

USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA PARA SECAGEM E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS

Mayra Cristina Silva Santos (UFOP) mayra_cristinaa@hotmail.com

Mayara Fernanda Silva e Santos (UFOP) mayara_fss@yahoo.com.br

Karine Paola Paixão dos Santos (UFSJ) karineppaixao@gmail.com

Maria Amélia Pereira (UFOP) maria.pereiraamelia@gmail.com

Edson Antônio Gonçalves de Souza (UFOP) edagshp@gmail.com

Resumo

Com a globalização, a queima de combustíveis fósseis vem sendo realizada em grande escala. Em virtude disso, torna-se necessário o uso de fontes alternativas de energia para reduzir a emissão de poluentes causadores do efeito estufa. A energia solar, por ser renovável, se destaca como uma fonte de energia alternativa, podendo ser empregada na secagem de grãos substituindo as fontes já utilizadas que causam impactos ambientais. Nesse sentido, o presente estudo buscou analisar o processo de secagem de grãos de milho em um secador de leito fixo utilizando as energias solares térmica e fotovoltaica como fontes de energia, por meio do projeto e da análise de viabilidade da implantação do sistema solar no processo de secagem. Com base nos resultados obtidos, foi constatado que o sistema não é viável, considerando pequenos produtores.

Palavras-chave: energias renováveis; energia solar; secagem de grãos de milho

1. Introdução

Com o advento da questão da sustentabilidade, faz-se necessário que o desenvolvimento econômico seja realizado de forma que se interfira o mínimo possível no ecossistema. Dessa forma, o uso de energias renováveis se apresenta como uma alternativa para manutenção dos recursos naturais.

Segundo Moraes Junior (2012), recursos renováveis são aqueles disponíveis, pela natureza, a uma taxa igual ou maior à taxa em que são consumidos. As energias renováveis são oriundas de recursos naturais que são capazes de se regenerar, como sol e vento, e são a melhor alternativa para diminuir o uso de combustíveis fósseis e minimizar os danos causados por eles.

As energias renováveis podem ser empregadas em diversas áreas, como no setor agrícola. Neste setor, a produção de grãos se destaca como um dos principais ramos, englobando várias etapas - desde o plantio, passando pela secagem, até o armazenamento.

Etapa fundamental do processo de produção, a secagem representa um consumo de cerca de 15% da energia total da etapa de pós-colheita. A secagem de grãos consiste na remoção de parcela da água neles contida, visando sua conservação para o consumo e/ou armazenagem (COSTA, 2008). Para a realização da secagem, utiliza-se predominantemente a lenha como combustível. Porém, a queima da lenha para produção de energia contribui com o agravamento do efeito estufa, causador do aquecimento global.

Assim, de forma a minimizar o impacto ambiental causado pela queima do combustível realizada nas secagens convencionais e visando reduzir custos de implementação e de operação, propõe-se o emprego de energias renováveis no processo de secagem de grãos.

O presente trabalho tem como objeto de estudo a secagem de grãos de milho, um dos grãos mais cultivados no mundo, utilizando energias renováveis. Para a realização da secagem, a energia térmica será utilizada para aquecer o ar de secagem e a energia fotovoltaica será fonte de energia elétrica.

2. Revisão da literatura

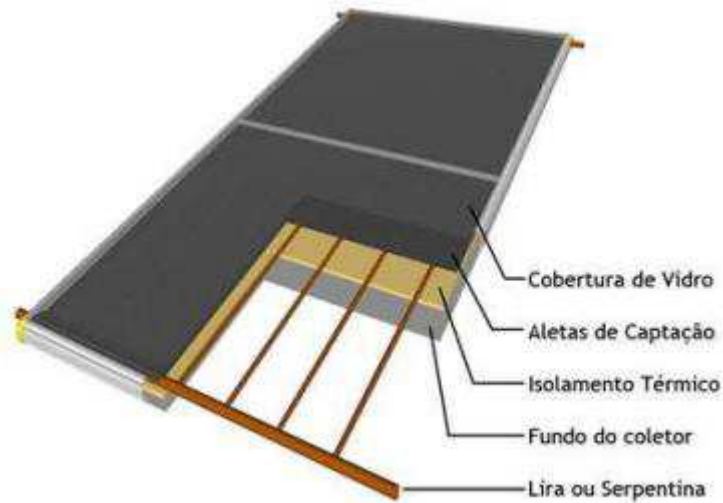
2.1. Energia térmica

A energia térmica aproveita, sob forma de calor e por meio do processo termodinâmico, a energia solar para aquecimento de água, geração de energia elétrica e secagem de produtos agropecuários (VANNI, 2008).

A energia solar é captada por coletores ou por concentradores solares, que através de processos térmicos, é transformada em calor.

O coletor solar plano, muito utilizado na secagem de grãos a baixas temperaturas, recebe a energia oriunda do sol e a transforma em energia térmica. Segundo Rosa (2012), um coletor é constituído por uma caixa que possui em seu interior tubos, geralmente feitos de cobre, por onde circulam o fluido. As aletas de captação são responsáveis pela absorção da energia solar e por convertê-la em energia térmica, transmitindo-a ao fluido por meio dos tubos, e são revestidas de escuro para a maior absorção da radiação solar incidente. Sua cobertura é transparente para minimizar interferências na passagem dos raios solares. A Figura 2.1 exibe um coletor plano fechado e seus principais componentes.

