

# APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CACHAÇA EM ALAMBIQUES DE CORPO SIMPLES

Giordani Lopes Tavares – giordani.tavares@gmail.com

José Henrique Martins Neto – henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Mestrado em Engenharia de Energia

**Resumo.** *Algumas regiões do estado de Minas Gerais possuem alto nível de radiação direta solar sendo capaz de viabilizar o aproveitamento da energia heliotérmica em larga escala, seja para geração de eletricidade, seja para aplicação em processos térmicos. A região norte do Estado é uma das regiões com maior nível de radiação direta tendo como atividade tradicional a produção de cachaça de alambique que é reconhecida pela sua qualidade. Este trabalho tem por objetivo identificar e apresentar oportunidades para aplicação do calor gerado por concentradores solares no processo de produção artesanal da cachaça. Por meio de revisão bibliográfica e simulação computacional, reconhece-se que a energia solar pode ser empregada, dentre outros, no preaquecimento do mosto fermentado antes da destilação e, com isso, diminuir a necessidade de queima do bagaço da cana-de-açúcar. Além de reduzir a geração de poluentes ambientais e agentes agressivos à saúde humana, o bagaço que deixa de ser queimado pode ser utilizado na alimentação de animais e na adubação orgânica. Ademais, o sistema de aquecimento solar proposto pode ser usado durante a entressafra para esquentar água para uso na propriedade rural.*

**Palavras-chave:** *energia solar, calor de processo, cachaça*

## 1. INTRODUÇÃO

A energia solar é a fonte de energia mais abundante disponível no nosso planeta e, diante das questões climáticas e energéticas desfavoráveis que a humanidade precisa enfrentar, essa energia tem sido cada vez mais desenvolvida e aplicada em diversas frentes, tais como: geração de eletricidade, geração de calor e frio, dessalinização de água.

Pelo lado do consumo, o setor industrial responde por grande parte do gasto de energia de um país, por exemplo, 40% nos EUA, 60% na Índia (Jadhav, 2013) e 33% no Brasil (EPE, 2015). Do total da energia consumida pela indústria, os processos térmicos representam entre 45 e 65%, segundo Jadhav (2013). Desta forma, é evidente a importância de se buscar processos energeticamente mais eficientes para gerar calor em atividades produtivas.

Indo além, segundo Muller (2014), 38% do calor de processo usado na indústria tem temperatura até 400 °C, que é uma faixa bem atendida pela energia heliotérmica, especialmente nas tecnologias com calha parabólica/cilíndrica, refletor linear de Fresnel e, para certos casos, tubo evacuado e coletor parabólico composto até cerca de 200 °C ou coletores planos para baixas temperaturas (Kalogirou, 2004).

Diversas pesquisas e casos práticos têm sido desenvolvidos visando aplicar a heliotermia na geração de calor em processos industriais. Muller (2014) relata uma usina termossolar de 10 MWt constituída de calhas parabólicas utilizada numa planta de mineração de cobre no Chile que resultou numa economia de 55% de óleo diesel. Burin (2015) reporta uma simulação visando verificar a integração de coletores do tipo calha parabólica para preaquecimento de água em uma planta de cogeração utilizando bagaço de cana como fonte de energia principal. Também, Carnevale (2011) descreve a incorporação de concentradores do tipo calha parabólica na planta de uma indústria têxtil para geração de vapor de processo.

Trazendo a questão para o âmbito local, o nível de radiação solar em algumas regiões do estado de Minas Gerais é favorável para o desenvolvimento da heliotermia em grande escala. O Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (CEMIG, 2010) indica que cerca da metade da área do Estado possui radiação solar global diária média entre 5,5 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia, com destaque para as regiões norte e nordeste que apresentam os maiores níveis de radiação solar. Tiba (2014) estudou a implantação de uma planta solar termoeétrica no Estado e identificou seis regiões favoráveis: Janaúba, Januária, Pirapora/Unai, Pirapora/Paracatu, Curvelo/Três Marias, Patrocínio/Araxá.

Dentre as atividades típicas encontradas nessas regiões de alto nível de radiação solar, destaca-se a produção de cachaça. Na região norte de Minas Gerais, segundo Campelo (2012), se encontram mais de 30% dos estabelecimentos produtores de cachaça do Estado, com cerca de 2.500 alambiques.

Como o processo de produção de cachaça requer temperaturas de até 200 °C, conclui-se que a aplicação da energia solar de baixa e média temperatura pode ser viável para utilização na geração de calor para a atividade.

Neste trabalho discute-se a possibilidade de aproveitamento da energia solar para otimizar o processo de produção artesanal da cachaça em pequenos alambiques artesanais.

## 2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA

Segundo o Decreto Federal 6.871 de 2009, a cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana-de-açúcar produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38 a 48% em volume, a 20 °C, sendo obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até seis gramas por litro.

Nos últimos anos a cachaça tem sido valorizada e promovida como produto tipicamente nacional. Pelo Decreto Federal 4.062 de 2001, o nome “cachaça” identifica geograficamente o produto com origem exclusivamente brasileira para fins de comércio internacional. Em 2013, os EUA reconheceram a cachaça como produto distinto do Brasil.

