOE* – é um método utilizado para avaliação de projetos de investimentos ou desenvolvimento de políticas através de custos de capital, operação e manutenção (O&M), desempenho e custos de combustível convencional complementar, não incluindo itens como condições de financiamento, taxas de atratividade ou custos associados à degradação dos equipamentos.

O *LCOE* consiste na soma algébrica dos custos e dos benefícios líquidos do projeto durante sua vida econômica, trazidos à data da atualização do fluxo de caixa, e utilizando a taxa mínima de atratividade (*r*) do segmento de negócio (BASTOS, 2006).

A equação utilizada para o cálculo do *LCOE* para as tecnologias de energia renováveis recomendada pela *International Renewable Energy Agency - IRENA* (2012) é mostrada na Eq. (1):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

onde

$I_t$ : gastos com investimentos no ano *t*;  $M_t$ : gastos com operação e manutenção ao longo do ano *t*;  $F_t$ : gastos com combustível no ano *t*;  $E_t$ : geração de energia no ano *t*; *r*: taxa mínima de atratividade e *n*: tempo de vida útil da instalação avaliada.

Considerando-se os dados de simulação para o coletor 2, apresentados na Tab. 3, o custo de investimento (CAPEX) da instalação solar foi estimado em R\$ 627.220,00 para um tanque de armazenamento de água quente com capacidade de 25.600 litros e custo de instalação de 10%. O custo de operação e manutenção (OPEX) foi definido igual a 2% ao ano do investimento inicial e a taxa mínima de atratividade de 0,5% ao mês, ou seja, 6,17% ao ano para um prazo total de financiamento de 12 anos com juros de 3,5% aa e dois anos de carência.

Tais condições, consideradas bastante atrativas para o perfil das lavanderias industriais, são previstas na linha de financiamento BNDES PSI - Inovação e Máquinas e Equipamentos Eficientes, que incluem a aquisição de máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para redução de emissão de gases de efeito estufa, como é o caso dos equipamentos solares. Nessa linha, o valor mínimo para apoio é de R\$ 1 milhão, em operações diretas, sendo que nas aplicações indiretas, não existe tal limite (exceto aquelas realizadas junto à FINEP). A taxa de juros é fixa e igual a 3,5% ao ano. O prazo total, que se constitui em ponto crucial para a viabilidade dos investimentos, é de até 12 anos, incluídos de 3 a 24 meses de carência, para financiamento de equipamentos eficientes.

O cálculo do *LCOE* considera essas condições de financiamento, aumento anual da lenha de 3% nos próximos 25 anos e uma fração solar do SAS igual a 70%, ou seja, o consumo de lenha é reduzido para 30% do valor atual, de modo a complementar a demanda energética da empresa. O custo nivelado de energia calculado foi de R\$61,5/MWh, similar ao menor valor praticado para a lenha na região do Agreste Pernambucano.

Nesse estudo, a faixa atual de valores para a energia gerada pela lenha, de R\$61/MWh a R\$85/MWh, é considerada como base de cálculo, visto que a viabilidade técnica e as condições de financiamento para novas tecnologias devem apresentar *LCOE* inferiores.

A seguir, avalia-se a sensibilidade do custo nivelado de energia para o aquecimento solar em relação ao desembolso inicial e ao custo atual da lenha praticado na região, para diferentes expectativas de aumento da lenha durante a vida útil dos equipamentos solares (25 anos). O gráfico de Fig. 3 mostra que uma variação de 40% no custo

atual da lenha acarreta um acréscimo de 14% no valor do *LCOE*, enquanto que um desembolso inicial de 10% do CAPEX aumenta o *LCOE* em 11,4%, para incrementos anuais do preço da lenha entre 3% e 10%.

