

TRATAMENTO HIDROTÉRMICO DE MANGAS AUXILIADO POR ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Ailton Gonçalves da Silva – e-mail: ags3@poli.br

Universidade de Pernambuco -Escola Politécnica de Pernambuco

Claudemiro de Lima Júnior

Universidade de Pernambuco – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Luis Arturo Gómez-Malagón

Universidade de Pernambuco -Escola Politécnica de Pernambuco

Resumo. O Estado de Pernambuco conta com Arranjos Produtivos Locais – APLs relacionadas a confecções, laticínios, gesso, vinicultura, entre outros, os quais requerem de calor de processo para aquecimento de água. No APL da fruticultura no município de Petrolina é empregado o tratamento hidrotérmico das mangas, o qual consiste na imersão da fruta num tanque com água quente ($T > 46,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 90 minutos. Este tratamento é necessário para realizar o controle das moscas-das-frutas, o qual é exigido para que as mangas possam ser exportadas para países como Estados Unidos, Japão e Chile. Considerando que a energia empregada nesse processo é oriunda do gás natural, e que Petrolina possui índices de radiação solar apropriados para geração de calor de processo, o objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica e econômica da inserção da energia solar como fonte de geração de calor de processo para atender as demandas desse setor industrial. A análise técnica do uso de coletores solares térmicos foi realizada usando o software TRNSYS. No software foram analisadas especificamente dois cenários. O primeiro foi para validação da simulação considerando o gás natural como única fonte de calor para o aquecimento da água, o qual é o processo atualmente utilizado, e o segundo foi considerando um sistema termossolar com tanque de armazenamento para auxiliar na demanda de calor do processo. A análise econômica foi realizada usando a técnica Life-Cycle Savings – LCS, a qual determina os ganhos obtidos pelo uso do sistema termossolar em função da área dos coletores, o payback e a TIR – Taxa Interna de Retorno. Os resultados mostraram que, por exemplo, a curva do LCS tem um valor máximo positivo quando a área dos coletores solares é de 360 m^2 tendo um payback de 52 meses uma TIR de 2,57% a.m. mostrando atratividade do investimento.

Palavras-chave: Mangas, TRNSYS, Termossolar

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia no Brasil tem crescido a cada ano, decorrente do aumento da demanda para atender principalmente os setores residenciais, de transporte e industrial, sendo este último responsável por cerca de 36,6% do consumo total de energia produzida no País (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2021). De toda a energia consumida pelas indústrias, cerca de 80% corresponde a geração de calor de processo, enquanto apenas 20% corresponde a energia elétrica. Para fins de atender a esta demanda energética térmica são empregados principalmente combustíveis fósseis convencionais como: lenha, Gás Natural - GN e Gás Liquefeito de Petróleo – GLP (Solar Payback, 2017). O

Estado de Pernambuco apresenta uma diversidade de atividades em seu setor industrial, subdividindo seus principais recursos de exportação nos APLs de confecções, laticínios, fruticultura e gesso (ADEPE - Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco, 2021). Para os processos decorrentes de suas atividades industriais, o principal insumo da demanda térmica está atrelado ao aquecimento de água. Em cada um desses APLs, a água quente apresenta especificações quanto ao seu emprego, como por exemplo, no arranjo de confecções, atua no processo de lavagem e beneficiamento de tecidos e artigos; no arranjo de laticínios, é aplicada nos processos de pasteurização; já no arranjo de fruticultura, atua no processo de lavagem de frutas a fim de eliminar larvas de insetos e bactérias que se encontram presentes em sua superfície.

No ano de 2018 a participação da fruticultura na exportação gerou uma receita de 812 milhões de dólares ajudando no crescimento do PIB do Brasil (Abrafrutas - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados, 2020). O Arranjo Produtivo Local de Fruticultura Irrigada do Submédio Vale do São Francisco em Pernambuco corresponde a 33 % das exportações de frutas realizadas pelo Brasil (Leão, Moutinho e Campos, 2016), tendo como seus principais destaques a produção de goiaba, cana-de-açúcar, uvas e mangas.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020), no ano 2020, mesmo com pandemia da COVID – 19, a exportação de manga bateu recorde totalizando 246 milhões de dólares. Mais de 243,2 mil toneladas de mangas foram exportadas, 87% dessas exportações foram do APL de fruticultura de Pernambuco com uma área plantada de 49 mil hectares sendo a maior do Brasil. Dessa forma, em razão de sua relevância econômica, o atendimento de normas de higienização que garantam uma qualidade de exportação adequada para cada país de destino das mangas se faz necessário para a manutenção das atividades de tal setor.

Para a exportação das mangas para países como Estados Unidos, Japão e Chile é necessário o tratamento hidrotérmico para o controle das moscas nas mangas (Silva, 2015). O processo consiste em submergir as mangas em água aquecida a $46,1^{\circ}\text{C}$ por 75 minutos, para os frutos com peso inferior a 425 g ou por 90 minutos para os frutos com 426 a

650 g. No APL de fruticultura em Petrolina – PE a energia empregada nesse processo é oriunda do GLP, porém Petrolina possui índices de radiação solar apropriados para geração de calor de processo que pode ser utilizado na demanda térmica requerida no processo. Parte dessa demanda térmica pode ser obtida por meio de coletores solares que são dispositivos que coletam a radiação solar e transforma em energia térmica (Duffie e Beckman, 2013), podendo auxiliar no aquecimento da água para o tratamento hidrotérmico das mangas.

Na literatura são encontrados trabalhos que abordaram o tratamento hidrotérmico das mangas sobre o ponto de vista da qualidade da fruta, e sobre os processos de transferência de calor na manga e o tanque. Por exemplo, foram realizadas pesquisas sobre a análise da qualidade do fruto quando utilizado o etanol para o controle dos microrganismos (Vilar, 2015), análise numérica da transferência de calor em estado transitório do processo (Marcelo et al., 2016), análise da dinâmica dos fluidos dos propulsores que ficam dentro do tanque em que ocorre o tratamento, e são responsáveis por aumentar a transferência de calor (Tiznado, Aldana e Orbegoso, 2018), análise do comportamento dinâmico do fluido e sua resposta térmica usando ferramentas de simulação computacional (Orbegoso et al., 2018), assim como apresentação de proposta de um sistema com trocador de calor mais eficiente que os utilizados como padrão no tratamento hidrotérmico. (Orbegoso et al., 2017). Porém, na revisão bibliográfica não foram identificados trabalhos sobre uso eficiente de energias renováveis no tratamento hidrotérmico de mangas.