De acordo com o Instituto Brasileiro da Cachaça (2015), existem cerca de 2.000 produtores de cachaça registrados e 4.000 marcas, a produção atual é de 800 milhões de litros por ano, sendo que 10 milhões de litros são exportados, principalmente para a Alemanha, Paraguai, EUA, França e Portugal. No entanto, números não oficiais informam 40.000 produtores e 1,4 bilhão de litros produzidos (Expocachaça, 2015).

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de cachaça artesanal feita em alambique (Maia, 2005 e SEBRAE, 2008), onde o processo tradicional de produção da bebida é reconhecido como patrimônio cultural (Lei Estadual 16.688 de 2007). A produção anual de aguardente no Estado é de 120 milhões de litros e o consumo é de 170 milhões de litros, gerando cerca de 120 mil empregos diretos e 360 mil empregos indiretos (Nogueira, 2008).

### 2.1 Descrição sucinta do processo de produção com foco na identificação de possíveis usos da energia solar

A cachaça é produzida industrialmente (coluna de destilação) ou artesanalmente (alambique). Cerca de 70% da produção de aguardente é feita em indústrias e o restante em alambiques artesanais (SEBRAE, 2008). O processo artesanal é composto das etapas indicadas na Fig. 1. Em seguida são destacados pontos do processo de produção em alambique (Maia, 2005 e Souza, 2013) que são relevantes para o presente trabalho, tendo em vista a utilização do calor gerado pelo sol.

O mosto fermentado ou vinho, produto da fermentação do caldo da cana-de-açúcar, é composto de 89 a 94% de água, 7 a 12% de álcool e 2 a 4% de outras substâncias. Após a destilação, a fração chamada de coração, que é a cachaça propriamente dita, possui teor alcoólico de cinco a seis vezes maior do que o vinho original.

A destilação (separação de dois ou mais líquidos pela diferença entre suas temperaturas de pontos de ebulição) é processada em alambiques geralmente aquecidos pela queima do bagaço da cana residual da moagem (alambique a fogo direto) ou, com melhor controle da destilação, o alambique pode ser aquecido por vapor gerado em uma caldeira que queima o bagaço de cana ou lenha (alambique a vapor).

Durante a destilação, o vinho deve ser aquecido de 78,5 a 100 °C sendo que o tempo de aquecimento necessário para se alcançar o início da destilação é cerca de 60 minutos e o processo prolongado por mais 160 minutos para a separação completa das frações.

Na destilação em alambiques, segundo Nogueira (2008), as substâncias mais voláteis que a água e o álcool são vaporizadas primeiro. Neste primeiro destilado, conhecido como destilado de cabeça, observa-se a presença de água, álcool, bases voláteis, aldeídos e ácidos. Depois da retirada da cabeça, os vapores destilados são mais ricos em etanol, com menor quantidade de impurezas voláteis, conhecido como destilado de coração, que é a base da cachaça. Por fim, é separado do vinho os vapores ricos em água e óleo fúsel, que formam a fração denominada de cauda.

Os pequenos destiladores são formados por um só corpo ou corpo simples (panela), conforme mostrado na Fig. 2. Segundo Espinoza (2006), os destiladores de corpo simples apresentam as seguintes desvantagens: tempo de produção elevado devido a espera do aquecimento do vinho, maior gasto de combustível, maior consumo de água para resfriamento, ciclo de destilação longo, ocorrência de grandes concentrações de compostos secundários pela dificuldade de separação das frações e baixo rendimento.

Alambiques de corpo duplo, representado na Fig. 3, são mais eficientes pois o vinho é preaquecido a aproximadamente 65 °C antes de ser levado à panela. Desta forma, o tempo de destilação diminui e a produtividade do alambique fica maior sem comprometer a qualidade da cachaça. O preaquecimento do vinho é feito pela passagem dos vapores gerados no corpo principal em um tanque separado onde é depositado o vinho para a próxima batelada.

Uma questão importante na etapa de envase da bebida é a limpeza das garrafas, principalmente quando essas são recicladas. A utilização de vapor ou água aquecida na limpeza e higienização não só das garrafas, mas também dos tanques e demais instalações, garante mais qualidade ao produto.

Portanto, em resumo, foram identificados três usos de calor de processo na produção da cachaça artesanal: preaquecimento do vinho, aquecimento da panela e higienização de garrafas, tanques e instalações.

### 2.2 Desvantagens da queima do bagaço da cana para o aquecimento direto do alambique

Segundo Silva (2007), o bagaço (resíduo fibroso resultante da moagem da cana para a extração do caldo) pode ser usado para fabricação de papel e papelão, alimentação animal e adubação orgânica, além de combustível na geração de energia térmica ou na cogeração de energia elétrica. Desta forma pode-se pensar na utilização deste subproduto para um fim mais nobre em vez queimá-lo para produção de calor necessário no processo de destilação.