Figura 2.1 - Coletor solar plano fechado



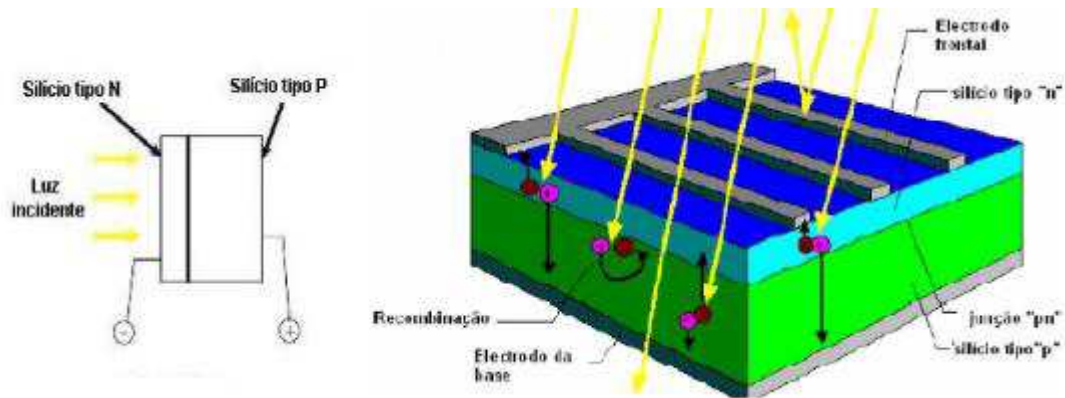
Fonte: Garcia (2014)

2.2. Energia fotovoltaica

A energia solar pode ser convertida em energia elétrica através da absorção da luz por uma superfície semicondutora, fato que ficou conhecido como efeito fotovoltaico. Esse efeito, descrito por Edmond Becquerel em 1839, consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor devido à absorção da luz (CRESESB, 2006). A energia dos fótons presentes na luz solar é transferida para os elétrons, que então podem se movimentar, gerando a energia elétrica. Os fótons são convertidos em energia elétrica através das células solares. Se combinadas com uma bateria, essa energia pode ser armazenada.

Uma célula fotovoltaica muito utilizada, fabricada em Silício é mostrada na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Esquema e vista em corte de uma célula fotovoltaica



Fonte: Subida (2015)

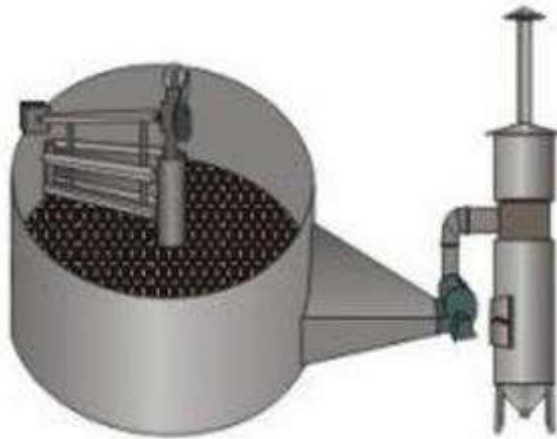
2.3. Secagem de grãos

Segundo Silva et al. (2000), a secagem é uma etapa de pré-processamento de grãos em que ocorre a transferência simultânea de calor e massa (umidade) entre o ar de secagem e o grão, visando a remoção de parte da água contida nele.

A secagem pode ser feita de forma natural ou artificial. Na secagem natural, o produto é disperso na planta de secagem. Já a secagem artificial é realizada em secadores mecânicos, onde o ar aquecido é impulsionado por ventiladores.

Um secador amplamente usado para sistemas de secagem é o de leito fixo. Nele, os grãos são colocados em uma coluna de secagem, que pode ser construída de chapas metálicas, madeira ou alvenaria, em que o ventilador promove a passagem do ar quente, proveniente da fornalha, pela massa de grãos (PORTELLA E EICHELBERGER, 2001). Nos secadores em que a camada de grãos permanece estática, recomenda-se que o revolvimento dos grãos seja feito a cada três horas, para que eles sequem uniformemente. Para evitar esse tipo de trabalho manual, são comercializados secadores com um sistema mecânico para fazer o revolvimento, conforme a Figura 2.3.

Figura 2.3 - Secador de leito fixo



Fonte: Polidryer Indústria e Comércio de Máquinas Ltda (2017)

Para que seja realizado o aproveitamento da energia solar na secagem de grãos, recomenda-se que seja adotado o sistema de secagem a baixa temperatura, em que a temperatura do ar de secagem é superior em até 10°C que a temperatura ambiente, devido à menor quantidade de energia consumida.

3. Metodologia

Este estudo objetiva analisar a implementação de um sistema solar como fonte de energia para secagem de grãos de milho, considerando dados da cidade de Ouro Preto - MG. Para tanto, foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Levantamento bibliográfico: buscou-se realizar um levantamento bibliográfico acerca dos temas abordados;
- Cálculo das variáveis: determinou-se as variáveis que influenciam na secagem de grãos de milho, e a partir delas, calculou-se o tempo de secagem;
- Análise energética: estimou-se o total de energia necessário à realização do processo;
- Dimensionamento dos sistemas solares: calculou-se a área do coletor solar e definiu-se o painel fotovoltaico;
- Avaliação dos resultados: avaliou-se os resultados comparando o investimento total no sistema com o valor que seria pago à concessionária local (CEMIG) se fosse utilizada sua energia. A partir disso, verificou-se a viabilidade do sistema proposto.

4. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento deste trabalho considerou-se o protótipo do silo desenvolvido por Monteiro (2002), conforme a Figura 4.1, formado por dois tambores de metal unidos por solda,

cada um possui aproximadamente 0,83 m de altura e 0,57 m de diâmetro. O fundo é constituído por uma placa metálica perfurada, na lateral há um orifício com tampa por onde os grãos serão recolhidos, e o topo é aberto. A capacidade total do silo é de 0,42 m³.