Desta forma, o objetivo do trabalho é estudar a viabilidade técnica e econômica da inserção da energia termossolar como fonte de geração de calor de processo para atender as demandas do tratamento hidrotérmico de mangas.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do processo convencional

No processo de tratamento hidrotérmico descrito neste trabalho, 4500 kg de mangas são imersos em um tanque de 18500 L contendo água com temperatura mínima de 46,1 °C, a qual permanecerá constante durante 90 minutos. Para manter constante a temperatura da água do tanque, é utilizado uma serpentina imersa no tanque por onde circula vapor de água a 170 °C. A Fig. 1 mostra um esquema do processo.

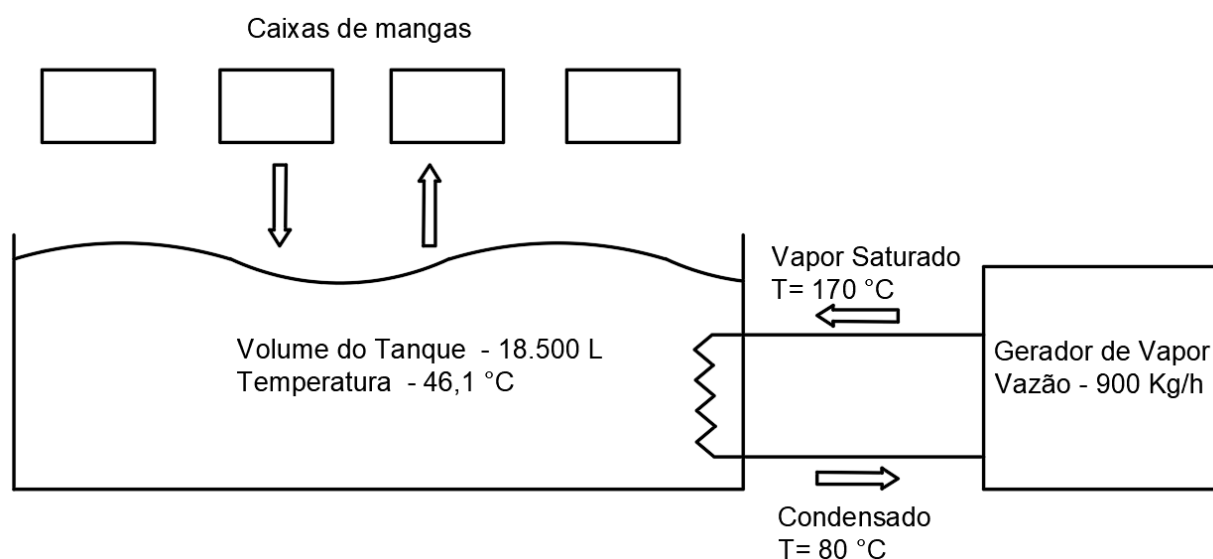


Figura 1 - Diagrama do processo de tratamento hidrotérmico de mangas convencional

2.2 Descrição do processo usando energia termossolar

Com o objetivo de utilizar energia termossolar para auxiliar no processo, foi proposto um sistema com uma segunda serpentina, um tanque de armazenamento e coletores solares, como mostrado na Fig. 2. Os coletores solares coletam a energia térmica da radiação solar, e essa energia é armazenada no tanque de armazenamento, que pode, por sua vez, ser transferida para a água no tanque do processo.

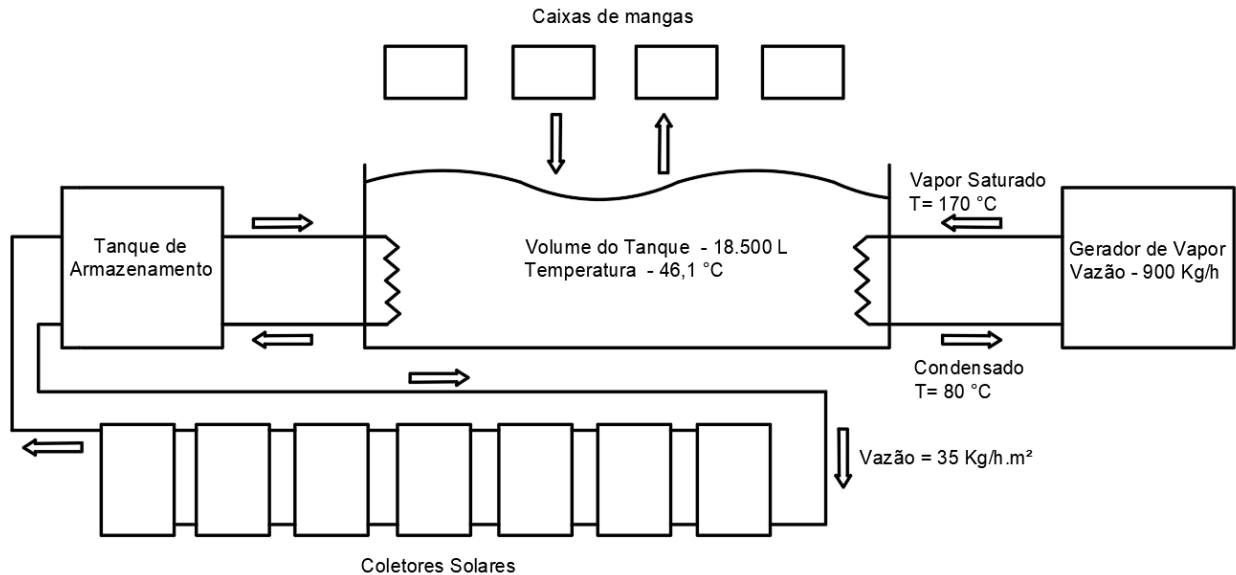


Figura 2 - Diagrama do processo de tratamento hidrotérmico das mangas com o sistema auxiliar termossolar

2.3 Simulação dos processos

Para a realização da simulação foi utilizado software TRNSYS (TRNSYS, 2017). O software realiza a simulação de sistemas em regime transiente, e funciona por meio de blocos que contém as equações matemáticas que descrevem os componentes do sistema considerado. Esses blocos são interligados por meio de linhas que comunicam as variáveis de entradas (input) e de saídas (output). No software foram analisadas especificamente dois cenários. O primeiro cenário foi considerando o GLP como única fonte de calor para o aquecimento da água, o qual é o processo atualmente utilizado. Este cenário foi desenvolvido para validar o processo com os dados reais de operação. O segundo cenário foi considerando um sistema termossolar com tanque de armazenamento para auxiliar na demanda de calor do processo. Nas Fig. 3 e na Fig. 4 são apresentados os sistemas simulados usando TRNSYS.