Citando SEBRAE (2001): “As pesquisas mostram que com o uso de caldeiras bem dimensionadas, chaminés de altura adequada e um sistema de extração de cinzas eficiente, o problema da poluição é praticamente solucionado”. A

questão é ter em conta se em pequenos produtores de cachaça as caldeiras (quando usadas) e chaminés estão bem dimensionadas e o sistema de extração de cinzas é eficiente.

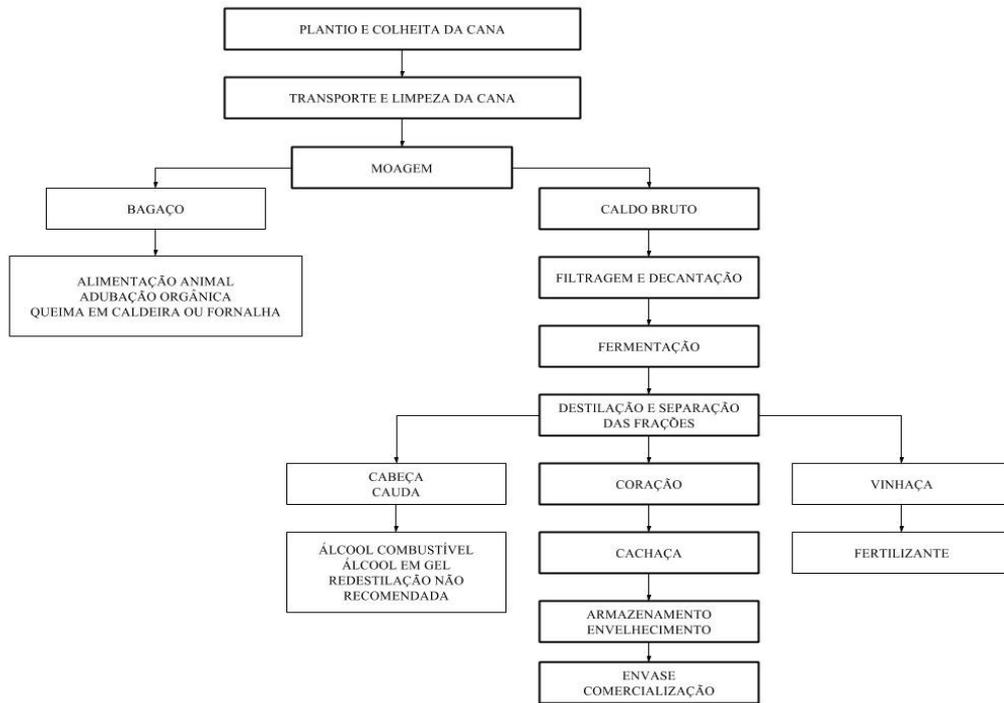


Figura 1 – Fluxograma do processo de produção de cachaça artesanal (adaptado de Souza, 2013)

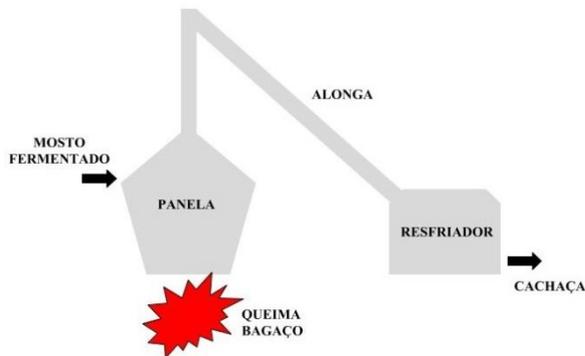


Figura 2 – Alambique de corpo simples



Figura 3 – Alambique de corpo duplo

Blond (2010) estudou a presença de sílica cristalina nas cinzas da queima da cana antes da colheita e nas cinzas do bagaço queimado no processo em indústrias sucroalcooleiras. Segundo o autor, a cana-de-açúcar é uma planta do tipo “acumuladora de silício”. O silício absorvido do solo pelas raízes da planta é acumulado na forma de estruturas chamadas fitólitos que são formados de sílica amorfa e traços de quartzo cristalino. Quando o bagaço de cana é queimado ocorre a cristalização sílica amorfa formando a cristobalita. Nas cinzas do bagaço foram identificados de 5 a 15% em peso de quartzo e 1 a 3% em peso de cristobalita. Juntando os dois elementos, pode-se ter até 18% de sílica cristalina em peso na cinza do bagaço da cana. A exposição a esses elementos pode causar doenças respiratórias graves nos trabalhadores, tais como carcinogênese e silicose. Novamente, questiona-se se os procedimentos de trabalho em pequenos alambiques observam métodos adequados de manuseio e deposição das cinzas do bagaço da cana e procedimentos de prevenção e proteção dos trabalhadores.

Ao avaliar a adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de concreto, Soares (2010) relata que tais cinzas podem conter alto teor de sílica e constituem um passivo ambiental que requer manejo eficiente. Diz ainda que por possuir baixo teor nutritivo seu uso com fertilizante não é adequado.