Figura 4.1 - Silo protótipo

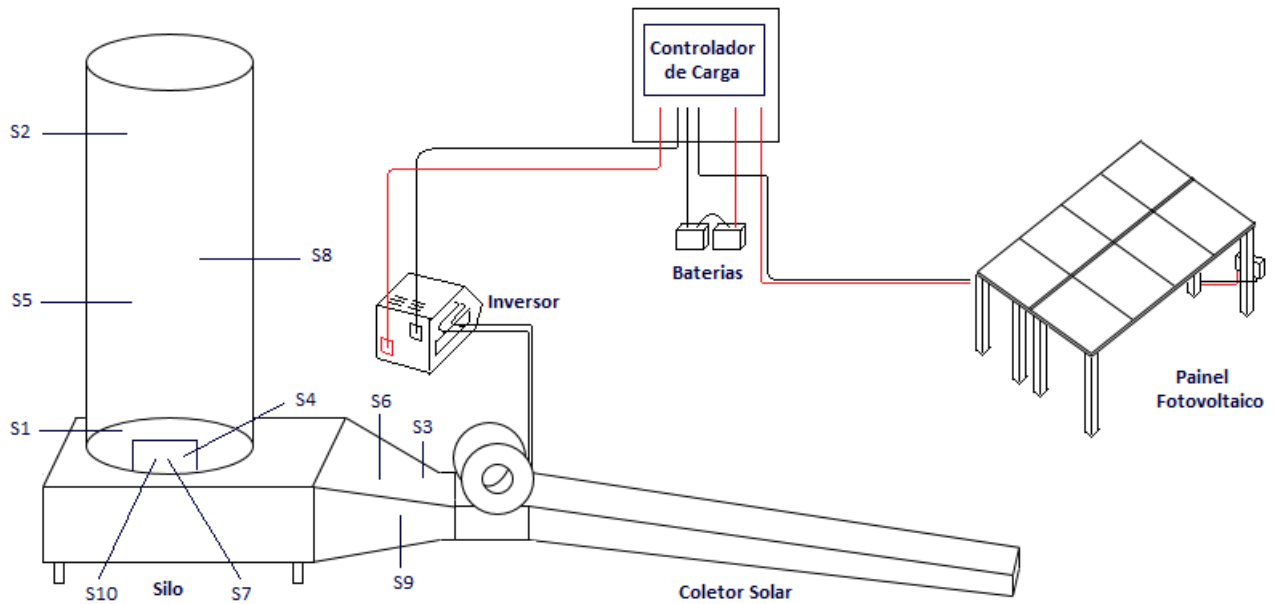


Fonte: Monteiro (2002)

Como o objetivo do presente trabalho é a utilização de energias renováveis na secagem de grãos de milho, foram necessárias algumas adaptações no silo. Propôs-se então a inclusão de um coletor solar, de um painel fotovoltaico, de um inversor, de um controlador de carga e de um banco de baterias.

A Figura 4.2 apresenta o secador de grãos proposto neste trabalho.

Figura 4.2 - Secador de grãos proposto



- S1 – Sensor de nível – camada mínima
- S2 – Sensor de nível – camada máxima
- S3 – Sensor de umidade – ar de entrada
- S4 – Sensor de umidade – ar de saída
- S5 – Sensor de umidade – produto
- S6 – Sensor de temperatura – ar de entrada
- S7 – Sensor de temperatura – ar de saída
- S8 – Sensor de temperatura – produto
- S9 – Sensor de vazão – ar de entrada
- S10 – Sensor de vazão – ar de saída

Fonte: Elaborado pelos autores

4.1. Seleção e cálculo de variáveis

Nesta seção, são definidas e calculadas variáveis cruciais para a realização do processo de secagem. Com relação ao dimensionamento, o sistema será projetado para operar em sua capacidade máxima.

De acordo com Silva et al. (2000), o teor de umidade ótimo para colheita do milho varia entre 20 e 22% b.u. Como o objetivo é minimizar o gasto de energia, adotou-se que o milho deve ser colhido quando o seu teor de umidade for igual a 20% b.u.

Ao término do processo, espera-se que o teor de umidade dos grãos de milho seja de aproximadamente 14% b.u.

Para a Embrapa (2011), na secagem do milho em baixa temperatura o fluxo de ar de secagem deve ser de 1,0 a 10 m³/min.t. Como o sistema está sendo projetado considerando a capacidade máxima, adotou-se o fluxo de ar de 10 m³/min.t.

Visto que a capacidade do silo é de 0,42 m³ e que o peso específico do milho é 750 kg/m³, podem ser carregados 315 kg do produto. Propõe-se que a quantidade de milho a ser seca seja de 270 kg, que enche o silo até 1,44 m e ocupa um volume de 0,36 m³.

Para o cálculo do tempo de secagem foi utilizado o método balanço de energia entre os grãos e ar, descrito por Silva et al. (2000). Para tanto, considerou-se o aquecimento do ar devido ao atrito nas pás do ventilador 1 °C (SILVA et al., 2000); a temperatura do ar ambiente T = 17°C, segundo a Prefeitura Municipal de Ouro Preto; a umidade relativa (H) 80% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2017) e o calor específico do ar (C_a) igual a 0,24 cal/g°C. A massa específica do milho (d) = 685,94 kg/m³ foi obtida por meio de uma interpolação da Tabela 3 - Massa específica granular, em kg.m⁻³, de algumas espécies de grãos, de Silva et al. (2000).

Para determinar o aumento na temperatura que o sistema de aquecimento do ar deve proporcionar, utilizou-se a Tabela 4.1, que indica o teor de umidade de equilíbrio dos grãos em função da umidade relativa e da temperatura do ar de secagem.

