

# CONCENTRADORES SOLARES FRESNEL APLICADOS A PRODUÇÃO DE CALOR PARA SECAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

**Othon Lucas Procópio** – othon.procopio@gmail.com  
**Larissa F. N. Idefonso** – larissa\_fernanda@hotmail.com  
**Jose Henrique Martins Neto**– henrique@des.cefetmg.br  
**Ivan M. Corgozinho** – ivanmage-la@yahoo.com.br  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
**Santhiagu Lucas Procópio** – santhiagu@live.com.br  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**Resumo.** Estudos recentes têm indicado o uso de Concentradores Solares do tipo Refletor Linear de Fresnel (RLF), como sendo uma ótima opção para a produção de calor de média e alta temperatura visando atender processos térmicos industriais. Este tipo de concentrador apresenta vantagens em relação ao do tipo convencional "coletor de calha parabólica" (CCP) se constituindo numa tecnologia mais simples, de fácil construção, instalação e manutenção, além de permitir o uso de água pressurizada nas fases líquida ou vapor como fluido de trabalho. Esse trabalho apresenta resultados da inserção de um sistema solar constituído por coletores do tipo (RLF) para secagem de resíduo sólido urbano na cidade de Salvador, com base em uma planta de tratamento de Resíduo Sólido Urbano (RSU), referente ao Projeto Natureza Limpa, em substituição ao carvão vegetal utilizado atualmente como fonte de energia no processo de secagem. A simulação foi realizada utilizando a plataforma TRNSYS. Os resultados da simulação mostram que o sistema solar (RLF) dimensionado atende a aproximadamente 38% da demanda térmica, gerando uma economia anual de 57,5 toneladas de carvão vegetal que pode ser destinado para uso em aplicações mais nobres.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Refletor Linear de Fresnel, Resíduo Sólido Urbano.

## 1. INTRODUÇÃO

Os coletores solares concentradores do tipo Refletor Linear de Fresnel (RLF) são compostos por refletores lineares instalados próximos ao solo e por receptores absorvedores localizados acima do campo solar, onde a radiação solar incidente é concentrada. Os coletores do tipo (RLF) diferem do tipo "Coletor de Calha Parabólica" (CCP) devido a geometria dos refletores, que podem ser planos, levemente esféricos ou levemente parabólicos, e também pelo tipo do receptor absorvedor que pode ser de cavidades horizontal, vertical ou triangular, ou ainda utilizar um refletor secundário do tipo Coletor Parabólico Composto (CPC) (J. Montes *et al*, 2014; Zhu *et al*, 2014). Os refletores lineares podem ser dispostos no campo solar de três formas diferentes, correspondendo aos tipos: torre central, RLF compactos parcialmente alternados e LFR totalmente alternados (J. Montes *et al* 2014).

O primeiro sistema de RLF foi patenteado e construído em 1964 pela FRANÇIA na Itália, entretanto, somente após a publicação do relatório do Departamento de Energia dos Estados Unidos em 1970, a respeito da tecnologia Fresnel, é que esta começou a despertar interesse no restante do mundo. Inicialmente o RLF foi utilizado para produção de calor a baixa temperatura, em torno de 180 °C a 300 °C com tubos não evacuados (Zhu, 2014).

A tecnologia mais utilizada para concentração da energia solar é a CCP que já se apresenta como uma tecnologia consolidada e comprovada. Atualmente, estão em operação 80 usinas utilizando o conceito (CCP), 21 usinas usando o conceito de torre central, duas usando o conceito de prato paraboloide e 12 utilizando o conceito RLF (NREL, 2014).

Os diversos componentes dos sistemas (RLF) têm sido estudados visando melhorar a tecnologia. Manikumar *et al* (2014) avaliaram por meio de simulações computacionais e experimentos o desempenho térmico de receptores absorvedores do tipo multi-tubo com e sem aletas, inseridos em cavidade do tipo trapezoidal com fechamento de vidro. Os coeficientes globais referentes às perdas térmicas reportados por Manikumar *et al* (2014) para receptores "com" e "sem" aletas metálicas conectando os tubos pela parte inferior foram 5 e 6 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>, respectivamente, para uma temperatura de operação dos receptores em torno dos 140 °C. S. Sahoo *et al* (2013) conduziram experimentos similares encontrando valores do coeficiente global de perdas térmicas em torno de 4 a 5 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> para uma temperatura de operação dos tubos de 300 °C, ressaltando que para o receptor trapezoidal as perdas por radiação são mais significativas que as perdas convectivas.

J. Montes *et al* (2014), conduziu análises comparativas para as várias tecnologias de concentração solar, por meio de simulações computacionais visando avaliar a eficiência ótica, o sombreamento e bloqueamento e a eficiência térmica, concluindo que o campo solar tipo torre central é o que possui maior eficiência dentre as três tecnologias avaliadas (i.e., CCP, RLF, torre central), estando os dados em conformidade com os resultados apresentados pelo campo solar da planta solar de FRESDEMO, localizada na cidade de Almeria, na Espanha.