Em seu estudo sobre a geração de energia elétrica a partir da biomassa da cana-de-açúcar, Dantas (2010) informa que o ciclo de CO<sub>2</sub> se fecha quando esse gás emitido na queima do bagaço da cana-de-açúcar é absorvido durante o cultivo da plantação. No entanto, outros poluentes são emitidos na queima do bagaço da cana, tais como: materiais

particulados, hidrocarbonetos não queimados e óxidos de nitrogênio. Esses últimos, junto com os óxidos de enxofre, são os principais fatores causadores da chuva ácida.

Andrade (2007) aponta os poluentes gerados pela queima do bagaço: material particulado (cinzas, fuligem e outros), monóxido e dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. Cita que a fração inalável dos particulados penetra nos pulmões e diminui a capacidade respiratória.

Para cada 1000 quilos de cana-de-açúcar são produzidos 108 litros de cachaça (SEBRAE, 2005), 250 kg de bagaço úmido (Dantas, 2010) e 6 kg de cinzas quando esse bagaço é queimado em uma caldeira (Soares, 2010). Ou seja, dependendo do volume de produção de cachaça, as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar podem se tornar um passivo ambiental considerável. No entanto, não foram encontradas referências bibliográficas que tratam especificamente dessa questão em alambiques artesanais.

A época de colheita da cana depende da variedade plantada, sendo que a classificada como média tem safra entre julho e outubro. Como a moagem deve acontecer em no máximo 24 horas após o corte, a geração do bagaço se dá em período de clima seco e seu uso como alimentação animal poderia ser mais interessante do que a sua queima, conforme mencionam Nogueira (2008), Viana (2011) e Filho (2012).

Para o aproveitamento do bagaço não queimado, Filho (2012) sugere a integração suíno-cachaça com a utilização do bagaço picado como cama de suíno e a utilização dessa cama como matéria orgânica na lavoura da própria cana ou de outras culturas, como forma de evitar a poluição ambiental pelos dejetos dos suínos. De acordo com Oliveira (2003), a cama de suínos é uma técnica estudada no Brasil desde 1993 para melhoria do manejo dos dejetos de suínos. Dentre suas vantagens estão: melhor aproveitamento da cama como fertilizante agrícola devido a maior concentração de nutrientes; redução em mais de 50% na emissão de amônia em comparação com o piso ripado; maior aproveitamento de resíduos na zona de produção; menor custo de armazenamento, transporte e distribuição dos resíduos como fertilizante.

De acordo com SEBRAE (2008), os pequenos produtores ou produtores artesanais são geralmente representados por empresas familiares e que, em muitas vezes, tem na produção de cachaça uma complementação de renda, principalmente na entressafra agrícola. Isso se dá em mais de 50% dos casos, onde há associação com outras atividades agrícolas, como milho, feijão, café e leite (típicos da região de Minas Gerais).

Sendo assim, nos alambiques artesanais espera-se encontrar processos de produção simples e sem controles ambientais dos poluentes gerados pela queima do bagaço (Fig. 4). Por isso, nesse estudo, busca-se a otimização do processo com a diminuição de fatores poluentes e nocivos à saúde humana (materiais particulados, sílicas e óxidos de nitrogênio) e o uso majoritário do bagaço em aplicações mais interessantes (adubo e alimentação animal).



Figura 4 – Alambique simples com fornalha para queima de bagaço (Nogueira, 2008)

### 2.3 Caso de referência neste trabalho

Em SEBRAE (2005), apresenta-se um estudo de viabilidade econômica detalhado para a produção de 60.000 litros de cachaça por safra (seis meses em um ano), com duas alambicadas de 1.200 litros de mosto fermentado e destilação de 400 litros de cachaça por dia. Análise semelhante é mostrada por Maia (2005) para a produção de 100.000 litros de cachaça por safra (quatro alambicadas de 1.000 litros de mosto fermentado e destilação de 833 litros da cachaça por dia). Estes estudos são considerados aqui como parâmetros de produtividade (100 litros de mosto fermentado produzem 16 litros de cachaça). Porém, o foco será dado para pequenos produtores artesanais (até 10.000 litros por safra), onde o ganho com a não queima do bagaço é mais significativa para a saúde do operador devido a uma possível ausência de processos de controle dos poluentes gerados nesse nicho. A Tab. 1 apresenta a classificação dos produtores de cachaça segundo o volume produzido.

Tabela 1 – Classificação dos produtores de cachaça (Campelo, 2012)

<b>Classificação</b>	<b>Produção (litros por safra)</b>
Artesanal	Até 10.000
Profissional	De 10.000 a 40.000
Empresarial	Acima de 40.000

### 3. GERAÇÃO DE CALOR DE PROCESSO ATRAVÉS DA ENERGIA HELIOTÉRMICA

O uso da energia solar para geração direta de energia elétrica (painéis fotovoltaicos) e aquecimento de água (coletores planos) consistem até o presente nas aplicações mais usuais no Brasil. No entanto, a heliotermia tem sido utilizada em diversas aplicações e sido cada vez mais difundida mundialmente. O calor gerado pela energia solar pode ser utilizado para dessalinizar a água, gerar eletricidade de forma indireta através do acoplamento de um campo solar a um bloco de potência turbina-gerador, gerar calor e frio para processos industriais, entre outros usos.