Tabela 4.1 - Umidades de equilíbrio do milho, % b.u., em função da temperatura e umidade relativa do ar de secagem

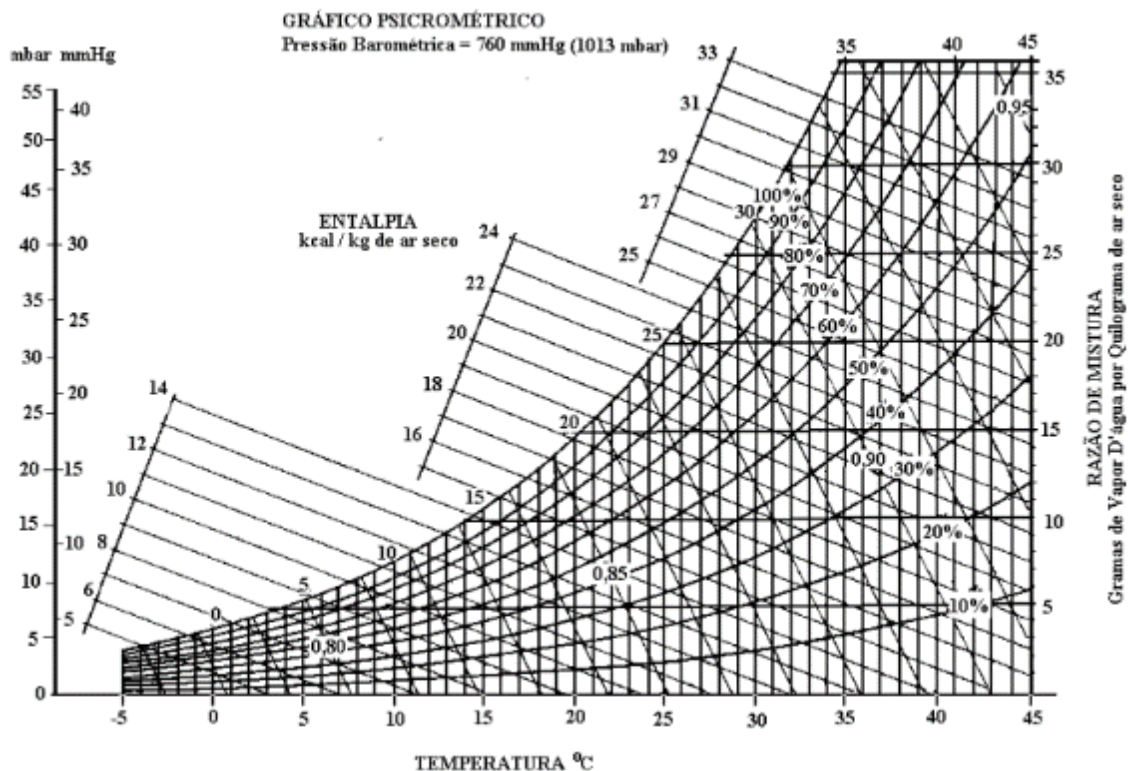
Temperatura. °C	Umidade relativa (%)						
	50	55	60	65	70	75	80
16	11,6	12,4	13,3	14,2	15,0	16,0	17,1
18	11,5	12,3	13,1	13,9	14,8	15,8	16,9
20	11,3	12,1	12,9	13,7	14,6	15,6	16,7
22	11,2	11,9	12,7	13,6	14,4	15,4	16,5
24	11,0	11,8	12,4	13,4	14,3	15,2	16,3
26	10,9	11,6	12,3	13,2	14,2	15,0	16,1
28	10,7	11,5	12,1	13,1	13,9	14,9	15,9
30	10,6	11,3	12,0	12,9	13,8	14,7	15,7
32	10,5	11,2	11,8	12,8	13,6	14,5	15,5
34	10,4	11,1	11,7	12,6	13,4	14,4	15,4

Fonte: Silva et al. (2000)

Pela Tabela 4.1, e considerando as condições acima mencionadas, tem-se que o teor de umidade dos grãos de milho é de 17% b.u.

Levando em conta o aquecimento do ar causado pelo ventilador (1 °C), obteve-se, por meio do gráfico psicrométrico exibido na Figura 4.3, a umidade relativa do ar de 75%. Tendo a temperatura (18 °C) e a umidade relativa (75%), o teor de umidade dos grãos é de 15,8% b.u., de acordo com a Tabela 4.1, valor ainda superior ao desejado (14% b.u.). Dessa forma, aumentando-se a temperatura em 2 °C e obtendo sua umidade relativa (65%), observa-se que o teor de umidade dos grãos cai para 13,7% b.u. Portanto, conclui-se que o sistema de aquecimento deve aquecer o ar de secagem em 2 °C.

Figura 4.3 – Gráfico psicrométrico



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2000)

Com base nesses dados, o cálculo das variáveis necessárias ao processo foi feito a partir das equações mostradas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Fórmulas utilizadas para o cálculo das variáveis