O sistema (RLF) comparado ao sistema (CCP) tem a vantagem dos refletores primários estarem instalados próximos ao solo e desta forma resistirem a altas cargas de vento (Zhu *et al*, 2014; BINE, 2014). Outra vantagem dos

(RLF) é o fato destes requererem estruturas de sustentação e fundações mais leves e simples, o que impacta diretamente na facilidade de construção, produção e processamento, contribuindo para a redução dos custos (Bermejo *et al*, 2010) tornando a montagem da instalação mais simples. Essas características permitem que os campos solares utilizando o conceito de Fresnel ocupem menores áreas do solo, e inclusive possa ser instalado sobre telhados, como a planta de demonstração instalada na escola de Engenharia de Seville, Espanha.

Outra importante vantagem dos (RLF), deve-se ao fato do seu absorvedor não se movimentar, como ocorre no sistema CCP, dessa forma, esses sistemas demandam menos juntas móveis, o que possibilita a operação do fluido de trabalho com pressões mais elevadas, o que favorece a geração direta de vapor nos coletores, aumentando a eficiência global do sistema de geração de potência (BINE, 2014; Popov, 2011). Nos sistemas (RLF) os refletores possuem um mecanismo para seguimento do sol de forma a direcionar a radiação solar incidente no receptor absorvedor. Esse movimento geralmente ocorre em um único eixo, podendo ser o eixo "norte-sul" que requer ajustes intermitentes para compensar a declinação solar ou eixo "leste-oeste" que requer ajustes constantes ao longo do dia para compensar o movimento aparente do sol (Choudhury and Sehgal, 1986).

Apesar de todas essas vantagens, referentes à parte estrutural, simplicidade construtiva, instalação, manutenção e posicionamento dos refletores próximos ao solo, os coletores do tipo (RLF) apresentam algumas desvantagens como o sombreamento no início da manhã e final da tarde, gerando uma produção de energia mais irregular comparada aquela dos CCP (BINE, 2014). O rendimento ótico dos coletores (RLF) também é inferior aos dos coletores (CCP) devido aos maiores ângulos de incidência transversais o que acarreta maiores perdas de cosseno (Zhu, 2014; Morin, 2012).

Morin *et al* (2012), realizaram um estudo comparativo entre os sistemas RLF e CCP, com geração direta de vapor, para produção de eletricidade e concluíram que o investimento inicial das usinas solares utilizando o conceito (RLF) , deve se situar entre 78 e 216 euros/m<sup>2</sup> para obter uma paridade com o custo da energia elétrica gerada pelas usinas de conceito CCP, sendo o investimento inicial dessa usina de aproximadamente 275 euros/m<sup>2</sup>. Consequentemente, para gerar a mesma potência elétrica a área de abertura dos coletores utilizando o conceito (RLF) deve ser 35,8% maior do que aquela requerida com o uso de coletores do tipo CCP, considerando o mesmo custo da energia elétrica produzida.

BINE (2014) e Mori *et al* (2012) mencionaram que a geração de energia elétrica por meio de sistemas RLF é viável quando o investimento inicial desta usina representar aproximadamente 70% do custo de uma usina de (CCP).

No que diz respeito à aplicação de sistemas (RLF) para obtenção de calor pode-se mencionar o trabalho de Bermejo *et al* (2010), que reportam a produção de água gelada para um sistema de ar condicionado utilizando um Chiller de duplo efeito do tipo absorção com capacidade nominal de resfriamento de 174 kW, tendo como fonte quente água pressurizada numa temperatura de aproximadamente 180 °C produzida por coletores do tipo (RLF) apresentando uma eficiência térmica média de 35%. Nesta aplicação, foi possível suprir até 75% da energia total demandada por meio da energia solar. Popov (2011) também avaliou a inserção de campos solares do tipo (RLF) em usinas termoeletricas movidas a carvão, sendo o campo solar capaz de suprir até 23% da demanda de energia dessas plantas com uma eficiência térmica média de 39% nas horas de melhor disponibilidade de energia solar nos dias por ele avaliados.

Diante do exposto, a produção de calor por meio de coletores do tipo (RLF) foi selecionada como o tema de estudo desse trabalho para ser incorporada a uma usina de tratamento de Resíduos Sólidos (RSU) em Salvador, baseada no modelo do Projeto Natureza Limpa, situado na cidade de Unaí, no norte de Minas Gerais. A utilização dos coletores do tipo RLF se justifica devido a sua melhor eficiência na faixa de temperatura utilizada na usina (120 °C), comparada à eficiência térmica de outros coletores, como os coletores solares a vácuo.

## 2. O PROJETO NATUREZA LIMPA

O Projeto denominado "Natureza Limpa" foi desenvolvido pela TJMC Empreendimentos, para atender o disposto na Lei n° 12.305 de 2010, se constituindo numa usina para conversão de "Resíduo Sólido Urbano" (RSU) em carvão ecológico com mínimo impacto ambiental. A Fig. 1 apresenta o fluxograma da usina de tratamento de RSU, sendo os pontos em destaques os componentes que demandam calor e que poderiam ser atendidos com a tecnologia solar de RLF. Atualmente, a fonte de calor utilizada é proveniente da queima de parte do carvão vegetal ecológico que é produzido no local e de demais resíduos advindos do processo de reciclagem do RSU, passíveis de serem queimados. Nesse trabalho será analisada e simulada a substituição da fonte de energia proveniente do carvão vegetal pela energia solar no equipamento denominado "forno secador" (Ponto 03) mostrado na Fig. 1, que tem como função, retirar 20% da água contida inicialmente no RSU, fornecendo energia para evaporar a água. O forno secador possui capacidade nominal para secagem de 5 t/h de RSU sendo constituído de uma câmara de combustão com controle de temperatura de trabalho dentro do forno de 120 °C.