A escolha da tecnologia do coletor solar para aplicação em processos industriais está intrinsecamente relacionada à temperatura requerida no processo e, conseqüentemente, à temperatura do fluido de trabalho nos coletores solares. Definida a temperatura de trabalho e os tipos de coletores que podem atendê-la, deve-se comparar a eficiência térmica de cada coletor na temperatura definida. Outros fatores também devem ser considerados de acordo com o projeto em questão, por exemplo: espaço disponível, necessidade e facilidade de manutenção, disponibilidade e custo da tecnologia.

#### 3.1 Aplicação da energia solar na produção da cachaça

Na seção 2.1 deste trabalho foram identificados três processos térmicos envolvidos na produção da cachaça: aquecimento do destilador, preaquecimento do vinho e higienização das garrafas e instalações (por exemplo: lavagem dos pisos e tanques com água quente). Considerando o tipo de destilador (corpo simples ou duplo) e a forma de aquecimento do mesmo (fogo direto ou vapor), além da geração de calor para higienização, são vislumbrados os cenários demonstrados na Tab. 2 para integração da energia solar em alambique existente. Observa-se que, se o alambique funciona com queima de bagaço e já possui preaquecimento convencional do vinho, a única aplicação da energia solar, sem grandes modificações no processo existente, é na limpeza das instalações.

Tendo em vista os cerca de 2.500 alambiques funcionando no norte do estado de Minas Gerais, a integração da energia solar em um processo existente deve buscar a maior viabilidade técnica dessa interligação, com menor investimento e mínimas interferências na instalação, sem comprometer a confiabilidade e a qualidade da atividade. Dessa forma, o sistema proposto neste trabalho consiste no preaquecimento do vinho da cana-de-açúcar em alambique existente, artesanal, com destilador de corpo simples aquecido pela queima direta do bagaço, com produção anual de 10.000 litros de cachaça por safra de seis meses ou 56 litros de cachaça por dia.

Tabela 2 – Cenários para integração de energia solar térmica à produção de cachaça em alambique existente

<b>Forma de aquecimento do alambique</b>	<b>Tipo de destilador</b>	
	<b>Corpo simples (sem preaquecimento do vinho)</b>	<b>Corpo duplo (com preaquecimento do vinho)</b>
<b>Fogo direto (queima de bagaço de cana)</b>	Energia solar para preaquecer o vinho	Não aplicável sem grandes modificações no processo
<b>Vapor gerado em caldeira (queima de lenha ou bagaço de cana)</b>	Energia solar para preaquecer o vinho e a água que alimenta a caldeira	Energia solar para preaquecer a água que alimenta a caldeira

Como premissa, na seleção do tipo de coletor solar para preaquecer o vinho foram considerados somente coletores estacionários a fim de facilitar a instalação e as manutenções futuras, tendo em vista que os pequenos alambiques normalmente se localizam em regiões rurais de difícil acesso e com escassez de mão de obra especializada.

Kalogirou (2004) apresenta a faixa de temperatura indicada para cada tipo de coletor. Para preaquecer o vinho até 60 °C os coletores do tipo placa plana e com tubo evacuado são apropriados, pois trabalham na faixa de 30 a 80 °C e de 50 a 200 °C, respectivamente. Em termos de eficiência térmica, para uma diferença de 40 °C entre as temperaturas ambiente e do fluido e com uma irradiância de 1.000 W/m<sup>2</sup>, o coletor com tubo evacuado apresenta eficiência superior (aprox. 0,73) ao coletor com placa plana (aprox. 0,52). Essa vantagem é menor em relação aos coletores com placa plana avançados que possuem cobertura seletiva e melhorias nas técnicas de soldagem e apresentam eficiência térmica de aprox. 0,61 (Kalogirou, 2004). Apesar disso, tendo em vista a sua maior disponibilidade e popularidade, o coletor com placa plana será adotado nesse trabalho.

### 3.2 Dimensionamento e simulação computacional

Adotando a produtividade apresentada por Maia (2005), em que 1.000 litros de vinho com teor alcoólico de 8,5% produzem 160 litros de cachaça contendo 46% de álcool, para produzir 56 litros de cachaça é necessária uma batelada de 350 litros por dia. Os parâmetros adotados no cálculo do calor necessário para aquecer o vinho estão indicados na Tab. 3.

Partindo-se de uma temperatura de 20 °C, pretende-se aquecer o vinho até 60 °C, em média, por dia de safra de junho a novembro. O calor necessário em um dia para elevar a temperatura da mistura em 40 °C é de 13.364 kcal/dia ou 55,9 MJ/dia ou 15,5 kWh/dia ou 466,2 kWh/mês.

Tendo em vista que um coletor solar plano classe A, segundo o INMETRO, produz, em média, 80,3 kWh/mês.m<sup>2</sup>, é necessária uma área de 5,8 metros quadrados de coletor para aquecer a mistura água-álcool.