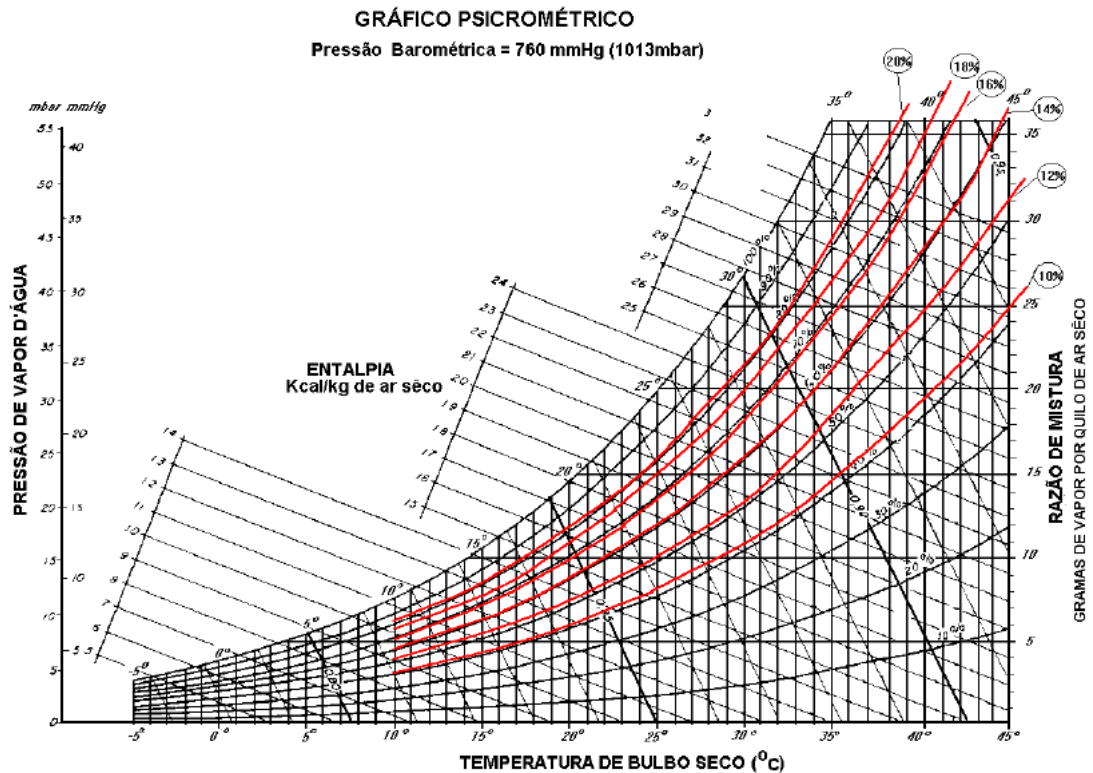
Grandeza	Fórmula	Identificação
Vazão do ar de secagem	$(Q) = \text{fluxo de ar (m}^3/\text{min.t)} \times Mu (t)$	(1)
Massa úmida	$Mu = \text{massa específica do produto (t/m}^3) \times \text{volume de grãos dentro do silo (m}^3)$	(2)
Teor de umidade de equilíbrio (para 52% < UR < 100%)	$U_e = 21,2198 \exp(0,0146 \times UR) / [\ln(9 \times T / 5 + 32)]$	(3)
Transformação de base seca para base úmida	$U' = [U / (100 - U)] \times 100$	(4)
Calor latente de vaporização	$h_{lv} = (606 - 0,57 \times T) \times [1 + 4,35 \times \exp(-28,25 \times U_{\text{umidade}})]$	(5)
Quantidade de matéria seca	$MS = (1 - \text{teor de umidade b.u., em decimal}) \times Mu$	(6)
Tempo de secagem	$60 \times (Q/v) \times C_a \times (T_a - T_e) \times t = h_{lv} \times MS \times (U_i - U_e)$	(7)
Densidade do fluxo de ar	$DFA = Q / A$	(8)
Potência térmica	$P = \dot{M} \cdot C_p \cdot \Delta T$	(9)
Diferença de pressão do ventilador	$\Delta p = \Delta P \times h \times Fe$	(10)
Potência elétrica	$P_{el} = \frac{\dot{Q} \cdot \Delta p}{\eta}$	(11)

Fonte: Elaborado pelos autores

A vazão do ar de secagem, obtida por meio da equação (1), foi de 2,5 m³/min.

A determinação das propriedades psicrométricas do ar foi feita com o auxílio do gráfico psicrométrico exibido na Figura 4.4, tendo como base o ponto de estado, determinado pela temperatura do ar de secagem (20 °C) e sua umidade relativa (65%).

Figura 4.4 - Gráfico psicrométrico com curvas de U_e para o milho e determinação das propriedades psicrométricas do ar de secagem



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2000)

Pelo gráfico apresentado Figura 4.4, obteve-se a temperatura de equilíbrio de 18 °C e o volume específico (v) de 0,843 m³/kg.

Calculando-se o teor de umidade de equilíbrio através da equação (3), obteve-se 12,99% b.u.

Transformando a umidade inicial do milho e a umidade de equilíbrio para b.s. através da equação (4), tem-se que $U_i = 0,25$ b.s. e $U_e = 0,15$ b.s. Assim, $U_{\text{emédio}} = (U_e + U_i) / 2 = 0,20$ b.s.

O calor latente de vaporização, encontrado pela equação (5), foi de 603,70 kcal/kg.

A quantidade de matéria seca encontrada pela resolução da equação (6), é de 0,2 t, que equivale a 200 kg.

Assim, de posse das variáveis necessárias, o tempo de secagem foi calculado a partir da equação (7), resultando em 141,36 horas, correspondente a 5,89 dias.

Por fim, calculou-se as energias térmica e elétrica necessárias ao processo. Como o sistema será projetado para capacidade máxima, levando em conta as condições mais desfavoráveis, para os