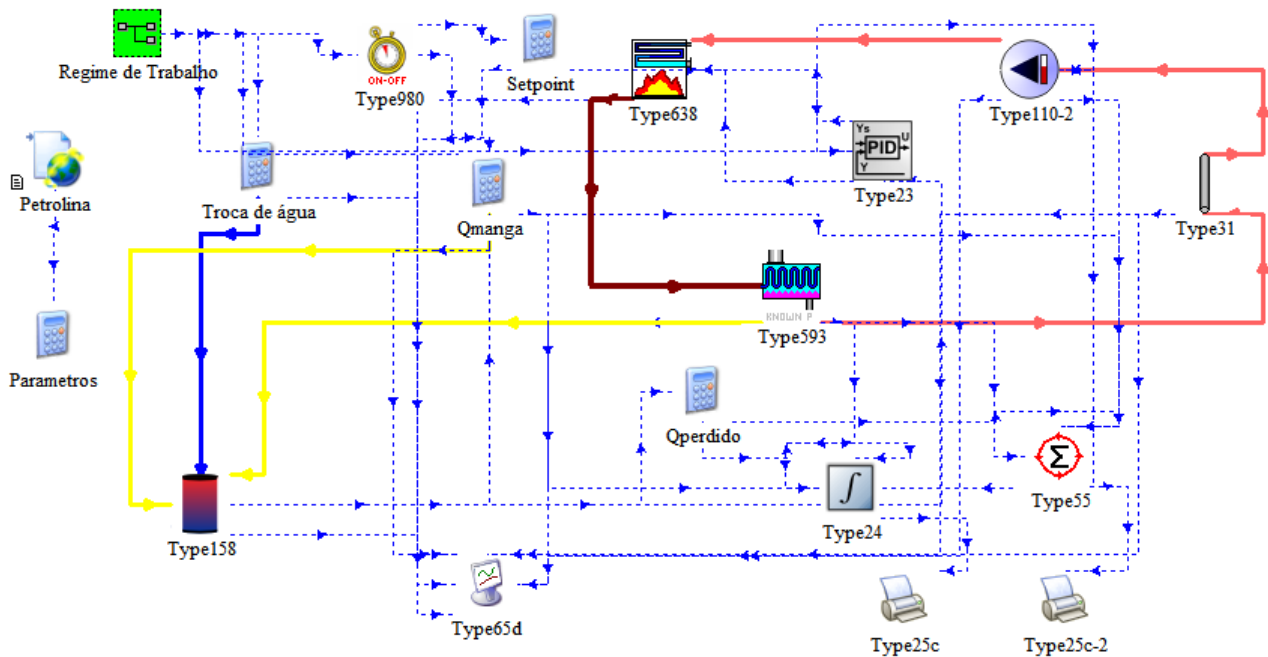


Figura 3 -Diagrama no TRNSYS representando o sistema de tratamento hidrotérmico de mangas usando GN como única fonte de calor para aquecimento. As linhas contínuas azul, vermelha e marrom representam a circulação de água fria, água quente e vapor saturado, respectivamente. A linha amarela representa o calor transferido e as linhas tracejadas representam o fluxo de informações.

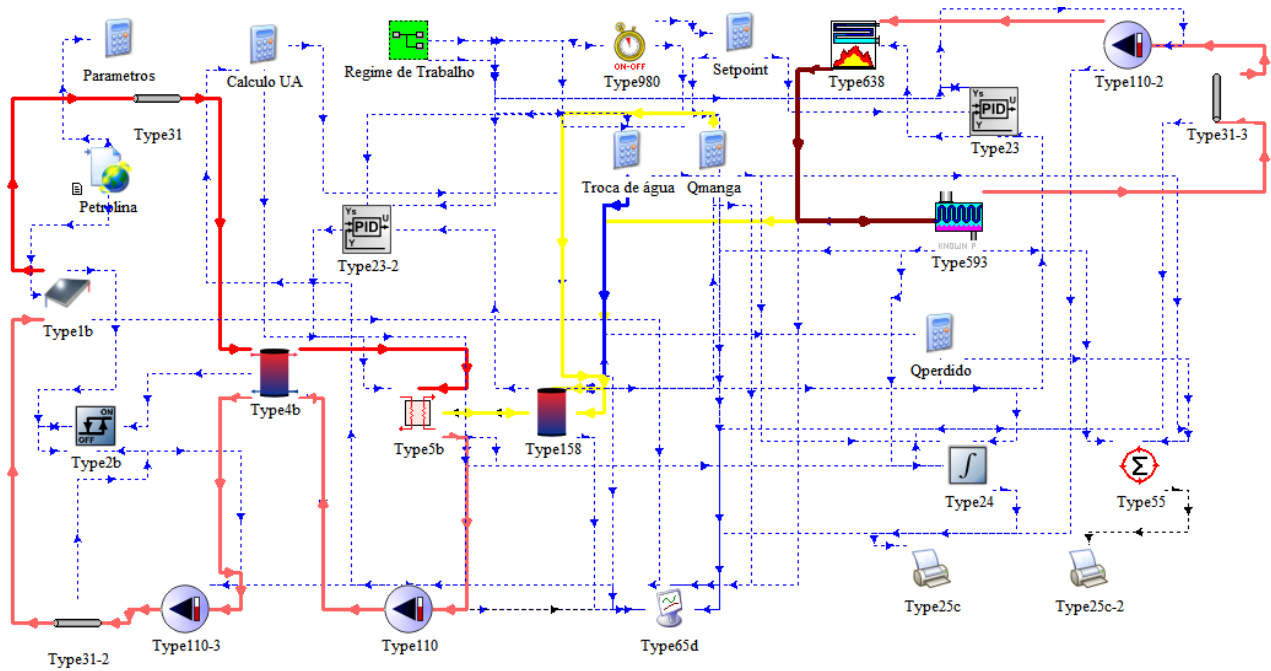


Figura 4 - Diagrama no TRNSYS representando o sistema de tratamento hidrotérmico de mangas usando GN e energia termossolar como fontes de calor para aquecimento. As linhas contínuas azul, vermelha e marrom representam a circulação de água fria, água quente e vapor saturado, respectivamente. A linha amarela representa o calor transferido e as linhas tracejadas representam o fluxo de informações.