Tabela 3 – Dados para cálculo do calor necessário para aquecer o vinho

Vinho (litro)	Composição	% em volume	Volume (litro)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)	Calor específico (kJ/kg.K)	Capacidade térmica (kJ/K)
350	água	91,5	320,25	1000	320,25	4,18	1.338,65
	álcool	8,5	29,75	789	23,47	2,47	57,97

O fluido de trabalho selecionado foi água, circulada por meio de uma bomba de circulação, sendo assumida uma vazão mássica específica de 0,01 kg/s.m<sup>2</sup>, o que equivale a uma vazão mássica, de 0,058 kg/s.

Para minimizar a manipulação e evitar o bombeamento do vinho, o que poderia imputar alguma alteração da qualidade da cachaça produzida, foi considerado um sistema de aquecimento indireto do mesmo, conforme mostrado na Fig. 5, utilizando-se um trocador de calor (água-vinho) imerso em um tanque específico para essa finalidade, que recebe o vinho após a fermentação e o encaminha preaquecido para a panela principal.

O sistema foi simulado utilizando a plataforma TRNSYS (TRAnscient SYstem Simulation), conforme esquema apresentado na Fig. 6, adotando-se os dados meteorológicos de Belo Horizonte, que é localidade mais próxima disponível na base de dados do programa, com o coletor solar voltado para o norte com inclinação de 30°. O período da simulação foi referente ao período de safra ou seja, do início de junho até o final de novembro, com o funcionamento do sistema solar para preaquecimento do vinho ocorrendo das 8h às 16h, de forma que após as 16h o processo de destilação e separação das frações continue e seja concluído dentro de um expediente normal de trabalho.

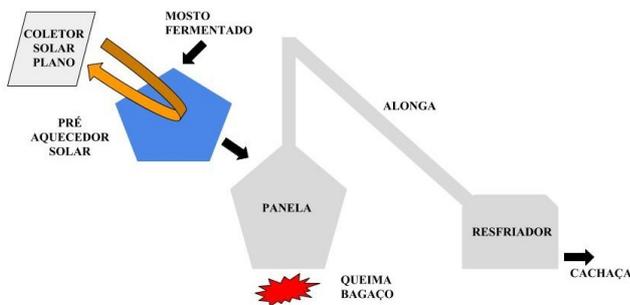


Figura 5 – Arranjo para preaquecer o vinho

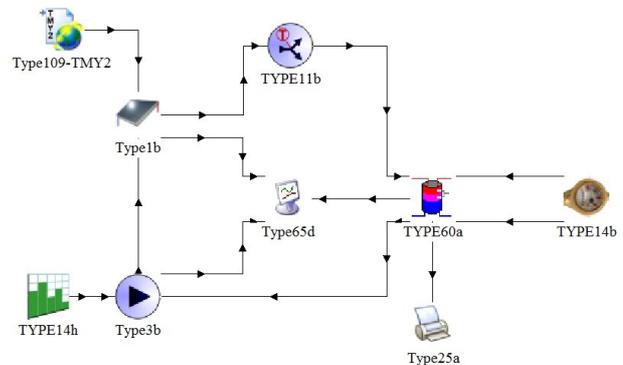


Figura 6 – Esquema simulado no programa TRNSYS

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do vinho no interior do tanque é apresentada na Fig. 7, considerando o período de junho a novembro. Observa-se que nos dois primeiros meses a temperatura média do vinho no preaquecedor solar ultrapassa os 30 °C. A partir de agosto, a temperatura do vinho alcança valores progressivamente maiores, frequentemente ultrapassando os 50 °C.

Em certos dias de outubro e novembro a temperatura do vinho passa de 70 °C e, por isso, deve ser controlada pois, como o álcool começa a evaporar em torno de 73 °C, há risco do processo de evaporação do líquido se inicie antes da transferência do mesmo para o destilador propriamente dito (panela). Uma opção é controlar o tempo de permanência do vinho no tanque de preaquecimento até que atinja a temperatura de 65 °C.

Considerando um ganho médio de 15 °C na temperatura do vinho pode-se avaliar a quantidade de bagaço de cana-de-açúcar que deixou de ser queimada. Com base nos dados da seção 3.2 deste trabalho, cerca de 21 MJ são fornecidos pelo sol para aquecer em 15 °C a mistura água-álcool. De acordo com Viana (2011), o poder calorífico inferior do

bagaço da cana-de-açúcar é, em média, igual a 3.653,71 kcal/kg (15,3 MJ/kg). Logo, considerando um rendimento de 85% (Silva, 2001) na fornalha, cerca de 1,6 kg de bagaço de cana-de-açúcar deixam de ser queimados por dia e podem ser usados, por exemplo, na complementação da alimentação de suínos. O valor parece pequeno, a princípio, mas se computado o ganho em escala, somente no norte do estado de Minas Gerais, os 2.500 produtores de cachaça tem potencial para deixar de queimar várias toneladas de bagaço de cana por dia.

Outro ponto interessante é que fora do período de safra da cana-de-açúcar e da produção da cachaça o sistema de aquecimento pode, com poucas adaptações, ser usado para aquecer água para uso na propriedade rural, por exemplo, para o banho doméstico.