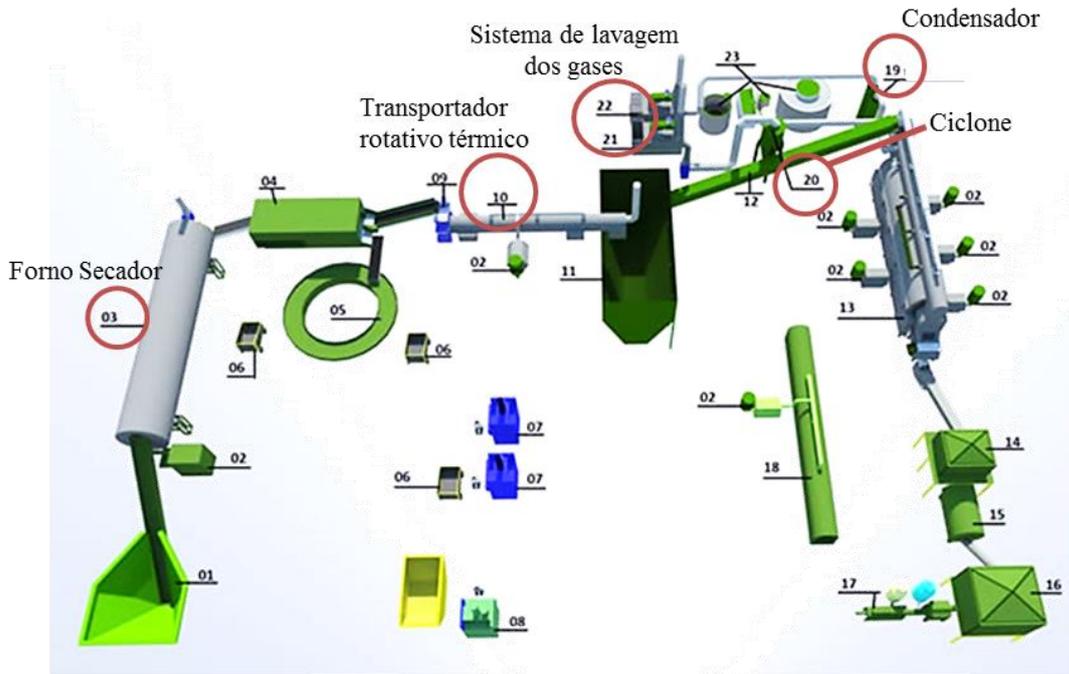


Figura 1 - Fluxograma da usina de tratamento de RSU do projeto natureza limpa  
 Fonte: <http://naturezalimpa.com/>

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho constou da utilização da plataforma TRNSYS (TRNsient System Simulation) para simulação computacional de um sistema híbrido para retirada da umidade do RSU no forno secador, utilizando como fontes de calor a energia solar e a queima de carvão vegetal. O objetivo foi avaliar a economia de carvão vegetal devido à aplicação da energia solar, utilizando um campo solar composto de coletores concentradores do tipo RLF. O "forno secador", apresentado na Fig. 1, opera com uma temperatura interna de 120 °C para desumidificar em 20% o RSU, ou seja, evaporar 20% da massa de água contida inicialmente no RSU. Nesse trabalho admitiu-se uma vazão mássica de RSU entrando no forno igual a 5000 kg/h (capacidade nominal do forno), com um teor de umidade em massa de 40% (SEDU, 2001), ou seja, 40% da massa total do resíduo sólido é composta por água em estado líquido. Logo, o objetivo é conceber um sistema de concentração Fresnel que seja capaz de produzir calor suficiente para atender a este processo de secagem. Foram utilizados todos os dados dos concentradores solares Fresnel, desenvolvidos e ofertados pela Industrial Thermal Solutions (2015). A Fig. 2, apresenta um diagrama da planta simulada.