Na Fig. 3, a caldeira (type 638) fornece vapor a 170 °C para serpentina (type 593), que transfere essa energia térmica para o tanque para o tratamento térmico das mangas (type 158). O condensado na saída da serpentina retorna para a caldeira pela tubulação (type 31) a uma temperatura próxima dos 80 °C. A bomba (type 110) é responsável pela circulação da água no sistema. O calor absorvido pelas mangas durante o processo foi simulado de acordo com a curva da temperatura de aquecimento das mangas reportado na literatura (Orbegoso *et al.*, 2017), e é representado pelo bloco Q_{manga} . O type 23 é responsável por controlar a vazão de vapor necessária para que o processo ocorra na temperatura constante. Na Fig. 4 é apresentado o sistema termossolar em paralelo com o sistema descrito na Fig. 3. Os coletores solares de placa plana (type 1b) recebem a radiação solar e transferem para o fluido de trabalho que é armazenado no tanque de armazenamento (type 4b). Dependendo da necessidade do processo, a água armazenada no tanque circula pela serpentina (type 5b) e transfere calor com o tanque de processo. A simulação considerou que o processo acontece 10 vezes durante o dia. As variáveis que foram consideradas na simulação do sistema termossolar são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Variáveis consideradas no sistema termossolar para simulação

Variáveis	Valores	Fonte
Área dos coletores	0-500 m ²	-
Vazão dos coletores	35 Kg/h.m ²	(Solar Bosch, 2019)
Vazão da serpentina	70 Kg/h.m ²	(AUTOR, 2021)
Volume do tanque de armazenamento	0,075 m ³ /m ²	(Oliveira, 2019)

A partir dos resultados da simulação foi determinada a fração solar, definida como a parcela do calor fornecido pela o sistema termossolar em relação ao calor necessário para processo, assim:

$$F_{solar} = \frac{Q_{solar}}{Q_{processo}} \quad (1)$$

Em que:

F_{solar} é a fração solar

Q_{solar} é a quantidade de calor fornecida pelo sistema termossolar

$Q_{processo}$ é o calor necessário para realização do processo

2.4 Análise econômica

A análise econômica foi realizada usando a técnica Life-Cycle Savings – LCS, o payback e a Taxa Interna de Retorno – TIR. A economia do ciclo de vida (LCS) é definida como a diferença entre os custos do sistema convencional e o custo do sistema auxiliado pela energia solar, em função da área dos coletores, considerando a vida útil do sistema. Essa análise leva em conta o valor do dinheiro no tempo, trazendo para o presente considerando a taxa de desconto do mercado nos custos futuros do sistema analisado (Duffie e Beckman, 2013). O LCS é definido como:

$$LCS_{mês} = \frac{E_{solar}}{\left(1 + \frac{t_{dm}}{100}\right)^n} \quad (2)$$

em que:

$LCS_{mês}$ é o capital acumulado trazido ao valor presente do total da economia proporcionada [R\$/mês];

t_{dm} é a taxa relativa ao desconto de mercado [%];

n são os meses considerados no período de análise do sistema termossolar, em que $n = 0$ é o mês de implementação do sistema;

E_{solar} é a economia resultante do sistema solar térmico proposto em [R\$/mês].

E_{solar} pode ser definido como:

$$E_{solar} = \begin{cases} -V_{entrada}, & se \ n = 0 \\ V_c \cdot F_{solar} \cdot (1 + I_c)^{n-1} - P_{prest} - CE_p \cdot (1 + I_{ep})^{n-1} - CE_{oms} \cdot (1 + I_m)^{n-1}, & se \ n > 0 \end{cases} \quad (3)$$

em que:

$V_{entrada}$ é o valor pago de entrada pelo sistema termossolar; sendo considerado no orçamento do projeto um trocador de calor no valor de R\$20.000,00 para todas as áreas, e valores dependentes da área como: coletores solares, tanque de armazenamento, e mão de obra.

F_{solar} é a fração solar;

P_{prest} é a parcela mensal do financiamento;

CE_p é o valor dos impostos extras de propriedades mensais;

CE_{oms} é o valor gasto em manutenção, segurança e operação durante o mês;

I_c é a taxa de inflação do combustível;

I_m é a taxa de inflação da manutenção, segurança e operação;

I_{ep} é taxa de inflação dos impostos extras de propriedades;

V_c é o valor gasto mensalmente com combustível sem considerar o sistema termossolar ;

O valor gasto mensal com combustível foi definido como:

$$V_c = \frac{E_p \cdot P_c}{PCI \cdot Ef} \quad (4)$$

Em que:

E_p é a energia mensal necessária para o processo em [KJ]

P_c é o preço do GLP em [R\$/Kg]

PCI é o poder calorífico inferior do GLP em [KJ/Kg]

Ef é a eficiência da caldeira em [%]

Para se obter a economia proporcionada pelo sistema termossolar é realizado o somatório do LCS_{ano} durante o tempo de vida do sistema.

$$LCS_{acumulado} = \sum_{n=0}^{período \ de \ análise} LCS_{mês} \quad (5)$$

A Tab. 2 mostra as taxas consideradas para análise econômica.

Tabela 2 - Taxas e valores considerados na análise econômica

Taxas	Valores	Referência
Energia mensal necessária para o processo em [KJ]	$1,53.10^{09}$	Valor simulado no TRNSYS
Preço do GLP [R\$/Kg]	4,92	(Ministério de Minas e Energia, 2021)
Poder calorífico inferior do GLP [KJ/Kg]	46473,48	(EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2021)
Eficiência da caldeira em [%]	80%	(Autor, 2021)
Inflação do Combustível [%]	0,74% a.m.	(IBGE, 2020)
Inflação Manutenção e Segurança e Operação [%]	0,37% a.m.	(IBGE, 2020)
Taxa de desconto do mercado [%]	0,5% a.m.	(Banco Central do Brasil, 2021)
Período de análise [anos]	20	(Kalogirou, 2014)

Após essa análise é possível calcular TIR – Taxa Interna de Retorno e o Payback do sistema estudado. A TIR é entendida como a taxa de desconto de mercado necessária para que o $LCS_{acumulado}$ seja igual a zero no final da vida útil do sistema, e o Payback por sua vez, é o tempo necessário para que a economia gerada pelo sistema retorne o valor inicial investido (Lima, 2012). O Payback utilizado na análise econômica foi o Payback descontado o qual leva em consideração a taxa de desconto do mercado.