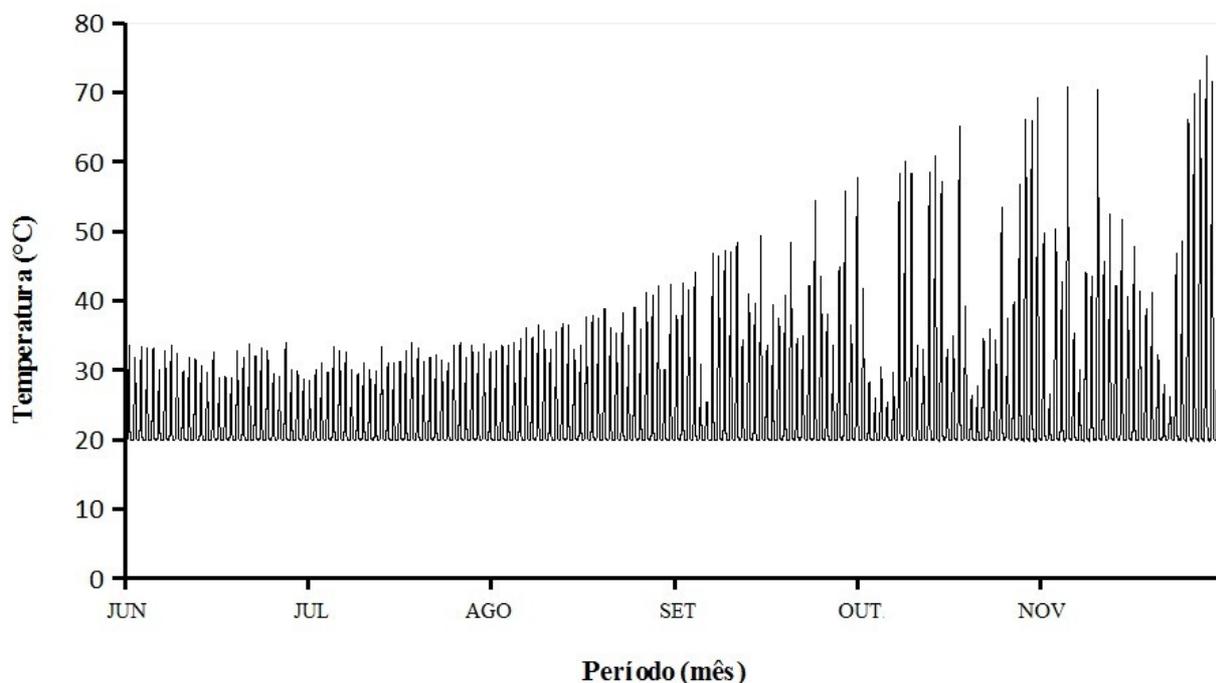


Figura 7 – Temperatura média do vinho no interior do tanque de junho a novembro

## 5. CONCLUSÕES

O processo de produção da cachaça de alambique possui potencial para uso da energia solar na geração de calor e aplicação no preaquecimento do mosto fermentado (caso simulado neste trabalho), no aquecimento da panela principal e na geração de vapor ou água aquecida para limpeza das instalações e lavagem de garrafas.

O uso da energia solar nesse processo pode diminuir a queima do bagaço da cana-de-açúcar, reduzir a emissão de óxidos de nitrogênio (um dos causadores da chuva ácida), materiais particulados e cinzas contendo sílicas (prejudiciais à saúde humana).

O bagaço não queimado pode ser utilizado como complementação na alimentação animal de bovinos e suínos, piso/cama nos recintos de criação de suínos ou compostagem de adubo orgânico.

Além do uso no alambique, o sistema de aquecimento solar pode ser utilizado complementarmente para aquecer água para uso na propriedade rural durante a entressafra.

Como trabalhos futuros, vislumbra-se: o estudo e a simulação das demais aplicações da energia termosolar no processo de produção da cachaça, inclusive para médio e grandes produtores; a integração com outras atividades agropecuárias; a avaliação de outros tipos de coletores solares no processo (por exemplo: coletor com placa plana avançado e coletor com tubos evacuados) e estudos de viabilidade econômica; podendo-se chegar no que seria uma “cachaça ecológica” com produção majoritariamente energizada pelo sol.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, J. M. F., Diniz, K. M., 2007. Impactos ambientais da agroindústria da cana-de-açúcar: subsídios para a gestão, Monografia especialização, USP, Piracicaba.
- Blond, S. L., Horwell, C. J., Williamson, B. J., Oppenheimer, C., 2010. Generation of crystalline silica from sugarcane burning, *Journal of Environmental Monitoring*, n. 12, pp. 1459–1470.
- Burin, E. K., Buranello, L., Giudice, P. L., Vogel, T., Gorner, K., Bazzo, E., 2015. Boosting power output of a sugarcane bagasse cogeneration plant using parabolic trough collectors in a feedwater heating scheme, *Applied Energy*, n 154, pp. 232–241.
- Campelo, E. A. P., 2012. Agronegócio da cachaça de alambique de Minas Gerais: panorama econômico e social,