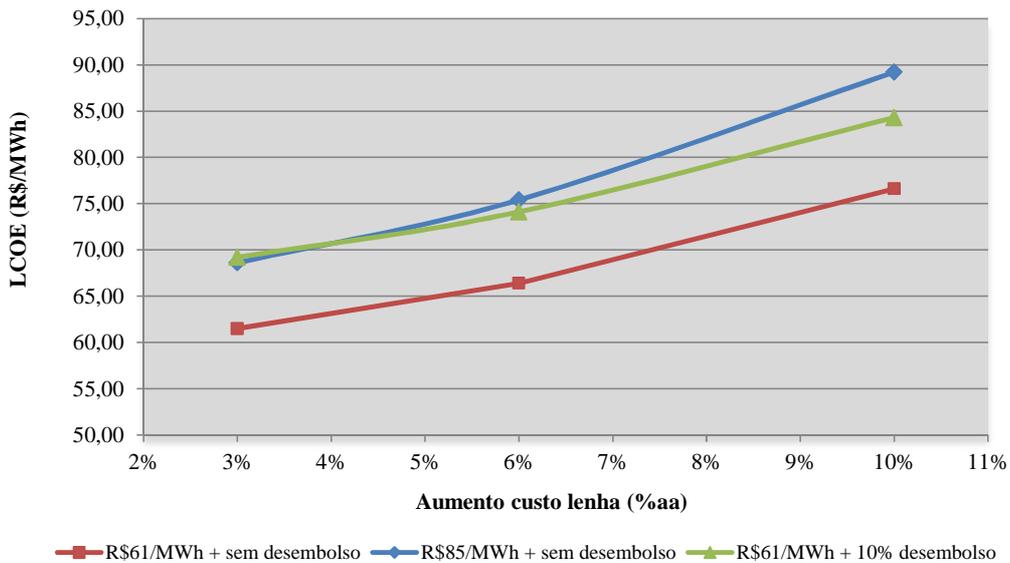


Figura 3 - Análise de sensibilidade do *LCOE* em função do custo inicial da lenha e das condições de desembolso para um prazo de financiamento de 12 anos

Fonte: os autores

Posteriormente, foi avaliada a influência do prazo total de financiamento entre 12 anos e 20 anos sobre o custo nivelado de energia para um valor da lenha de R\$61,00/MWh. Os resultados, mostrados na Fig. 4, evidenciam que, com aumento de 12 anos para 16 anos nesse prazo, tem-se uma redução média no *LCOE* de 9,6%, enquanto que, de 16 anos para 20 anos de financiamento, o custo nivelado de energia é reduzido em 6,4%.

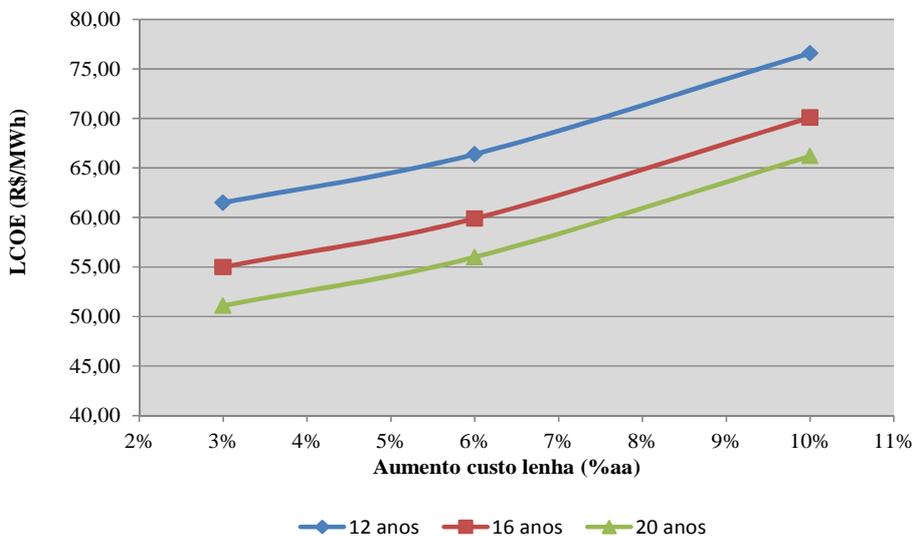


Figura 4 - Análise de sensibilidade do *LCOE* para prazos de financiamento de 12 anos a 20 anos. Fonte: os autores

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para o custo nivelado de energia apontam para a competitividade técnica e econômica da substituição de biomassa no setor têxtil, notadamente nas lavanderias industriais do Agreste Pernambucano, pelo aquecimento solar.