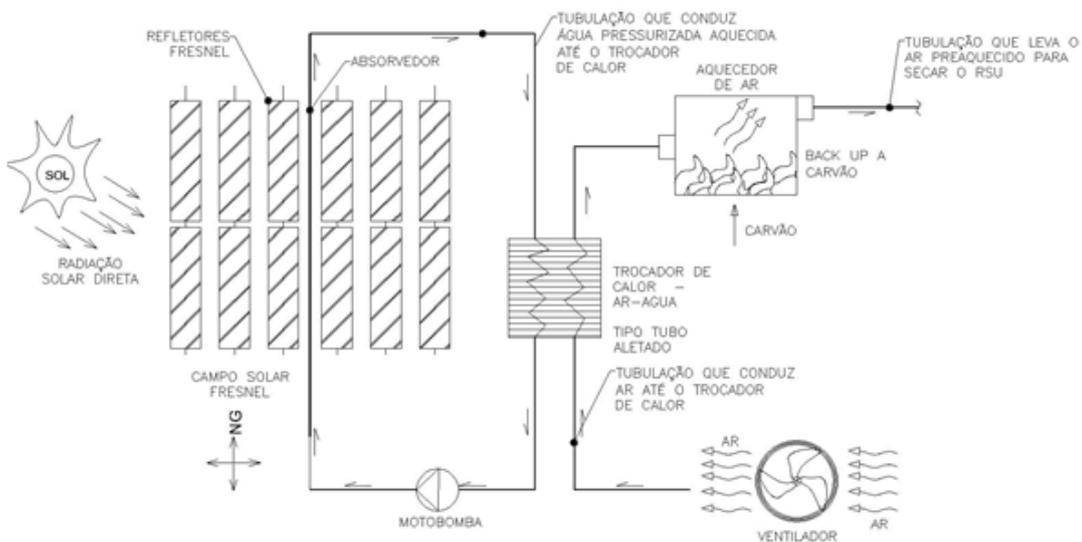


Figura 2 – Diagrama de operação da planta simulada no TRNSYS

A carga térmica requerida pelo processo de secagem e a vazão mássica de ar que passa pelo trocador de calor (ar-água) sendo insuflada no forno são determinadas através balanços de energia considerando o forno como volume de controle, conforme a Eq. (1).

$$\dot{Q}_{forno} = \dot{m}_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot (T_{ar,s} - T_{ar,e}) = \frac{C_{forno} \cdot T_u \cdot F_D \cdot Lv_{agua}}{\eta_{secagem}} \quad (1)$$

Onde:

$\dot{Q}_{forno}$  – Taxa de calor necessário para evaporar 20% da quantidade em massa da água contida no RSU (W);

$\dot{m}_{ar}$  – Vazão mássica de ar (fluido frio) que deve entrar no trocador de calor aletado para absorver calor do fluido de trabalho do campo solar (kg/s);

$c_{p,ar}$  – Calor específico do ar (fluido frio) escoando através do trocador de calor aletado e avaliado a temperatura de 120 °C e a pressão de 101,3 Kpa, (kJ/kg-K);

$T_{ar,e}$  – Temperatura inicial do ar entrando no trocador de calor aletado, igual a 30 °C;

$T_{ar,s}$  – Temperatura de saída mínima desejada para o ar do trocador de calor aletado, igual a 120 °C;

$C_{forno}$  – Capacidade de processamento de RSU do forno secador, igual a 1,39 kg/h (5000 kg/h);

$T_u$  – Teor de umidade em massa presente no RSU, igual a 40%;

$F_D$  – Fator de desumidificação, representa a porcentagem da água presente no RSU que se deseja evaporar, e é igual a 20%;

$Lv$  – Calor latente de vaporização da água, igual 2442 kJ/kg;

$\eta_{secagem}$  – Eficiência da transferência de calor do ar quente para o RSU dentro do forno desumidificador, igual a 80%.

A vazão mássica de água pressurizada que flui no circuito do sistema solar e trocador de calor (ar-água) é obtida de um balanço de energia no trocador de calor, conforme a Eq. (2).

$$\dot{Q}_{forno} = E \cdot \dot{m}_{agua} \cdot c_{p,agua} \cdot (T_{\acute{a}gua,e} - T_{\acute{a}gua,s}) \quad (2)$$

$E$  – Eficiência térmica do trocador de calor, igual a 0,7;

$C_{p-\acute{a}gua}$  – Calor específico da água (fluido quente) escoando através do trocador de calor tipo tubo aletado, avaliado com a água na temperatura de 130 °C e título igual a zero (água pressurizada), e é igual a 4,2 kJ/kg-K;

$T_{\acute{a}gua,e}$  – Temperatura inicial da água entrando no trocador de calor aletado, igual a 130 °C;

$T_{\acute{a}gua,s}$  – Temperatura de saída desejada para a água do trocador de calor aletado, igual a 50 °C.

A área de transferência de calor do trocador de calor é determinada com a Eq. (3) e Eq. (4) conhecendo-se  $\dot{Q}_{forno}$ , as temperaturas do ar e água entrando e saindo do trocador de calor, e estimando-se (U).

$$\dot{Q}_{forno} = F_c U A \Delta T_{lm} \quad (3)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{\acute{a}gua,e} - T_{ar,s}) - (T_{\acute{a}gua,s} - T_{ar,e})}{\ln \left[ \frac{(T_{\acute{a}gua,e} - T_{ar,s})}{(T_{\acute{a}gua,s} - T_{ar,e})} \right]} \quad (4)$$

Onde:

$F_c$  – Fator de correção do fluxo cruzado do trocador de calor de tubo aletado, aplicado a o fluxo cruzado de um trocador de calor em contra fluxo, e é igual a 0,5;

$U$  – Coeficiente global de transferência de calor entre água líquida e ar, e igual a 25 W/m<sup>2</sup>-K, Incropera (2013).