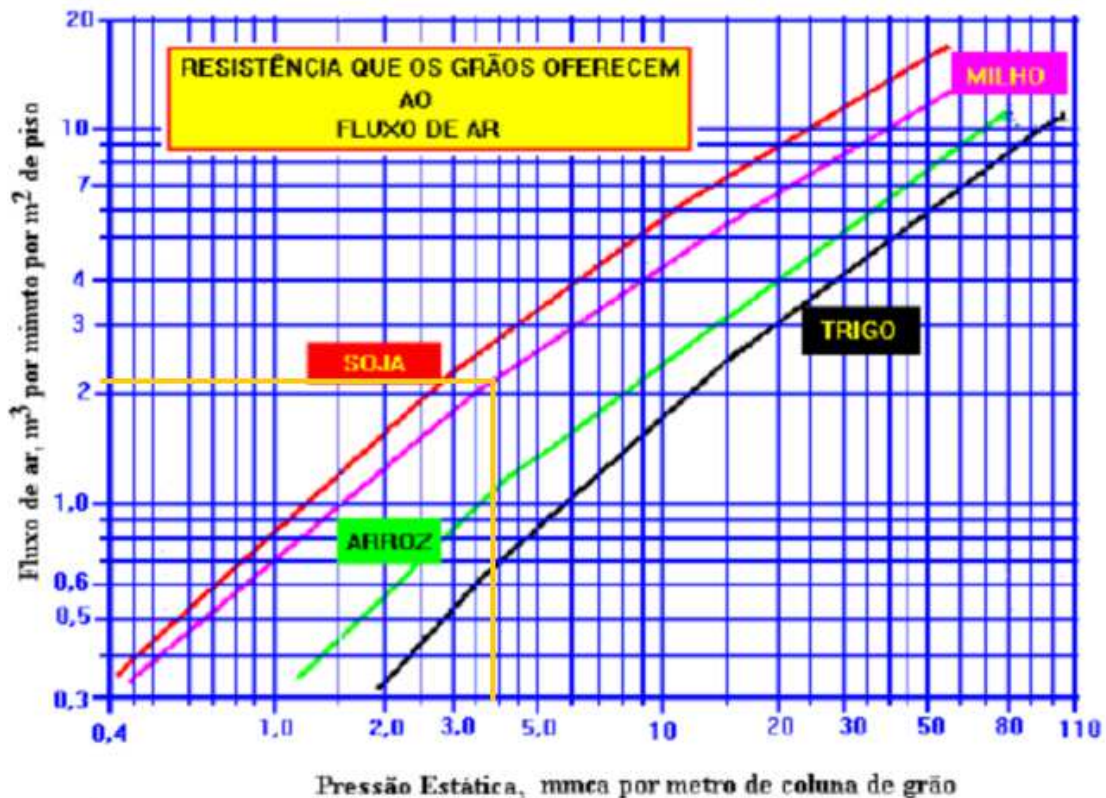
cálculos do dimensionamento considerou-se que o ar de secagem foi aquecido 10 °C acima da temperatura ambiente.

A potência térmica foi determinada pela equação (9), e obteve-se que a potência necessária para aquecer o ar de secagem foi 502,4 W.

Já para o cálculo da potência elétrica para ventilação, calculou-se a densidade do fluxo de ar (DFA), dada pela equação (8), em que obteve-se 10 m³/min.m².

A partir da DFA encontrada, obteve-se a pressão estática ΔP de 40 mmca/m, por meio do gráfico de Shedd apresentado na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Gráfico de Shedd



Fonte: Fonte: Braz (2017)

Para o cálculo da diferença de pressão do ventilador, considerou-se o sistema com eficiência de 70% e a perda de carga total de aproximadamente 30% (MILMAN, 2002). Resolvendo-se a equação (10), obteve-se 86,32 mmca, equivalente a 846,49 Pa.

Por fim, a potência do ventilador foi calculada com o auxílio da equação (11). Considerando o rendimento do conjunto motor ventilador como 75%, tem-se a potência elétrica necessária à ventilação de 45,15 W.

4.2. Projeto do sistema solar como fonte de energia para secagem de grãos

O sistema será composto por um coletor solar, responsável pelo aquecimento do ar de secagem; uma placa fotovoltaica para a captação da energia solar; baterias, que armazenam energia quando esta não estiver sendo usada diretamente; um controlador de carga, que controla o uso da energia fotovoltaica à carga das baterias, protegendo-as de descargas e sobrecargas excessivas; e por fim, um inversor de potência, que transforma a corrente contínua gerada em corrente alternada. As fórmulas necessárias aos cálculos das grandezas são exibidas na tabela 4.3 a seguir.

Tabela 4.3 – Fórmulas utilizadas no projeto do sistema solar

Grandeza	Fórmula	Identificação
Área do coletor	$S = \frac{P}{\eta \cdot Ec}$	(12)
Potência das placas	$P_{\text{tot}} = \text{Consumo diário} / \text{índice solarimétrico} / \text{eficiência}$	(13)
Controlador de Carga	$I_c = P / V$	(14)
Bateria	$B = (I_c \times \text{horas de insolação diária}) / \text{descarga}$	(15)
Potência de pico do sistema	$P_p = \text{consumo diário} / \text{média de insolação diária}$	(16)

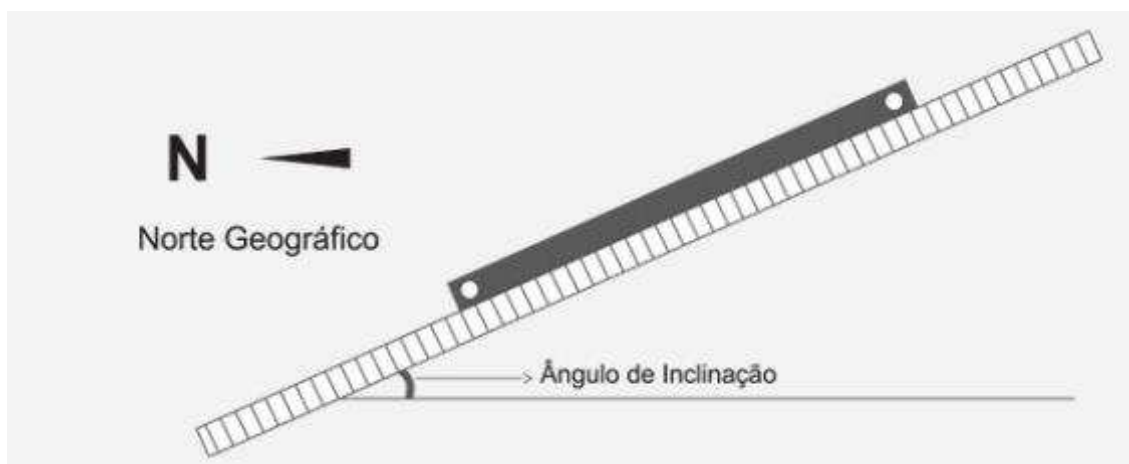
Fonte: Elaborado pelos autores

4.2.1. Projeto do sistema de aquecimento do ar

Para determinar a área do coletor necessária, de forma a obter o devido aquecimento do ar, utilizou-se a fórmula (12). Segundo Tiba e Reis (2016), a média anual de radiação solar global em Ouro Preto é de 4,7 kWh/m².dia, equivalente a 195,83 W/m². De acordo com Transsen (2012), o rendimento de um coletor solar do tipo considerado é de 79,1%. Logo, a área do coletor deve ser de 3,2 m². Portanto, deve-se utilizar dois coletores solares de 2 m² cada.