A análise de sensibilidade dos fatores que influenciam o custo nivelado de energia podem ser orientativos para definição de condições de financiamento pelas agências nacionais. Por exemplo, recomenda-se que a participação máxima do BNDES seja mantida em 100% e que o prazo total de financiamento seja ampliado para 16 anos, pelo menos. Deve-se evidenciar que prazos de até 20 anos têm sido oferecidos para empreendimentos solares em leilões de energia no país.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Embaixada Britânica, na pessoa do Sr. Silvio Aquino, pelo financiamento do projeto e suporte em todas as suas etapas e aos senhores Helmut Muniz e Adriano José do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) pela parceria e apoio logístico, imprescindíveis para realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, B. G. (2006). **Manual de Análise Empresarial de Projetos de Investimentos**. Petrobras.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **BNDES PSI - Inovação e Máquinas e Equipamentos Eficientes**. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/Programas\\_e\\_Fundos/Psi/psi\\_inovacao.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/Psi/psi_inovacao.html). Acesso em 25 de jul de 2013.
- IEMI. Instituto de Estudos e Marketing Industrial. **Relatório setorial da indústria têxtil brasileira: Brasil têxtil 2011**. São Paulo, 2011.
- IRENA. International Renewable Energy Agency. **Concentrating Solar Power – Renewable Energy Technologies, Cost Analysis Series**, Working Paper. 2012. Disponível em: [www.irena.org](http://www.irena.org). Acesso em 19 de jun 2013.
- ITEP. Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Sistema de Informações Geográficas das Lavanderias Industriais do Agreste Setentrional e Central – LavaGIS. 2009. Comunicação pessoal.
- RECET. Associação dos Centros Tecnológicos de Portugal. **Guia de boas práticas de medidas de utilização racional de energia (URE) e energias renováveis (ER)**. Portugal: RECET/CITEVE/CTCV/CTIC. 2007. Disponível em: [http://efinerg.aeportugal.pt/Areas/Projecto/Documentos/Guia\\_URE\\_FER\\_RENOVARE.pdf](http://efinerg.aeportugal.pt/Areas/Projecto/Documentos/Guia_URE_FER_RENOVARE.pdf). Acesso em 12 de dez de 2012.
- SEBRAE. **Estudo Econômico do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções do Agreste Pernambucano, 2012**. Maio, 2013. Disponível em: [http://www.sebrae.com.br/uf/pernambuco/downloads/estudos-e-pesquisas/copy2\\_of\\_aprenda/estudo-economico-do-apl-de-confeccoes-do-agreste.pdf](http://www.sebrae.com.br/uf/pernambuco/downloads/estudos-e-pesquisas/copy2_of_aprenda/estudo-economico-do-apl-de-confeccoes-do-agreste.pdf). Acesso em 12 de dez. de 2013.
- WATTSUN. **Computer Simulation Active Solar Systems**. CANMET Energy Technology Centre, 2009. Disponível em: <http://www.soldist.com/products/racking/wattsun>. Acesso em 24 de ago de 2013.

## EVALUATION OF THE POTENTIAL USE AND DISSEMINATION OF SOLAR HEATING IN TEXTILE SECTOR - CASE STUDY FOR INDUSTRIAL LAUNDRIES IN BRAZIL/REGIÃO NORDESTE

**Abstract.** *This study, part of the project Evaluation of Potential Use and Dissemination of Solar Heating for the Brazilian Industrial Sector, funded by the British Embassy in Brazil, included a diagnosis of the Brazilian textile industry to identify potential opportunities to use solar thermal energy to produce hot water and process steam. The aim is to promote the substitution of fossil fuels and non-certified timber in energetically intensive industries by solar heating. The project included field research units in the sector, especially for industrial laundries of Local Productive Arrangement (APL) of Pernambuco. From the data collected from the local laundries, simulations were made to attain typical demand of 64,000 liters of hot water per day at 75°C, with WATSUN software using the parameters of the curves of thermal efficiency of five models of solar collectors. The total collecting area ranged from 1224 m<sup>2</sup> to 1760 m<sup>2</sup>. The feasibility analysis of the use of solar technology was based on the methodology of the levelized cost of energy (LCOE) for conditions typical of the BNDES PSI Program - Innovation and Efficient Machinery and Equipment, for the purchase of machinery and equipment more efficient or that contribute to reducing the emission of greenhouse gases, such as solar equipment. The results show that solar heating is competitive in industrial laundries in Pernambuco, where has excellent levels of solar irradiation incident and is necessary drastically to reduce the use of non-certified wood. The sensitivity analysis of the factors influencing the level cost of energy can contribute to defining the conditions for financing by national agencies, such as the BNDES.*

**Keywords:** solar water heating - industrial applications - levelized energy cost - sensitivity analysis