$A$  – Área global de transferência de calor (m<sup>2</sup>);

$\Delta T_{lm}$  - Diferença média logaritma

A área de abertura dos coletores do campo solar é determinada da definição do rendimento térmico do campo solar, conforme Eq. (5).

$$Ap = \frac{\dot{Q}_{forno}}{\eta_{t,max} G} \quad (5)$$

$Ap$  – Área de abertura dos espelhos refletores do campo solar Fresnel;

$G$  – Irradiação direta incidente no plano de abertura dos espelhos refletores do campo solar Fresnel, assumida igual a 900 W/m<sup>2</sup>, para maiores detalhes ver Industrial Thermal Solutions (2015);

$\eta_{t,max}$  – Eficiência térmica máxima do campo solar, com base na área de abertura dos refletores, igual a 62,4%, para maiores detalhes ver Industrial Thermal Solutions (2015);

Com as Eq. (6), (7), (8), (9) determina-se as variáveis de desempenho térmico do campo solar, a saber, fator de remoção do coletor, coeficiente global de perdas térmica e concentração Geométrica, necessários à simulação no TRNSYS.

$$\eta_t = F_r \tau \alpha \rho \cdot \gamma - \frac{F_r U_L}{C} (T_{fm} - T_a) \quad (6)$$

$$C = \frac{A_p}{A_{abs}} \quad (7)$$

$$A_{abs} = \pi D_{abs} L_{abs} \quad (8)$$

$$Q_{loss} = U_L \cdot \pi \cdot D_{abs} \cdot (T_{abs} - T_a) \quad (9)$$

$F_r$  – Fator de remoção de calor do absorvedor do campo Fresnel (adm);

$\tau$  – Transmissividade da cobertura de vidro do tubo absorvedor evacuado, igual a 0,97, Schott (2015);

$\alpha$  – Absortividade da cobertura do tubo interno do absorvedor, igual a 0,95, Industrial Thermal Solution (2015);

$\rho$  – Refletividade dos espelhos absorvedores, igual a 0,95, Industrial Thermal Solution (2015);

$\gamma$  – fator de intercepção admitido igual a 1;

$U_L$  – Coeficiente global de perdas térmicas do tubo absorvedor;

$C$  – Concentração Geométrica do campo solar, igual a 14, Industrial Thermal Solution (2015);

$A_{abs}$  – Área externa do absorvedor com o vidro (m<sup>2</sup>);

$D_{abs}$  – Diâmetro externo do absorvedor e igual a 0,125 m;

$L_{abs}$  – Comprimento do absorvedor (m);

$Q_{loss}$  – Perdas térmicas por unidade de comprimento do absorvedor e igual a 70 W/m, Schott (2015);

$T_{f,m}$  – Temperatura média do fluido de trabalho;

$T_{abs}$  – Temperatura média da superfície externa do absorvedor igual a 250 °C, Schott (2015).

A Tab. 1 apresenta os resultados obtidos com o uso das Eq. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) e (9).

Tabela 1 – Levantamento de dados para simulação no TRNSYS.

Potência para desumidificação		Dimensionamento do Campo Solar	
Capacidade do Forno (kg/s)	1,38	Eficiência térmica (%)	62
Potência necessária para desumidificação (W)	339097	Área de refletores necessária (m <sup>2</sup> )	604
		Diâmetro do absorvedor Schott PTR 70 (m)	0,07
Vazão de Ar pelo trocador de calor		Concentração geométrica (adm)	
Vazão mássica de ar no trocador de calor (kg/s)	3,717	$U_L$ Coef. global de perdas (W/m <sup>2</sup> -K), referencia área do absorvedor	1,45
		Fator de remoção de calor - Fr	0,76
Vazão de água pelo trocador de calor		Dimensionamento do Trocador de Calor	
Vazão mássica de água no trocador de calor (kg/s)	1,44	Coeficiente global de transferência de calor - UA (W/K)	37607

A Tab. 2 apresenta os ângulos de incidência modificados, fornecido pelo fabricante do sistema de concentração Fresnel aqui avaliado, ou seja, a Industrial Thermal Solutions, e que é de extrema importância para ser inserido na simulação, pois, o ângulo de incidência transversal é maior nos RLF do que os CCP, sendo responsável pelas maiores perdas de cosseno e reduzindo a eficiência do RLF (Morin, 2012).

Tabela 2 – Ângulo de incidência modificado (IAM) para o campo de RLF avaliado

Angulo (°)	MAI Transversal (-)	MAI Longitudinal (-)	Angulo (°)	MAI Transversal (-)	MAI Longitudinal (-)
0	1	1	50	0,951	0,485
10	1	0,937	60	0,784	0,311
20	0,996	0,867	70	0,553	0,141
30	0,998	0,768	80	0,3	0,022
40	0,956	0,64	90	0,075	0

### 3.1. MODELO SIMULADO NO TRNSYS

O esquema do diagrama utilizado para simulação da planta solar é apresentado na Fig. 3. Os Refletores Lineares de Fresnel, inseridos na planta de tratamento de resíduo sólido do Projeto Natureza, são simulados com base nos dados meteorológicos da cidade de Salvador, no Estado da Bahia – Brasil, já que esta apresenta condições satisfatórias para instalação de sistemas de concentração.