3. RESULTADOS

3.3 Validação da simulação no TRNSYS

Para validar a simulação no TRNSYS foi considerado o cenário em que o GN é a única fonte de calor para aquecimento do tanque. Cabe destacar que durante todo o tratamento (90 min) a temperatura da água do tanque não pode ultrapassar 47 °C e não deve ser inferior a 46,1 °C (Orbegoso *et al.*, 2017). Desta forma, a temperatura do tanque deve ser aumentada até o valor máximo para que depois da entrada das mangas no tanque, este permaneça com temperatura acima de 46,1 °C. O resultado da simulação em estado transitório foi comparado com os valores observados no processo, tais como o tempo para aumentar a temperatura do tanque a partir da temperatura ambiente até a temperatura de processo (38 min), e a temperatura de processo (46,1°C). A Fig. 5 (a) apresenta o resultado da simulação, o qual mostra que o sistema tem boa concordância com os valores experimentais.

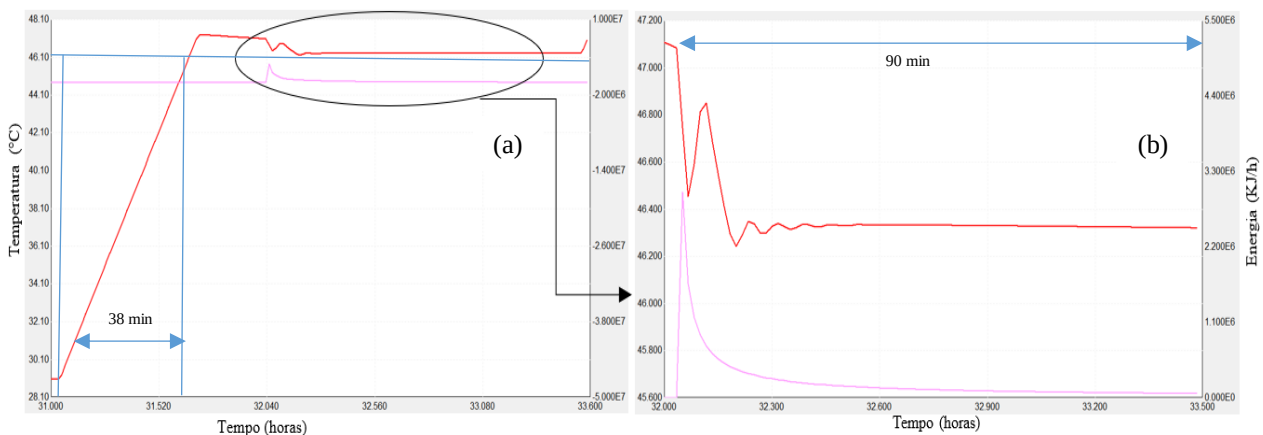


Figura 5 – (a) Resposta temporal da temperatura do tanque de processo a partir do acionamento do sistema de aquecimento considerando que o tanque está a temperatura ambiente. (b) Resposta temporal da temperatura da água do tanque de processo a partir do instante em que acontece a inserção das mangas no tanque. A linha vermelha é a temperatura da água do tanque e a linha roxa é a energia transferida do tanque para as mangas

A Fig. 5 (b) mostra o resultado da simulação do comportamento da temperatura da água do tanque a partir do momento em que as mangas são inseridas no tanque até finalizar o tratamento. Neste caso, a temperatura de processo foi definida em 46,3 °C como sugerido por ORBEGOSO (Orbegoso *et al.*, 2017). Desta forma, quando as mangas são inseridas no tanque, a sua temperatura flutua entre 47°C e 46,2°. O resultado obtido é similar ao valor reportado na literatura (Orbegoso *et al.*, 2017). Por outro lado, no momento em que as mangas são imersas no tanque, a energia armazenada no tanque é transferida para as mangas, aumentando a temperatura das mangas. O comportamento transiente do fluxo de calor como mostrado na Fig. 5(b). O valor total de calor transferido para mangas durante o tempo de processo (90 min) é a integral da linha roxa do gráfico da Fig. 5 (b). Especificamente, o calor necessário para elevar a temperatura de 4500 Kg das mangas a partir da temperatura ambiente até a temperatura de processo é 347 MJ.

Também foi verificado na simulação que, mantendo constante a temperatura do tanque de processo, as temperaturas do vapor de água que sai da caldeira e entra na serpentina, e do condensado que sai serpentina e retorna para a caldeira, ficaram próximos dos valores observados experimentais de 170 °C e 80 °C, respectivamente, como mostrado na Figura 6.

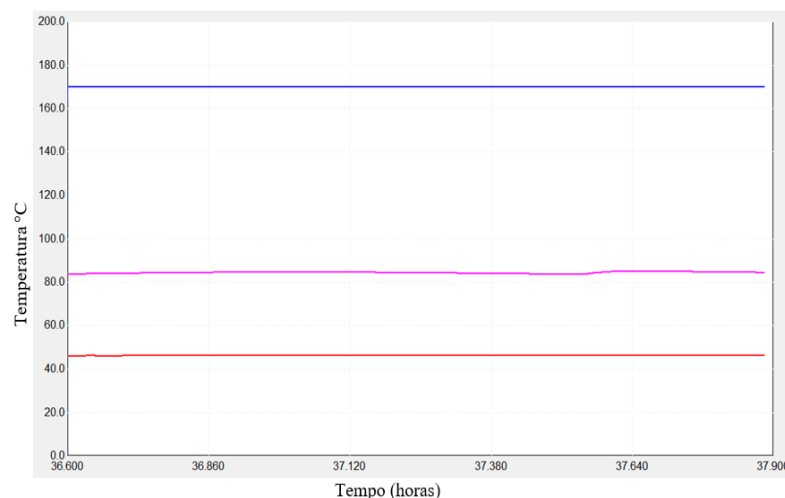


Figura 6 – Temperaturas da água na entrada da caldeira (em roxo), do vapor da água na saída da caldeira (em azul) e da água no tanque (em vermelho) durante o tratamento hidrotérmico das mangas