Sua instalação deve ser feita conforme a Figura 4.6, de modo que o coletor esteja voltado para o norte geográfico, para que no inverno, ponto crítico de funcionamento do sistema solar, a irradiação solar possa ser melhor aproveitada.

Figura 4.6 - Instalação de um coletor solar



Fonte: Kisoltec Aquecedor Solar (2017)

O ângulo de inclinação recomendável é definido como a latitude da região onde o coletor será instalado acrescida de 10 °C. Como a latitude de Ouro Preto é de 20°, o ângulo de inclinação deve ser 30°.

4.2.2. Projeto do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico, primeiro deve ser definido se o sistema de ventilação é de uso contínuo. Segundo Silva et al. (2000), quando a umidade do milho se torna inferior a 16% b.u. e a umidade relativa do ar é de 75%, o ventilador deve permanecer ligado até o final da secagem, resultando em um consumo de $45,15 \text{ W} \times 141,36 \text{ h} = 6382,40 \text{ Wh}$.

Dividindo o consumo do processo (6382,40 Wh) pela sua duração em dias (5,89), tem-se que o consumo diário é de 1083,6 Wh/dia.

Considerando o índice solarimétrico $4,7 \text{ kWh/m}^2\text{.dia}$, e a eficiência padrão de um projeto fotovoltaico 83% devido às perdas na geração e transmissão de potência, calculou-se a potência necessária as placas utilizando-se a equação (13), em que obteve-se a potência 277,77 W.

Portanto, o painel fotovoltaico deve produzir uma potência de 300 W. Considerando que o sistema opera a 24 V, deve-se então associar as placas fotovoltaicas de 12 V em série. Sendo assim, deve-se utilizar duas placas solares fotovoltaicas de 150 W cada.

No que diz respeito ao controlador de carga, sua capacidade deve superar a corrente dos painéis. Considerando o sistema funcionando em 24 V, sua corrente foi calculada pela equação (14), resultando em 12,5 A. Assim, deve-se utilizar um controlador de 15 A.

No projeto do banco de baterias, recomenda-se utilizar baterias que operam com 50% de profundidade de descarga, que proporcionam aumento de sua vida útil em até duas vezes. Para

o cálculo da bateria utilizou-se a equação (15), considerando a média anual de insolação diária em Ouro Preto de 6 horas (TIBA, 2000), resultando em 150 Ah. A autonomia do sistema está diretamente relacionada com o número de baterias: quanto maior o número de baterias, maior a autonomia. Dessa forma, deve-se usar 2 baterias de 75 Ah/12 V associadas em série para obter a tensão de 24 V.

Para o projeto do inversor, é recomendado que sua potência esteja 10% acima da potência de pico do sistema, que é obtida pela equação (16), resultando em 198,66 W. Portanto, deve-se utilizar um inversor de 200W.

5. Análise dos resultados

Para a avaliação da viabilidade de implantação do sistema solar em um secador de grãos, estipulou-se como 10 anos o prazo para análise de retorno do investimento e então estimou-se o investimento da implantação. A Tabela 5.1 apresenta a relação dos equipamentos utilizados e seus custos. O preço dos equipamentos básicos exibido na tabela é uma média dos valores encontrados no mercado. Os acessórios necessários à instalação são: cabos, disjuntores, conectores e sistema de fixação, e seu preço foi obtido por meio de uma interpolação dos dados retirados de ABINEE (2012). O custo de instalação é de 25% do investimento total.

Tabela 5.1 - Relação de equipamentos e custos para implantação do sistema solar na secagem de grãos

Item	Preço por Unidade	Quantidade	Valor Total
Coletor solar 2,0x1,0 m	R\$ 759,90	2	R\$ 1.519,80
Placa fotovoltaica 150 W	R\$ 500,00	2	R\$ 1.000,00
Bateria 75 Ah	R\$ 350,00	2	R\$ 700,00
Controlador 15 A	R\$ 70,00	1	R\$ 70,00
Inversor 200 W	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Acessórios	-	-	R\$ 3.742,33
Custo Instalação	-	-	R\$ 1.795,53
		Investimento Total	R\$ 8.977,66

Fonte: Elaborado pelos autores

Calculando a produção energética durante os 10 anos, tem-se que:

$$P_{\text{produzida}} = (1083,6 \text{ Wh/dia} \times 365 \text{ dias} \times 10 \text{ anos}) = 3955,14 \text{ kWh}$$

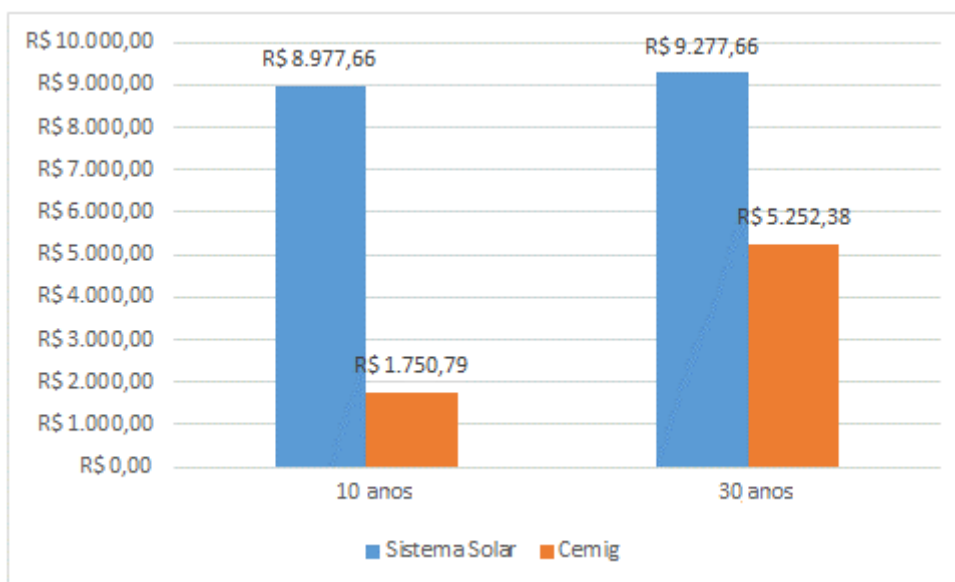
Dessa forma, obteve-se o custo de cada kWh produzido pelo sistema solar dividindo o investimento de R\$ 8977,66 pela potência produzida, 3955,14 kWh, resultando em R\$ 2,27/kWh.