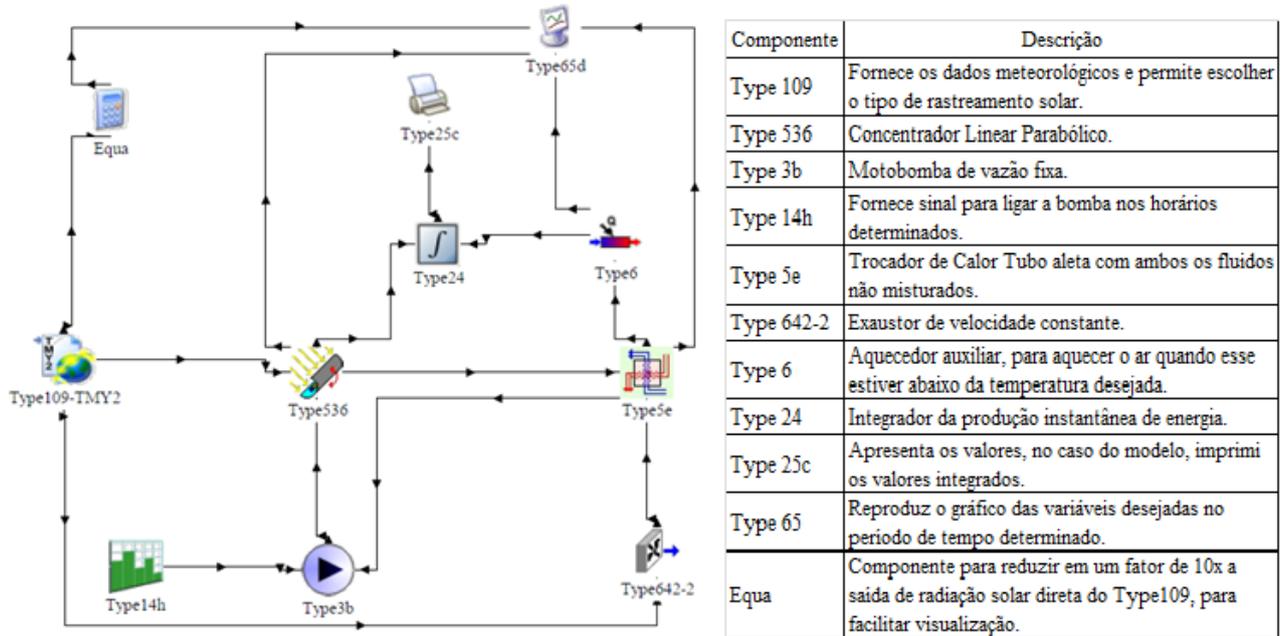


Figura 3 – Diagrama utilizado para simulação no TRNSYS

A utilização do Type 536 se deu devido inexistência de um TYPE específico para refletores lineares Fresnel no TRNSYS. No entanto, os parâmetros do Type 536 foram alterados segundo os dados fornecidos pela Industrial Thermal Solutions (2015), incluindo os modificadores dos ângulos de incidência característicos dos concentradores RLF, apresentados na Tab. 2, o que torna a simulação mais representativa do desempenho da tecnologia de concentração Fresnel.

### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para avaliar o comportamento da produção de calor do campo solar, a potência do campo solar e a radiação solar direta para um dia nublado e um dia de céu claro, são mostradas nas Fig. 4 e 5, respectivamente.

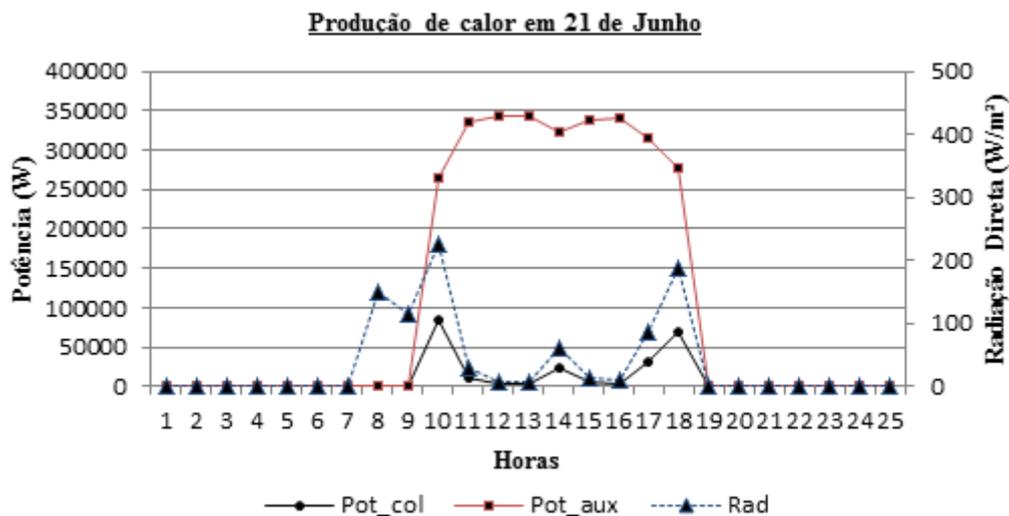


Figura 4 – Produção de calor em um dia nublado do campo solar simulado e com área coletora de 604 m<sup>2</sup>.