3.4 Simulação do sistema termossolar

O comportamento transiente da temperatura do tanque e do fluxo de calor entregue pelo sistema termossolar, considerando os casos em que as áreas dos coletores são 100 m² e 360 m², pode ser observado na Fig. 7(a) e Fig. 7(b) respectivamente. No momento em que as mangas são colocadas no tanque, a temperatura do tanque cai rapidamente, e consequentemente, o sistema aciona a caldeira e o sistema termossolar para evitar que a temperatura chegue ao valor mínimo permitido pelos órgãos regulatórios ($T = 46,1$ °C) (Orbegoso *et al.*, 2017). Esta ação de controle deve ser realizada nos primeiros 5 minutos após a imersão das mangas. Posteriormente, a temperatura do tanque aumenta e o sistema de geração de calor é desligado até que a temperatura seja menor do que o setpoint ($T = 46,3$ °C) onde, sob a ação do sistema de controle, a variação da temperatura no tanque foi menor do que $\pm 0,5$ °C. Do ponto de vista energético, como esperado, o sistema com menor área, contribui com menos energia para o processo.

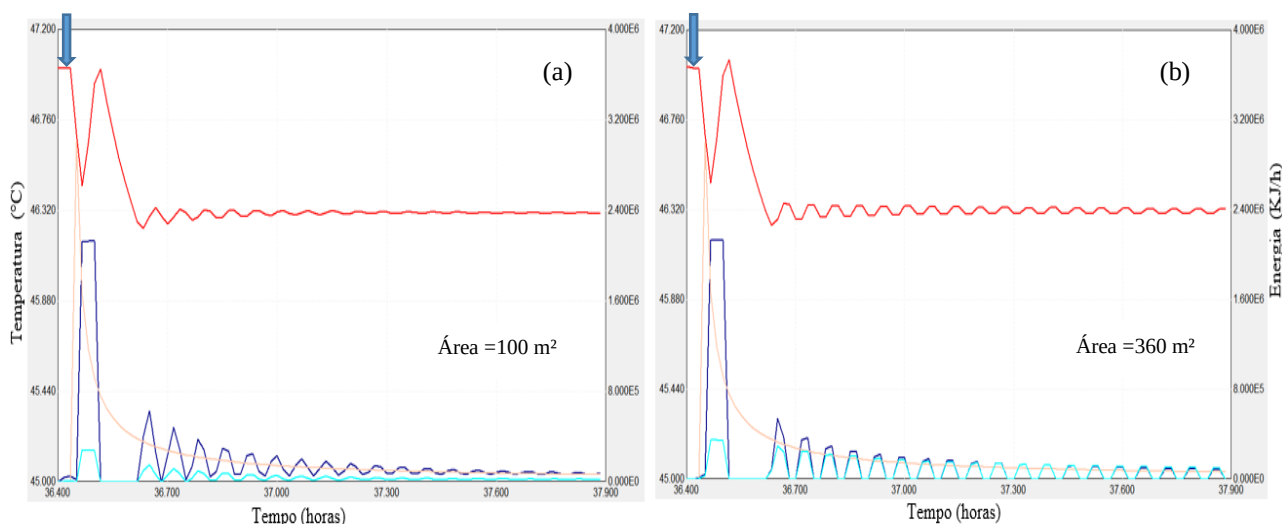


Figura 7 – Energia proveniente da caldeira (azul), do sistema termossolar (verde), a temperatura do tanque (vermelho) e energia transferida para as mangas (rosa) durante o tratamento hidrotérmico. Área do coletor solar no sistema termossolar: (a) 100 m² e (b) 360 m². A seta mostra o momento onde as mangas são inseridas no tanque.

A Fig. 8 mostra a fração solar e a quantidade de calor entregue pelas fontes de energia durante o processo em função da área dos coletores solares. Para áreas acima de 400 m² mais metade da energia necessária para o processo pode

ser fornecido pelo os coletores solares. Também é observado que o aumento da fração solar não é linear chegando a um valor limite de 54,15% para altos valores da área de coleta.

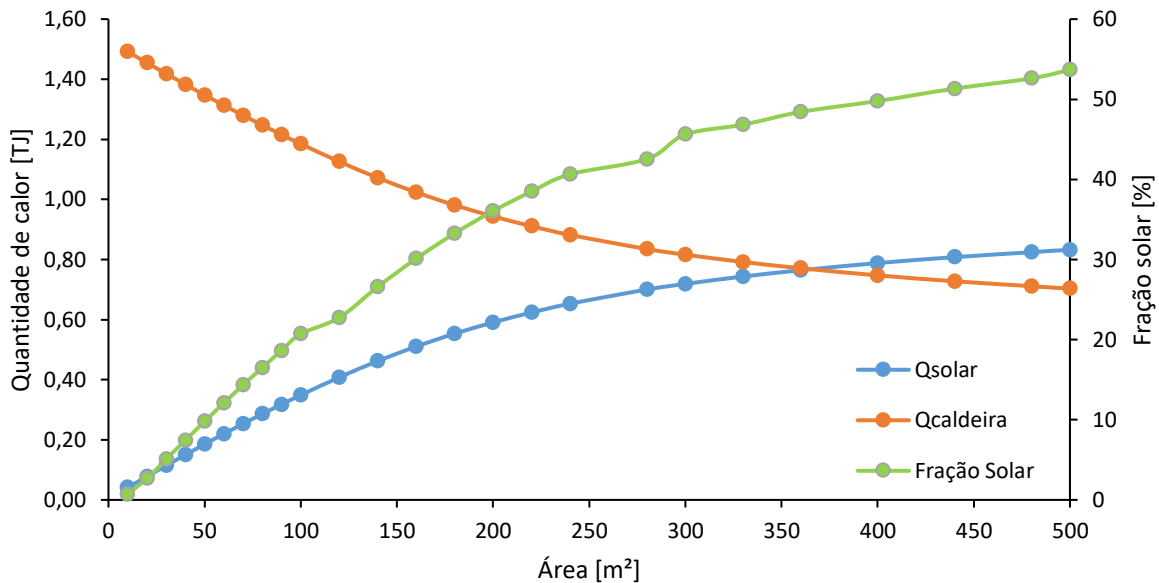


Figura 8 – Fração solar e quantidade de calor anual proveniente da caldeira e do sistema termossolar.