- Revista Informe Agropecuário, n 217, pp. 7-18, Belo Horizonte.
- Carnevale, E. A., Ferrari, L., Paganelli, s., 2011. Investigation on the feasibility of integration of high temperature solar energy in a textile factory, *Renewable Energy*, n 36, pp. 3517-3529.
- CEMIG, 2010. Atlas solarimétrico de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Dantas, D. N., 2010. Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista, Dissertação de mestrado USP, São Carlos.
- EPE, 2015. Balanço energético nacional, EPE, Rio de Janeiro.
- Espinoza, L. J. S., 2006. Tecnologia de produção de cachaça, Minicurso CRQ IV região, Ribeirão Preto.
- Expocachaça, 2015. Disponível em: <<http://www.expocachaça.com.br/bh/numeros-da-cachaca.shtml>>, acesso em: 10/09/2015.
- Filho, A. R., Oliveira, S. G., 2012. Produção de cachaça integrada com outras atividades rurais: uma alternativa para preservar o meio ambiente e aumentar a renda da propriedade, *Revista Informe Agropecuário*, n 217, pp. 67-73, Belo Horizonte.
- Instituto Brasileiro da Cachaça, 2015. Informações à imprensa. Disponível em: <[http://ibrac.net/images/PDF/Informacoes\\_Imprensa\\_IBRAC\\_Cachaca\\_2015.pdf](http://ibrac.net/images/PDF/Informacoes_Imprensa_IBRAC_Cachaca_2015.pdf)>. Acesso em: 07 setembro 2015.
- Jadhav, A. S., Gudekar, A. S., Patil, R. G., Kale, D. M., Panse, S. V., Joshi, J. B., 2013. Performance analysis of a novel and cost effective CPC system, *Energy Conversion and Management*, n 66, pp 56–65.
- Kalogirou, S. A., 2004. Solar thermal collectors and applications, *Progress in energy and combustion science*, n 30, pp. 231-295.
- Maia, A. B. R. A., Campelo, E. A. P., 2005. Tecnologia da cachaça de alambique, SEBRAE/MG, SINDBEBIDAS, Belo Horizonte.
- MME, 2005. Balanço de energia útil, MME.
- Muller, C., Rau, C., Schrufer, J., 2014. CSP in non-electrical application, Projeto energia heliotérmica.
- Nogueira, R. M., 2008. Análise da produção sustentável de álcool combustível, aguardente e leite, a partir da cana-de-açúcar, Dissertação de mestrado UFV, Viçosa.
- Oliveira, P. A. V., Nunes, M. L. A., Mores, N., Amaral, A. L., 2003. Perguntas e respostas – sistema de cama sobreposta, Emprapa, Concórdia.
- SEBRAE, 2001. Recomendações de controle ambiental para produção de cachaça, SEBRAE/ES, Vitória.
- SEBRAE, 2005. Estudo de viabilidade econômica – simulação da produção de 60.000 litros de cachaça/safra, SEBRAE/MG, Belo Horizonte.
- SEBRAE, 2008. Cachaça artesanal – relatório completo, SEBRAE/ESPM.
- Silva, J. S., 2001. Secagem e armazenamento de café – tecnologias e custos, UFV, Viçosa.
- Silva, J. S., 2007. Produção de álcool na fazenda e em sistema cooperativo, Viçosa.
- Soares, M. M. N. S., 2010. Influência das condições de queima nas características físico-químicas das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, Dissertação de mestrado UFMG, Belo Horizonte.
- Souza, L. M., Alcarde, A. R., Lima, F. V., Bortoletto, A. M., 2013. Produção de cachaça de qualidade, ESALQ, Piracicaba.
- Tiba, C., Reis, R., Costa, J., Azevedo, V., Abreu, J., Alves, M., Guimarães, D., Porto, M., 2014. Siting study of solar thermoelectric plants in the state of Minas Gerais, *Journal of Geographic Information System*, n 6, pp. 423-439.
- Viana, L. F., 2011. Potencial energético do bagaço e palhico de cana-de-açúcar, cv. SP80-1842, em área de alambique artesanal, Tese de doutorado UFLA, Lavras.

## APPLICATION OF SOLAR ENERGY IN OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CACHAÇA PRODUCTION IN SINGLE BODY ALEMBICS

**Abstract.** *Some regions of Minas Gerais state have a high level of solar direct radiation being able to facilitate the use of solar thermal energy on a large scale, either to generate electricity, either for use in thermal processes. The northern part of the state is one of the regions with the highest level of direct radiation having as activity the traditional alembic cachaça production that is recognized for its quality. This work aims to identify and present opportunities for application of heat from solar concentrators in the process of production of cachaça. Through literature review and computer simulation, it is recognized that solar energy can be used, among others, in preheating the fermented before distillation and thereby reduce the need for burning the bagasse from sugarcane. In addition to reducing the generation of environmental pollutants and aggressive substances to human health, the bagasse which ceases to be burned can be used for animal feed and organic fertilizer. Moreover, the proposed solar heating system can be used during the off season to heat water for use on the farm.*

**Key words:** solar energy, process heat, cachaça