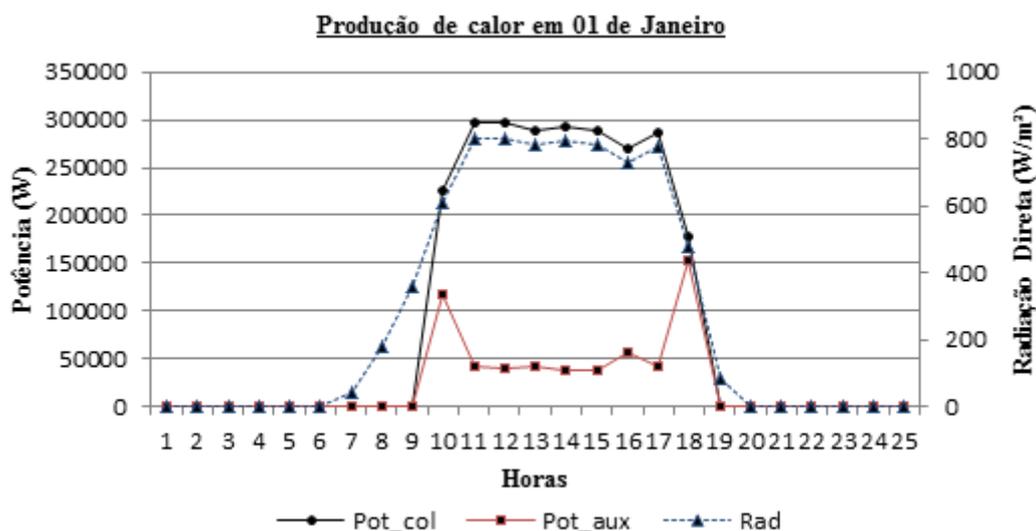


Figura 5 – Produção de calor em um dia de céu claro do campo solar simulado e com área coletora de 604 m<sup>2</sup>.

Pode ser observado nas Fig. 4 e 5, que a produção de calor é superior em um dia de céu claro, no qual há alta disponibilidade de radiação solar direta, do que em dias de céu nublado, já que os coletores solares tipo Fresnel trabalham apenas com radiação solar direta. Assim, observa-se que, para o dia de céu claro, a potência máxima do campo solar se dá às 11 horas e equivale a aproximadamente 300 kW, enquanto que, no dia nublado a potência máxima ocorre às 10 horas e é aproximadamente 84 kW.

A Tab. 3 apresenta os dados de produção anual de energia do campo solar e também do sistema de aquecimento auxiliar. Como forma de verificar a quantidade máxima de energia que seria produzida através da queima de carvão vegetal, em um ano, caso não houvesse o sistema de concentração Fresnel, foi realizada uma simulação na qual a água advinda do campo solar não passa pelo trocador de calor, desta forma o aquecimento auxiliar é ligado constantemente.

Tabela 3 – Redução do consumo de carvão vegetal

<b>Sem o campo solar Fresnel</b>	
PCI Carvão Vegetal (kJ/kg)	26752,0
Demanda de energia anual (kJ/ano)	4,02x10 <sup>9</sup>
Consumo anual de carvão vegetal sem campo solar (kg/ano)	150.269,1
<b>Com o campo solar de 604 m<sup>2</sup></b>	
Produção de Energia do Aquecimento Auxiliar (kJ/ano)	2,48x10 <sup>9</sup>
Produção de Energia do Campo Solar (kJ/ano)	1,58x10 <sup>9</sup>
Consumo anual de carvão vegetal com campo solar (kg/ano)	92.703,3
Economia de carvão vegetal (kg/ano)	57.565,8

## 5. CONCLUSÃO

O uso de um campo solar com concentradores solares tipo RLF, com área de abertura total igual a 604 m<sup>2</sup>, mostrou ser uma solução viável tecnicamente, evitando o consumo anual de cerca de 57,5 toneladas de carvão vegetal, o que equivale a aproximadamente 40% da demanda anual de carvão, no caso da não existência do sistema solar. O uso de uma área coletora superior, com o objetivo de atender a toda a demanda energética do local, bem como o desenvolvimento de um sistema de armazenamento para dias nublados é também sugerido como estudos futuros.

Considerando que o investimento inicial da usina RLF seja de 216 euros/m<sup>2</sup> - valor máximo definido por Morin *et al* (2012) para que se torne viável em relação a CCP - para a área de 604m<sup>2</sup>, o custo de implantação da usina será de aproximadamente R\$ 568.823,00. Portanto, com o preço do carvão a R\$ 586,00/ton (IBGE, 2014) e a economia anual calculada de 57,8 toneladas de carvão vegetal que representa R\$ 33.988,00 reais/ano, o tempo de retorno da instalação solar seria de aproximadamente 17 anos.

O carvão vegetal não queimado na Usina de Tratamento de RSU, apesar de ter seu efeito poluidor compensado pelo processo de fotossíntese da matéria orgânica, pode e deve ser utilizado para a queima nos demais processos internos que demandam energia térmica. Também pode ser utilizado para fins mais nobres, ao ser vendido para usinas produtoras de Cimento Portland, que geralmente fazem uso de carvão mineral e ou Coque de Petróleo, que são mais poluidores e menos eficientes termicamente do que o carvão vegetal, conforme apontado por Damaccena de Souza (2011). Adicionalmente, o carvão vegetal pode ser destinado à aplicação em termoeletricas, no lugar de carvão mineral ou óleo diesel, o que poderia reduzir o custo final da energia elétrica e evitar emissões de poluentes que causam aquecimento global.