3.5 Resultado da análise econômica

Para a escolha da melhor área técnico-econômica, além de ser observado a fração solar deve-se observar também o custo de implementação e manutenção do sistema termossolar. O resultado da aplicação da técnica do LCS é mostrado na Fig. 9.

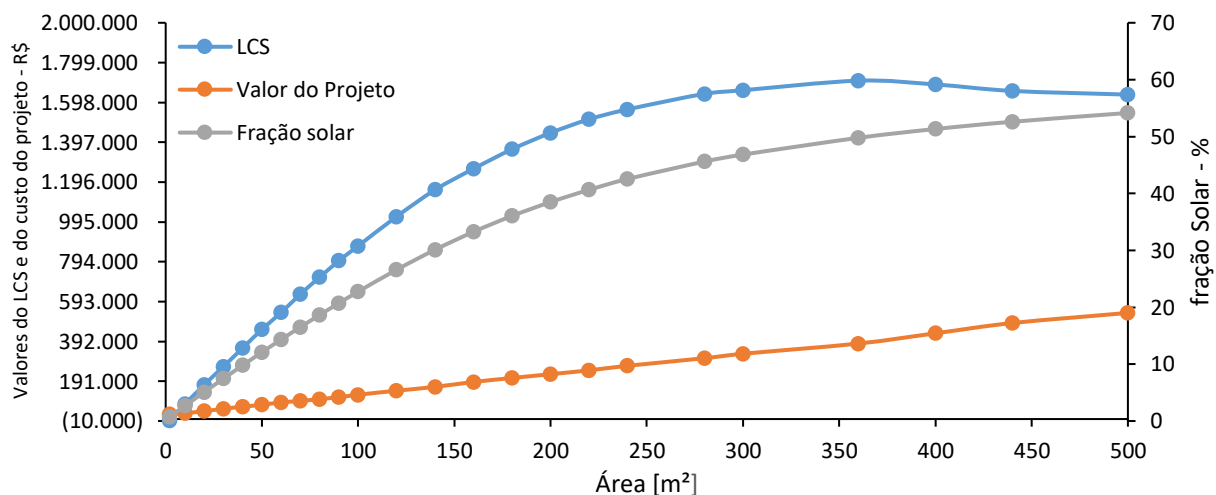


Figura 9 – Análise econômica do sistema termossolar. A fração solar apresentada no eixo esquerdo e o LCS e o valor do projeto apresentado no eixo direito

Como esperado, a fração solar e o custo do projeto aumentam com o aumento da área dos coletores solares. Porém, como a taxa de crescimento da fração solar vai diminuindo, o LCS apresentará um valor máximo. Da Fig. 9, o valor máximo do LCS acontece quando a área dos coletores é de 360 m². Cabe destacar que, uma variação do LCS de 10% ao redor do valor máximo é encontrada na faixa de 240 m² e 500 m², indicando que ganhos próximos do valor da área otimizada podem ser encontrados com áreas menores e consequentemente menor investimento. Ainda mais, o cenário econômico analisado é conservativo, visto que o valor do Kg do gás GLP considerado foi de R\$4,92, preço de custo no ano de 2020, enquanto que no ano de 2021 já é comercializado a R\$ 7,08 (Ministério de Minas e Energia, 2021).

Além disso, a partir dos valores do investimento foi calculada a TIR mensal e Payback para as áreas consideradas. A Tab. 3 mostra os valores da fração solar, LCS, payback e TIR em função da área dos coletores.

Tabela 3 – Valores da fração solar, VPL, payback, TIR e valor do projeto proposto para o tratamento hidrotérmico.

Área	Fração Solar	VPL	PAYBACK (Meses)	TIR (mensal)	Valor do Projeto
2	0,73%	R\$-3428,11	>240	0,39%	R\$23.220,33
10	2,67%	R\$90.276,73	79	1,85%	R\$29.672,55
20	5,07%	R\$202.632,96	53	2,53%	R\$39.532,60
30	7,45%	R\$309.010,75	47	2,79%	R\$52.026,65
40	9,79%	R\$416.968,12	43	3,02%	R\$62.496,70
50	12,09%	R\$524.506,70	40	3,21%	R\$72.019,25
60	14,33%	R\$623.633,94	39	3,24%	R\$84.313,30
70	16,51%	R\$729.450,23	37	3,43%	R\$91.244,35
80	18,64%	R\$827.736,53	36	3,49%	R\$100.765,40
90	20,72%	R\$923.312,81	35	3,54%	R\$110.279,95
100	22,74%	R\$1.010.173,31	36	3,50%	R\$122.730,00
120	26,59%	R\$1.181.952,20	36	3,51%	R\$143.104,10
140	30,11%	R\$1.337.880,67	36	3,50%	R\$162.338,70
160	33,26%	R\$1.463.066,97	37	3,37%	R\$187.282,80
180	36,05%	R\$1.577.860,82	38	3,31%	R\$207.267,40
200	38,49%	R\$1.674.995,15	39	3,24%	R\$226.500,50
220	40,64%	R\$1.756.078,74	40	3,16%	R\$245.875,10
240	42,54%	R\$1.816.888,60	42	3,04%	R\$268.839,20
280	45,61%	R\$1.912.984,60	45	2,88%	R\$307.107,90
300	46,83%	R\$1.937.903,76	48	2,77%	R\$329.463,50
360	49,78%	R\$2.002.593,58	52	2,57%	R\$381.131,25
400	51,33%	R\$1.990.983,49	58	2,36%	R\$432.843,00
440	52,61%	R\$1.964.396,65	64	2,19%	R\$484.704,25
500	54,15%	R\$1.953.359,65	70	2,05%	R\$535.814,00

4. CONCLUSÕES

Devido a demanda térmica dos processos industriais dos APLs e o alto potencial de radiação do Estado de Pernambuco, se torna atrativo o estudo e o uso de sistemas auxiliares termossolares. No tratamento hidrotérmico das mangas, as simulações usando o software TRNSYS mostraram que a energia termossolar contribui no atendimento dos requisitos de temperatura e demanda de calor de processo. Do ponto de vista econômico, a LCS mostrou um valor máximo para um sistema termossolar com 360 m², contribuindo com 49,8% da energia necessária para o processo ao longo do ano, gerando uma economia de mais R\$ 2.000.000,00 durante o tempo de vida útil do sistema. Por outro lado, o sistema termossolar com 90 m² apresentou o menor payback (35 meses) e a maior TIR mensal (3,54%). Desta forma, os sistemas termossolares são viáveis tecnicamente e economicamente para auxiliar no tratamento hidrotérmico de mangas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido pela Fundação Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Universidade de Pernambuco/Escola Politécnica de Pernambuco (UPE/POLI).