De acordo com a CEMIG (2017), a tarifa de energia elétrica, sem impostos, de 1 kWh é de R\$ 0,34051. Considerando o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), cuja alíquota é de 30%, a tarifa se torna R\$ 0,442663. Assim, em 10 anos, seriam pagos R\$ 1750,79 à concessionária.

Verificou-se então o investimento a longo prazo, tendo como base a vida útil das placas fotovoltaicas (30 anos). Como a vida útil dos inversores é de aproximadamente 10 anos, durante o período em análise serão necessários três deles, resultando em um investimento final de R\$ 9277,66. A potência produzida será de 11865,42 kWh, o que faz com que o preço de cada kWh seja de R\$ 0,78. Em contrapartida, se fosse utilizada a energia elétrica fornecida pela CEMIG, seriam gastos R\$ 5252,38.

A Figura 5.1 ilustra a comparação entre os gastos do investimento para o uso do sistema solar e os gastos da utilização da energia da concessionária, para períodos de 10 e 30 anos.

Figura 5.1 - Gráfico de gastos totais



Fonte: Elaborado pelos autores

Portanto, pode-se concluir que, para um período de até 30 anos, a implantação do sistema solar na secagem de grãos nas condições consideradas não é viável, já que o valor de cada kWh produzido é superior à tarifa cobrada pela concessionária (CEMIG).

6. Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de energias renováveis no processo de secagem de grãos, por meio do estudo de implantação de um sistema solar como fonte de energia para secagem.

Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que o sistema não é viável economicamente, considerando o prazo de investimento como 30 anos, equivalente à vida útil da placa fotovoltaica.

O cálculo de viabilidade do sistema não foi realizado para um prazo de investimento maior, uma vez que a maior parte da produção de milho é realizada por agricultores familiares, que na maioria das vezes possuem condições econômicas desfavoráveis. Entretanto, a utilização do sistema é útil em locais onde não há disponibilidade de rede elétrica.

Como sugestões para pesquisas futuras, recomenda-se avaliar a utilização do sistema solar proposto no processo de aeração de grãos e de um sistema de armazenamento de calor de forma a prolongar o aquecimento durante os períodos sem insolação.

REFERÊNCIAS

- ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. ABINEE, 2012.
- BRAZ, M. R. S. **Movimento de Ar – Pré Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas – UFRRJ**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/20732304/aula-7-movimento-de-ar>>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- COSTA, A. R. S. **Sistema de Secagem Solar para Frutos Tropicais e Modelagem da Secagem de Banana em um Secador de Coluna Estática**. 2008. 169f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- CRESESB. **Energia Solar: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006.
- EMBRAPA. **Colheita e pós-colheita: Secagem e Armazenamento**. 2011. Disponível em: <http://www.cnpmc.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/colsecagem.html>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- GARCIA, T. S. **Avaliação do desempenho energético de uma edificação residencial eficiente**. 2013. 127 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Trabalho Final de Curso em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2014.
- Informações Gerais. **Ouro Preto Prefeitura**. Disponível em: <<http://www.ouropreto.mg.gov.br/informacoes-gerais>>. Acesso em: 01 jul. 2017.
- Manual aquecedor solar – Magnum. **Transsen Aquecedor Solar**. 2012. Disponível em: <http://www.transsen.com.br/wp-content/themes/transsen-DEV/images/produtos/manual/Manua_Banho.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017
- Manual de Instalação do Aquecedor Solar. **Kisoltec Aquecedor Solar**. 2017. Disponível em: <<http://kisoltec.com.br/instalacao-aquecedor-solar>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

Mapas do Boletim Agroclimatológico - Umidade Relativa do Ar Média (%). **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/portal_antigo/agrometeorologia/boletim_agro/mapas.php>. Acesso em: 05 ago. 2017.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2002.

MONTEIRO, P. M. B. **Tecnologia 1-Wire™ Aplicada ao Controle em Tempo Real em Sistemas de Aeração de Grãos**. 2002. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.

MORAES JUNIOR, L. T. R. **Recuperação Energética de Resíduos no Médio Vale do Itajaí com Ênfase na Conversão em Energia Elétrica**. 2012. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2012.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de Grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

ROSA, F. N. **Aplicabilidade de Coletores Solares com Tubo Evacuado no Brasil**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

Secador de Leito Fixo. **Polidryer Indústria e Comércio de Máquinas**. Disponível em: <<http://www.polidryer.com.br/secador-leito-fixo>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

SILVA, J. S.; BERBET, P. A.; AFONSO, A. D. L.; LACERDA FILHO, A. F. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.

Subida, A. **Manual de energia solar fotovoltaica**. Viseu: ADIV, 2015.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2000.

TIBA, C.; REIS, R. J. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais – Volume II**. Belo Horizonte: Futura Express, 2016.

Valores de Tarifas e Serviços. **Companhia Energética de Minas Gerais**. 2017. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 15 ago. 2017.

VANNI, S.R. **Estudo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região nordeste do Brasil**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2008.