Embora o retorno estimado do investimento seja em torno de 17 anos, todas essas possibilidades de destinação do carvão vegetal, que não seria queimado devido ao uso dos concentradores solares tipo RLF, tornam o uso dessa tecnologia solar interessante para operar em usinas de tratamento de RSU, o que ressaltaria o caráter inovador do Projeto Natureza Limpa, podendo inclusive viabilizar a implantação de um campo solar tipo Fresnel na cidade de Salvador.

## REFERÊNCIAS

- Bermejo, Pablo *et al.*, 2010. Solar absorption cooling plant in Seville. *Solar Energy*, vol. 84, p. 1503-1512.
- BINE Information Service. Disponível em: <http://www.bine.info/en/bine-information-service/> . Acesso em: 26 out. 2014, 18:55.
- Damaccena de Souza, Bruno; Moura, José Francisco, 2011. Estudo do uso de carvão vegetal no sistema de aquecimento dos fornos de produção do clínquer decimento Portland. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais. Disponível em: < [http://www.puc-rio.br/Pibic/relatorio\\_resumo2011/Resumos/CTC/DCMM/DCMM-Bruno%20Damaccena%20de%20Souza.pdf](http://www.puc-rio.br/Pibic/relatorio_resumo2011/Resumos/CTC/DCMM/DCMM-Bruno%20Damaccena%20de%20Souza.pdf) >. Acesso em: 23, Nov. 2015, 00:05.
- Choudhury, C.; Sehgal, H.K., 1986. A Fresnel Strip Reflector – Concentrator for Tubular Solar – Energy Collectors. *Applied Energy*, vol. 23, p. 143-154.
- IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção da Extração Vegetal e Silvicultura, 2014. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/default\\_xls.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/default_xls.shtm) >. Acesso em: 03, Fev. 2016, 19:57
- Incropera, Frank.P *et al.*, 2013. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. Ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.
- Industrial Solar Thermal Solutions., 2015. Technical data: Industrial Solar Linear Fresnel collector LF – 11. Disponível em: [http://www.industrial-solar.de/CMS/fileadmin/user\\_upload/IS\\_Technical\\_Data\\_EN.pdf](http://www.industrial-solar.de/CMS/fileadmin/user_upload/IS_Technical_Data_EN.pdf)>. Acesso em : 27 Out. 2015, 20:58.
- J.Montes, María *et al.*, 2014. A comparative analysis of configuration of linear Fresnel collectors for concentrating solar power. *Energy*, vol. 73, p. 192-203.
- Manikumar , R; Palanichamy, R.; Arasu, A. Valan., 2015. Heat Transfer Analysis of an Elevated Linear Absorber with Trapezoidal Cavity in the Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator System. *Journal of Thermal Science*, vol. 25, n.1, p.90-98.
- Morin, Gabriel *et al.*, 2015. Comparison of Linear Fresnel and Parabolic Trough Collector power plants. *Solar Energy*, vol.86, p. 1-12.2012.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). Concentrating Solar Powers Projects. Disponível em: < [http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/power\\_tower.cfm](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/power_tower.cfm)>. Acesso em: 26 out. 2014, 18:50.
- Palácio do Planalto., 2015. Disponível em : < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ ato2007-2010/2010/lei/112305.htm) >. Acesso em: 26 Out. 2015, 23:32.
- Popov, Dimityr ., 2011. An option for solar thermal repowering of fossil fuel fired power plants. *Solar Energy*, vol. 85, p. 344-349.
- Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU), 2001. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Disponível em: < <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf> >. Acesso em 26 Out. 2015, 10:00.
- Schott. Produtos & Aplicações. Disponível em: < <http://www.schott.com/csp/english/schott-solar-ptr-70-receivers.html?so=brazil&lang=portuguese> > . Acesso em : 27 Out. 2015, 21:24.
- Solátio Energia. Disponível em: < <http://solatio.com.br/usina-em-pirapora-orcada-em-r-15-bilhao/> > Acesso em: 26 Out. 2015, 23:32.
- S. Sahoo, Sudhansu; et al., 2013. Experimental investigation and computational validation of heat losses from the cavity receiver used in linear Fresnel reflector solar thermal system. *Renewable Energy*, vol.55, p. 18-23.2013.
- Zhu, Guangdong; et al., 2014. History, current state, and future of linear Fresnel Concentrating solar collectors. *Solar Energy*, vol.103, p. 693-652. 2014.

## FRESNEL SOLAR CONCENTRATORS APPLIED TO HEAT PRODUCTION FOR DRYING URBAN SOLID WASTE

**Abstract.** Recent papers have shown that Linear Fresnel Reflector (LFR) Solar Concentrators have good potential to generate heat in medium and high temperatures for industrial processes in industries. Due to its simplicity, facility to build, installation and maintenance, this concept allows the use of water as the working fluid easier than the Parabolic Trough Solar Concentrators (PTC). The platform TRNSYS was utilized to analyze the production of heat generated by a solar field constituted by (LFR) aiming the drying of Urban Solid Waste. It was possible to produce almost all thermal energy required by the drying process avoiding an annual consumption of 57,5 tons of vegetal coal.

**Key words:** Solar Energy, Fresnel, Urban solid waste.