REFERÊNCIAS

- Abrafrutas - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados, 2020. Fruticultura – Setor em Expansão – Abrafrutas. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2018/08/fruticultura-setor-em-expansao/>>. Acesso em: 21 out. 2021.
- ADEPE - Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco, 2021. Arranjos Produtivos Locais. Disponível em: <<https://www.addiper.pe.gov.br/index.php/atuacao/arranjos-produtivos/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- Banco Central do Brasil, 2021. Taxas de juros básicas – Histórico. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- Lima, L.C., 2012. Análise de viabilidade econômico-financeira do negócio com base nas ferramentas da contabilidade

- gerencial, Monografia para obtenção do Grau de Bacharel, Ciências Contábeis, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.
- Duffie, J. A, Beckman, W., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020. Exportação de manga brasileira bate recorde em 2020, totalizando US\$ 246 milhões - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60585117/exportacao-de-manga-brasileira-bate-recorde-em-2020-totalizando-us-246-milhoes>>. Acesso em: 21 out. 2021.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Relatório final: Balanço Energético Nacional - BEN. Rio de Janeiro.
- IBGE, 2020. Relatório final: Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor SNIPC.
- Kalogirou, S. A., 2014. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Elsevier Inc.
- Leão, É. L. D. S.; Moutinho, L. M. G.; Campos, L. H. R., 2016. Arranjo produtivo local da fruticultura irrigada do vale do submédio do São Francisco, Pernambuco/Bahia: Fluxos comerciais e dinamismo local, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente v.9, n.2, pp.273–303.
- Marcelo, D. Et Al. 2016. Análisis Numérico De Transferencia De Calor En Estado Transitorio Del Sistema Jaba/Mango Utilizando En El Tratamiento Hidrotérmico Del Mango, XXIII SPES - XXIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, Huancayo.
- Ministério de Minas e Energia, 2021, Preços de GLP ao consumidor consolidados. Disponível Em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-ao-consumidor-consolidados-glp>>. Acesso Em: 20 Nov. 2021.
- Oliveira, T. R., 2019. Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para banho em vestiário de instituição pública, Monografia do Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), UFSM, Novo Hamburgo.
- Vilar, S. B. O. Et Al., 2015. Efeito Do Tratamento Hidrotérmico Associado Ao Etanol Na Qualidade De Manga Tommy Atkins, Journal of Neotropical Agriculture, v. 2 n. 2, pp. 1–8.
- Orbegoso, E. M. Et Al., 2017. Improvements in thermal performance of mango hot-water treatment equipments: Data analysis, mathematical modelling and numerical-computational simulation, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, v. 5, n. 2, pp. 219–39.
- O Orbegoso, M. E. M. Et Al., 2018. Caracterización Numérica Del Comportamiento Del Fluido Térmico De Un Sistema Típico De ‘Mangos De Caja’ Que Trabaja En Un Escenario De Tratamiento De Agua Caliente, Dyna Energía Y Sostenibilidad, v. 7, n. 1, pp. 1-15.
- Silva, G. M., 2015. Controle de Qualidade em pós colheita na importadora de mangas Norte Americana, Trabalho de conclusão de curso para obtenção do Título de Tecnóloga em Alimentos, coordenação de tecnologia em alimentos, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina.
- Solar Bosch, 2019. Ficha técnica do Coletor Solar de Banho-MC2000. Disponível Em: <https://drive.google.com/file/d/1etjrab79m7m0hanisgag_Pmvpypeauw8x/view>. Acesso Em: 2 Nov. 2021.
- Solar Payback, 2017. Energia termossolar para a indústria. Disponível Em: <<https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Energia-Termossolar-Para-A-Industria-Solar-Payback-April-2017.pdf>>. Acesso Em: 16 Mar. 2021.
- Tiznado, B. S. T.; Aldana, D. M.; Orbegoso, E. M., 2018. Análisis Hidrodinámico De Propulsores Con El Uso De Herramienta Numérico-Computacional Para Mejorar La Eficiencia Del Sistema Hidrotérmico Del Mango, Dyna Energía Y Sostenibilidad v. 7, n. 1, pp. 1-16.
- TRNSYS, 2017. Software TRNSYS. Disponível Em: <<https://sel.me.wisc.edu/trnsys/index.html>>. Acesso em: 7 set. 2021.

HYDROTHERMAL TREATMENT OF MANGOES ASSISTED BY SOLAR THERMAL ENERGY

Abstract. *The State of Pernambuco has Local Productive Arrangements – APLs related to confections, dairy products, plaster, viticulture, among others, which require process heat to heat water. In the fruit growing APL in the municipality of Petrolina, the hydrothermal treatment of mangoes is used, which consists of immersing the fruit in a tank with hot water ($T > 46.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) for 90 minutes. This treatment is necessary to control fruit flies, which is required for mangoes to be exported to countries like the United States, Japan and Chile. Considering that the energy used in this process comes from natural gas, and that Petrolina has appropriate solar radiation indices for process heat generation, the objective of this work is to study the technical and economic feasibility of use solar energy as a process heat generation to meet the demands of this industrial sector. The technical analysis of the use of thermal solar collectors was carried out using the TRNSYS software. Two scenarios were specifically analyzed in the software. The first was to validate the simulation considering natural gas as the only heat source for heating water, which is the process currently used, and the second was considering a thermosolar system with a storage tank to assist in the heat demand of the process. The economic analysis was carried out using the Life-Cycle Savings – LCS technique, which determines the gains obtained by using the thermosolar system as a function of the collector area, the payback and the IRR – Internal Rate of Return. The results showed that, for example, the LCS curve has a positive maximum value when the area of the solar collectors is 360 m² having a payback of 52 months and an IRR of 2.57% a.m. showing the attractiveness of the investment.*

Key words: Mangoes, TRNSYS, Solar thermal Energy